



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

*XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та
молодих вчених*

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

13-14 травня 2020 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2020

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 100 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 №3/20 від 27.04.2020 р.).

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

Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 395 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., зав. кафедри ООЕП
3. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри ПСОН
4. Антонюк Віктор Степанович — 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., зав. кафедри ПСНК
7. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ІВТ
8. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
9. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф. кафедри ІВТ

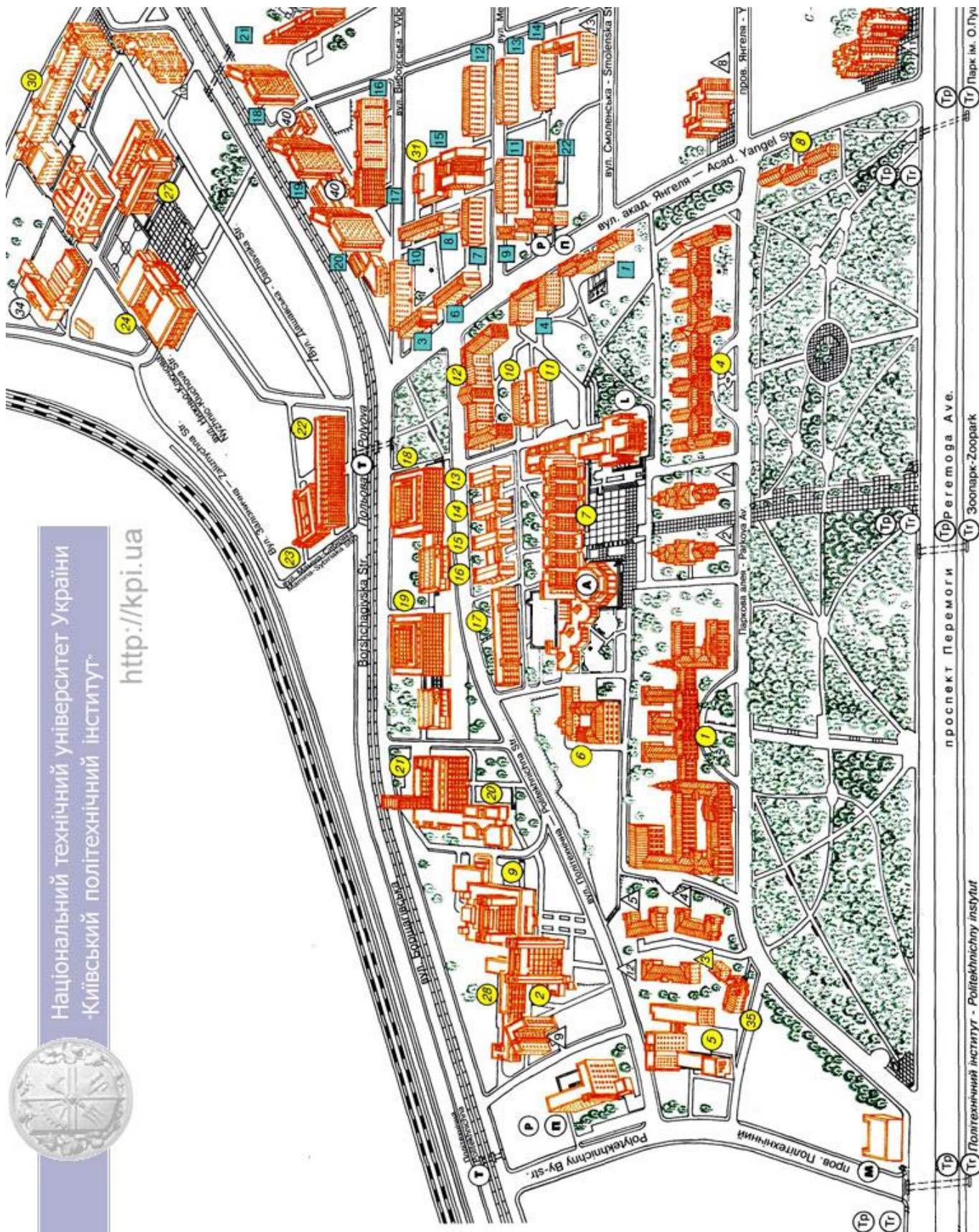
ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

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 №9
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. Чашка М.О. — студент ПБФ, секція №4
7. Артемчук В.І. — студентка ПБФ, секція №5
8. Корнієнко К.В. — студентка ПБФ, секція №6
9. Складчиков І.О. — студент ПБФ, секція №7
10. Василюк В.В. — студент ПБФ, секція №8
11. Невгод Д.А. — студентка ПБФ, секція №10



Національний технічний університет України
-Київський політехнічний інститут-

<http://kpi.ua>



З М І С Т

СЕКЦІЯ 1. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

<i>Д.В. Бугайов, аспірант гр. ПГ-81ф</i> ВИЗНАЧЕННЯ ШУМОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІВМ STM300 МЕТОДОМ ВАРІАЦІЙ АЛЛАНА.....	14
<i>О. Ю. Білоус, студент гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.</i> АЛГОРИТМИ ТА ПРОТОКОЛИ ВЗАЄМОДІЇ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ SMART НОМЕ.....	18
<i>В. Ю. Герман, студент гр. ПГ-81мп, к.т.н., доц. О.М. Павловський</i> РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРУ БПЛА ЗА ДОПОМОГОЮ SIMULINK.....	21
<i>А.С. Григор'єв, студент гр. ПГ-91мп, О.М. Павловський, к.т.н., доц.</i> ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДІВ ОБЕРТОВОГО РУХУ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І КЕРУВАННЯ.....	25
<i>М.А. Євдокимова, студентка гр. ПГ-61, О.М. Павловський, к.т.н., доц.</i> ОГЛЯД ДАКТИЛОСКОПІЧНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ЗАХИСТУ.....	28
<i>Зубарський Д.О., студент гр. ПГ-61, асистент, Сапегін О.М.</i> МІКРОМЕХАНІЧНИЙ ГІРОСКОП RR-ТИПУ.....	32
<i>Д.Г. Котунова, студентка гр. ПГ-61, О.М. Павловський, к.т.н., доц.</i> ОГЛЯД DIU ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СИСТЕМ «SMART НОМЕ».....	35
<i>М.С. Лещук, студентка гр. ПГ-91мп</i> КАЛІБРУВАННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ РУХІВ ЛЮДИНИ	39
<i>Д. Р. Матвієнко, студент групи ПГ-91мп, доц., к.т.н. Лакоза С.Л.</i> РОЗПІЗНАННЯ РУХІВ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ....	42
<i>Мішура К. А., студентка групи ПГ-91мп</i> ВИДІЛЕННЯ КОРИСНОЇ (ТРЕНДОВОЇ) СКЛАДОВОЇ З ЗАШУМЛЕНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СИГНАЛУ.....	46
<i>Д.С.Музика, студент гр. ПГ-71, к.т.н., доцент Півторак Д.О.</i> СПЕЦІАЛІЗОВАНА АВТОМОДЕЛЬ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ.....	49
<i>Д.С. Музика, студент гр. ПГ-71, к.т.н., доцент Півторак Д.О.</i> ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ BLUETOOTH.....	52
<i>Ю.О. Пархоменко, студент гр. ПГ-91мп</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СТРУКТУРИ САЙТУ.....	55
<i>І.М. Платов, студент гр. ПГ-п71, к.т.н., доц. О.М. Павловський</i> ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ДАТЧИКА ВІДСТАНИ VL53L0X ДЛЯ СИСТЕМ ЗОРУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ.....	59
<i>О.А.Савицький, студент гр. ПГ – 61, к.т.н. доцент П.С. Мироненко</i> ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРИВОДИ МАЛОРОЗМІРНИХ БПЛА.....	63

Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-61, асистент Сапегін О.М.

КУТОМІР НА ОСНОВІ МІКРОМЕХАНІЧНОГО ІНЕРЦІАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ	67
---	----

СЕКЦІЯ 2. ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

<i>І.В. Горжий, студент гр. ПМ-61</i> СТАБІЛІЗАЦІЯ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ	72
<i>О.Е. Гудзь, аспірант гр. ПО-91ф, д.т.н., професор Боровицький В.М.</i> ОПТИЧНІ МІКРОСКОПИ ЗІ СТРУКТУРОВАНИМ ОСВІТЛЕННЯМ.....	76
<i>Є.О. Захаров, студент гр. ПМ-61</i> ЛАЗЕРНІ РІВНІ	79

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ

<i>О. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor</i> MODELING OF TITANIUM ALLOYS PROCESSING PARAMETERS	84
<i>О. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor</i> MODELING OF PARAMETERS OF THE MILLING OF PARTS FROM HEAT- RESISTANT STEEL	88
<i>Бельман О.І., студент групи ПБ-61, доц., к.т.н. Стельмах Н.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ НА БАЗІ ВІЗУАЛЬНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ	92
<i>О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп</i> ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА	95
<i>О.В. Кирієнко, студент гр. ПБ-91мп</i> СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВІТРОДВИГУНА	98
<i>К.В. Крушинських, студент гр ПМ-61, професор Гераїмчук М.Д.</i> ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК (СЛЯБІВ) В МЕТАЛУРГІЇ.....	101
<i>В.Ю. Марченко, студент гр. ПБ-81, к.т.н., ст. викладач Матвієнко С.М.</i> МЕТОДИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ.....	105
<i>І.В. Масстенко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВННІ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ.....	109
<i>В.В. Потієнко студент гр. ПБ-61, асистент Волошко О.В.</i> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	112
<i>Д.М. Проскурєнко, студент гр. ПБ-61</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРАМИ.....	116
<i>Д.М. Проскурєнко, студент гр. ПБ-61</i> РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО МАНІПУЛЯТОРА	119

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.

РОЛЬ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В «РОЗУМНОМУ ВИРОБНИЦТВІ» 123

О.В. Третьак, студентка гр. ПБ-61

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИВОДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ 126

О.В. Третьак, студентка гр. ПБ-61

ДАТЧИКИ ВІДСТАНІ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В РОБОТОТЕХНІЦІ..... 130

Е.Я.Чонка, магістрант гр. ПБ 81мп, Новаковський О.Г., аспірант

ОСОБЛИВОСТІ НЕПЛАНАРНОГО МЕТОДУ 3D ДРУКУ ПОВЕРХОНЬ..... 134

В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.

ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ПРОТОТИПІВ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D ДРУКУ 139

СЕКЦІЯ 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕОРІЯ І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН, МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ. МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

В. Нічик, студент; Безвесільна О.М., д.т.н., професор, Нечай С.О., к.т.н., доцент

ЄМНІСНИЙ МЕМС ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ 144

Д.Р. Одайник, студент гр. ПМ-61

БІОМОРФНІ ЛІТАЮЧІ ДРОНИ 149

Д.В. Терещенко, студент гр. ПМ-61, д.т.н., проф. Безвесільна О.М., к.т.н., асис. Котляр С.С.

П'ЄЗОРЕЗИСТИВНИЙ ДАТЧИК ТИСКУ 153

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., професор. Гераїмчук М.Д.

АЛГОРИТМ ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ОТРИМАНИХ ДАНИХ..... 156

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., професор. Гераїмчук М.Д.

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ..... 159

СЕКЦІЯ 5. ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

А.А. Авагумян, аспірантка 3 курсу навчання, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПИЛОПРОНИКНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ШКАЛОЮ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ 164

Артемчук В.І студенти гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

ВПЛИВ СКЛАДУ АТМОСФЕРИ НА УРОЖАЙНІСТЬ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН.. 168

Р.О. Ботвінко, студ. гр. ПН-91мп, к.т.н. К.М. Божко, Б.В. Мельничук, студ. гр. ПН-91мп, А.Д. Руденко, студ. гр. ПН-91мп

ЗАСТОСУВАННЯ ПОПУЛЯЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ПКУ ЗАХВОРЮВАНЬ НА COVID19 В КИЄВІ 171

В. І. Фесенко, студентка гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ..... 175

СЕКЦІЯ 6. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ МЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У.У. Pavlyk, student gr. PB-p72, senior lecturer, PhD, Matvienko S.
ANALYSIS OF THE CONDITION OF CONNECTING ELECTRODES TO THE BODY OF THE PATIENT WITH THE APPLICATION OF A DEFIBRATOR..... 180

Д. В. Бондарев, студент гр. ПБ-82мн
СИСТЕМА ЕТАЛОННИХ ВИМІРЮВАНЬ БІОМЕДИЧНОГО ФОТОМЕТРУ 184

П.В. Білецький, студент гр. ПБ-92мп
ІНТЕГРОВАНА СТИМУЛЯЦІЯ ІМУНІТЕТУ ПАЦІЄНТА ПРИ ЗНИЖЕНИХ ФУНКЦІЯХ ОРГАНІЗМУ 187

І.Є. Гребень, студент гр. ПБ-п72
АВТОМАТИЗОВАНА БІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗАБОРУ КРОВІ..... 190

А.Г. Карпушева, студентка гр. ПБ-92мп., к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ..... 194

К. В. Корнієнко, студент гр. ПБ-п72
ТЕРМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ 198

К. В. Корнієнко, студентка гр. ПБ-п72, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент
СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ЛЮДИНИ..... 202

О.Д. Левчук, студент гр. ПБ-з92мп, В.В. Шевченко к.т.н., доцент
СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ 206

С. В. Лисичина, студентка БМ-61
ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ СЕНСОРІВ У ПРИДАТНИХ ДЛЯ НОСІННЯ, НЕІНВАЗИВНИХ ПРИЛАДАХ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОЧЕРЕПНОГО ТИСКУ 209

О.В.Майданник, студент гр. ПН-61-2, доц., к.т.н., с.н.с. Клочко Т.Р
МЕТОД МЕЗОДІЕНЦЕФАЛЬНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В ТЕРАПІЇ..... 213

О.А. Малий, студент гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент,
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МАГНІТОТЕРАПІЇ В ТРАНСДЕРМАЛЬНІЙ ДОСТАВЦІ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ РЕЧОВИН 216

В.І. Мартиненко, студент гр. БП-61, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗ БІОСЕРЕДОВИЩА ТА СИСТЕМНИЙ БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗАТОР 220

А.І. Нагорний, студент гр. ПБ - 92мн
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ЛІКУВАННІ М'ЯЗІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИЧНОГО ПРОСВІТЛЕННЯ..... 224

О.Д. Рудий, студент гр. БП-61, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
ПРИНЦИПИ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ В РЕНТГЕНОДІАГНОСТИЦІ 228

М. Ю. Солодкий, студент гр. ПН-61-2, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
СИСТЕМА ПОРТАТИВНОЇ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ 233

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

А.А. Хоменко, студент гр. ПБ-п72

МОДУЛЬ ПЕРФОРАЦІЇ ШКІРИ ДЛЯ ЗАБОРУ КРОВІ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ
БІОМЕТРИЧНІЙ СИСТЕМІ 237

В.В. Цапенко, аспірант гр. ПБ-72ф, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

БІОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ СТОПИ. РЕОВАЗОГРАФІЯ..... 240

М.В. Цокота, аспірант гр. ПБ-72ф

ВИМІРЮВАННЯ ВИХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
ПРИ ТЕРАПІЇ 244

О. Г. Шмендель, аспірантка гр. ПБ-82ф, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент

СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛА У ВЕРХНІХ ШАРАХ ШКІРИ ПІД
ВПЛИВОМ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 247

Ю.А. Юхименко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СТЕНТІВ ДЛЯ
МАЛОІНВАЗИВНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ СЕРЦЕВОГО КЛАПАНА 251

СЕКЦІЯ 7. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА

Андрєєв С. М., студент гр. ПБ-91

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТИКИ ЛЕГЕНЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ..... 256

Д.В. Барановський, студент гр. ПК-91мн, Т.А. Романюк, студент гр. ПК-91мн

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШТОК 260

М.О. Глуценко, студент гр. ПК-61

СУЧАСНИЙ МЕТОД ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ 263

М.О. Глуценко, студент гр. ПК-61

МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ 267

Малько В.П., студент гр. ПК-71

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ГЕОРАДАРНИХ ДАНИХ..... 270

Н. Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ У
НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ..... 273

Н.Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ
ОБРОБКИ СПЕКТРІВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ..... 277

Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-61

МЕТОДИ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ
КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ..... 281

Мельник А.В., студент гр. ПК-71

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕРМОГРАМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ
НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ..... 284

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ТЕРАГЕРЦОВИХ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ
ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБІВ АЕРОКОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 288

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

<i>А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ ДЕФЕКТОСКОПІЇ.....	291
<i>М.В. Наконечний, студент гр. ПК-71</i> ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ	295
<i>Д.В. Петренко, студент гр. ПК-61</i> НЕОБХІДНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЛЮКСМЕТРІВ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ ТА ОХОРОНІ ПРАЦІ	299
<i>А.В. Петруша, студент гр. ПК-61</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ.....	303
<i>А.В. Петруша, студент гр. ПК-61</i> РОЗРОБКА ВІДДАЛЕНОГО СХОВИЩА ДАНИХ ДЛЯ БАГАТОКОНАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ВИХРОСТРУМОВО КОНТРОЛЮ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.....	307
<i>Салаков А.А., студент групи ПК-91мп</i> МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ І ОЦІНКИ ДЕФЕКТІВ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ ТЕПЛОВИМУ КОНТРОЛІ	311
<i>Складчиков І.О., студент гр. ПК-71</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ОХОРОННИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ НА ОСНОВІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ	315
<i>Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71</i> МОДЕЛЮВАННЯ МЕМС ДАТЧИКІВ В COMSOL MULTIPHYSICS.....	319
<i>Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп, к.т.н., О. В. Муравйов</i> ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ	323
<i>Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп</i> КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ.....	327
<i>Тасаж В.С., студент гр. ПК-91мп</i> ОБРОБКА ДАНИХ, ЩО ОТРИМАНІ У РЕЗУЛЬТАТІ КОНТРОЛЮ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ	330
<i>К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71</i> ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДРОНІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	334
<i>А.Ю. Якимчук, студентка гр. ПК-61</i> МЕТОДИ ДОПЛЕРОГРАФІЇ У МЕДИЦИНІ.....	338

СЕКЦІЯ 8. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

<i>В. В. Василюк, студент гр. ПМ-61</i> МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ МАСОВОЇ ВИТРАТИ.....	342
--	-----

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., доц. Стельмах Н.В.

КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ
ЗАСОБАМИ INTERNET OF THINGS 346

Ю.В. Кучеренко, студентка гр. ПМ-61

ОГЛЯД СУЧАСНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ЛІЧИЛЬНИКІВ ТЕПЛА
У БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДИНКУ 350

А.М. Мельник, студентка гр. ПМ-61

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ 354

О.М. Черногуб, студент гр. ПМ-61

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ДРУКАРСЬКОЇ ФАРБИ 358

СЕКЦІЯ 9. МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

В.І. Завальський, студент гр. МТПм-19-1, к.т.н. Чуйко М.М.

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ЗМОЧУВАННЯ ПРИПОСМ
ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ПАЯННЯ 362

А.І. Шорін, студент гр. ПВ-91мп, д.т.н., проф. Яремчук Н.А.

СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ НАЯВНОСТІ СТОРОННІХ УТВОРЕНЬ В
СУДИНАХ 366

А.Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91мп, д.т.н., проф. Н.А. Яремчук

СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ 370

СЕКЦІЯ 10. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В.С. Кузьменко, студент гр. ВМ-61-2, к.т.н., доц. Стаценко О.В.

ВИМІРЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ
АКСЕЛЕРОМЕТРІВ 376

В.В. Куліченко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

ДИСКРЕТНИЙ СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ЗА МЕТОДОМ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИХ
СПЛАЙНІВ 380

*Д.А. Невгод, студентка гр. ВМ-61-2, М.П. Коваленко, студент гр. ВМ-61-2, к.т.н., доц. Добролюбова
М.В.*

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОСЛУГ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 384

Д.М. Семенко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ
СИСТЕМ 389

О.В. Токаренко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ
ДАНИХ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ СОАР 393

Секція 1.

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

УДК 681.586

Д.В. Бугайов, аспірант гр. ПГ-81ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ ШУМОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІВМ STIM300 МЕТОДОМ ВАРІАЦІЙ АЛАНА

Анотація. В статті проводиться дослідження інерціального вимірювального модуля STIM300. Показані результати отриманих параметрів шумових характеристик методом варіацій Аллана та проводиться порівняльний аналіз з показниками зазначеними виробником в технічній специфікації.

Ключові слова: варіації Аллана, інерційний вимірювальний модуль, STIM300, мікромеханічні чутливі елементи

ВСТУП

Нерідко при побудові малогабаритних автономних безпілотних систем стоїть питання вибору пристроїв для виміру фізичних величин руху. Останнім часом беззаперечними лідерами для цього є використання інерціальних вимірювальних модулів (ІВМ) [1]. На ринку існують різні види ІВМ котрі в першу в чергу різняться точністю виміру фізичних величин чутливими елементами (ЧЕ) розташованими в середині.

Основними ЧЕ які входять до складу ІВМ є мікромеханічні гіроскопи, акселерометри, інклінометри. Порівнюючи з традиційними приладами мікромеханічні ЧЕ мають ряд недоліків. Наприклад, вихідний сигнал гіроскопа має дві основні групи помилок. Перша група являє собою детерміновані помилки, такі як постійний зсув нульового сигналу або нелінійність. Ці помилки можуть бути виправлені процедурою калібрування, котра заснована на лабораторних вимірах. Друга група помилок містить непередбачувані стохастичні процеси, такі як шум квантування, випадкове блукання кута, нестабільність нульового сигналу, випадкове блукання кутової швидкості і дрейф кутової швидкості. Вони проявляються в гіроскопі як шум або повільне зміна параметрів в часі. Аналогічна ситуація є і для акселерометрів та інклінометрів. Часто такі параметри визначаються виробником в лабораторних умовах і відображені в технічній специфікації до серії ІВМ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Як основа для проведення дослідження був відібраний ІВМ STIM300 [2]. В стаціонарному положенні в чітко виставленій площині горизонту було проведено запис вихідних даних всіх наявних ЧЕ на кожній з осей протягом однієї години з частотою дискретизації 100 Гц. Для визначення параметрів головних шумових характеристик було використано метод варіацій Аллана, а саме визначено числові показники випадкового кутового блукання та стабільність нуля для гіроскопів, випадкового швидкісного блукання та стабільності нуля для акселерометрів та інклінометрів.

Варіація Аллана – це метод аналізу часових послідовностей для визначення характеристик шумів у функції усередненого часу. Спершу метод був розвинений для оцінки нестабільності годин в супутникових навігаційних системах, але зараз також застосовується з метою аналізу шуму для мікромеханічних інерціальних ЧЕ [3].

Суть методу варіації Алана полягає в обчисленні дисперсії різниці сусідніх відхилень, а не самих відхилень центрованого випадкового процесу, як це робиться при визначенні класичної вибіркової дисперсії. Методику побудови варіацій Алана та визначення шумових показників наведено в джерелі [4].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Була проведена серія досліджень на основі варіацій Алана для інерціального вимірювального модуля STIM300. Отримані графіки наведені на рис.1 для гіроскопів, на рис.2 для акселерометрів та на рис.3 для інклінометрів. Визначені шумові параметри чутливих елементів наведені в таблиці 1, 2 та 3 відповідно.

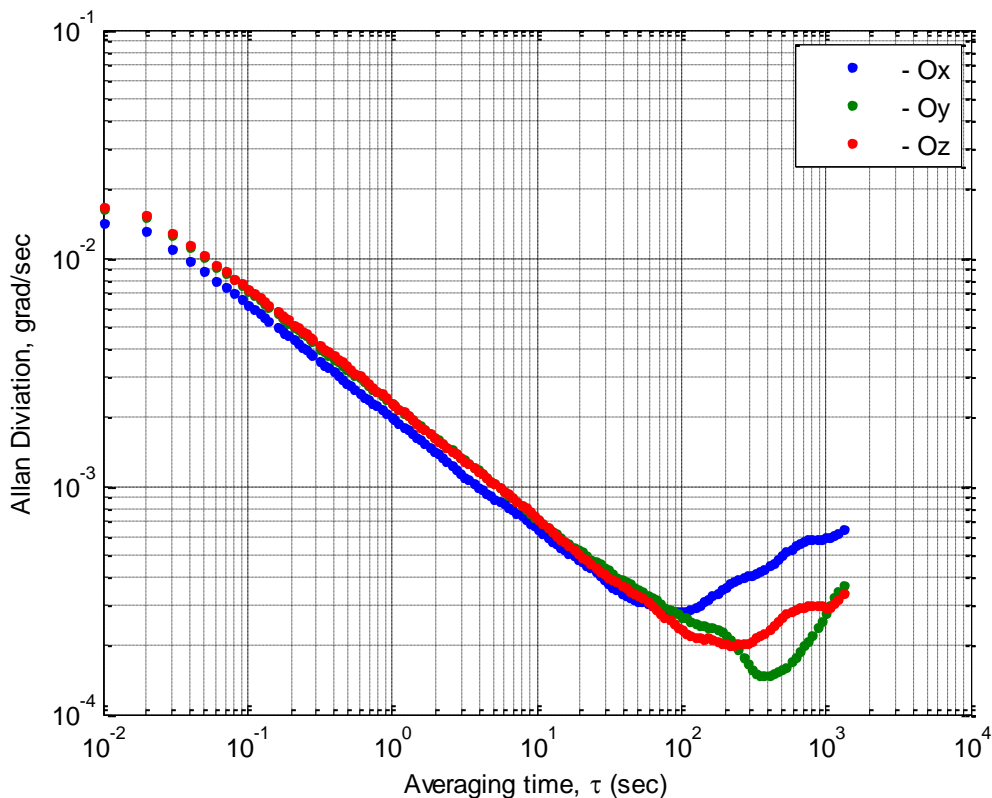


Рисунок 1. Варіації Алана для гіроскопів STIM300

Таблиця 1. Значення отриманих коефіцієнтів варіації Алана для трійки гіроскопів

Найменування параметра	Значення для кожного гіроскопа на кожній з осей			Заявлено виробником
	x	y	z	
випадкове кутове блукання ($^{\circ}/\sqrt{год}$)	0.11964	0.138	0.13878	0.15
стабільність нуля ($^{\circ}/год$)	1.5289	0.8051	1.0936	0.5

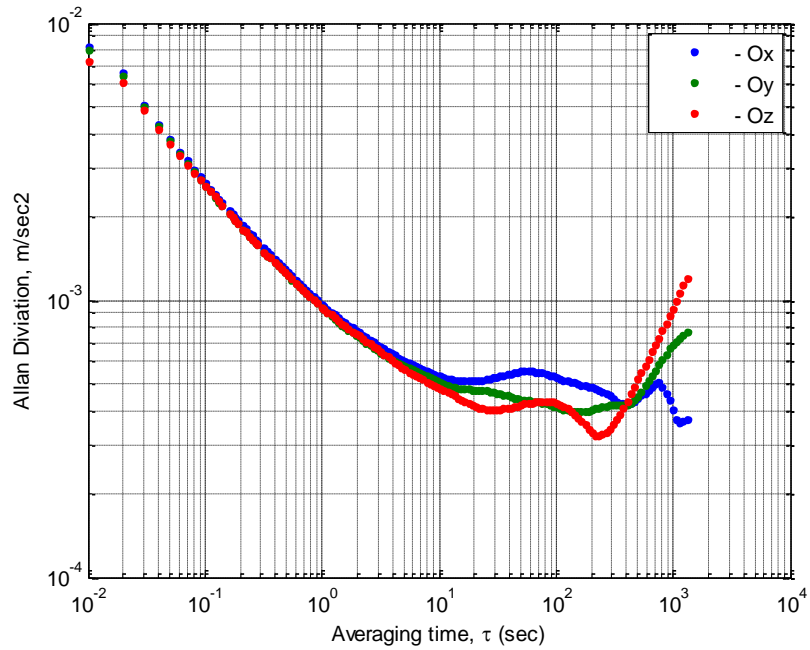


Рисунок 2. Варіації Алана для акселерометрів STIM300

Таблиця 2. Значення отриманих коефіцієнтів варіації Алана для трійки акселерометрів

Найменування параметра	Значення для кожного гіроскопа на кожній з осей			Заявлено виробником
	x	y	z	
випадкове швидкісне блукання $\frac{m}{(sec)^{3/2}}$	0.0009649 (0.058 m/s/√hr)	0.000936 (0.056 m/s/√hr)	0.0009433 (0.057 m/s/√hr)	0.06 m/s/√hr
стабільність нуля $\frac{m}{sec^2}$	0.00054 (0.055 mg)	0.000596 (0.0607 mg)	0.000494 (0.05 mg)	0.05 mg

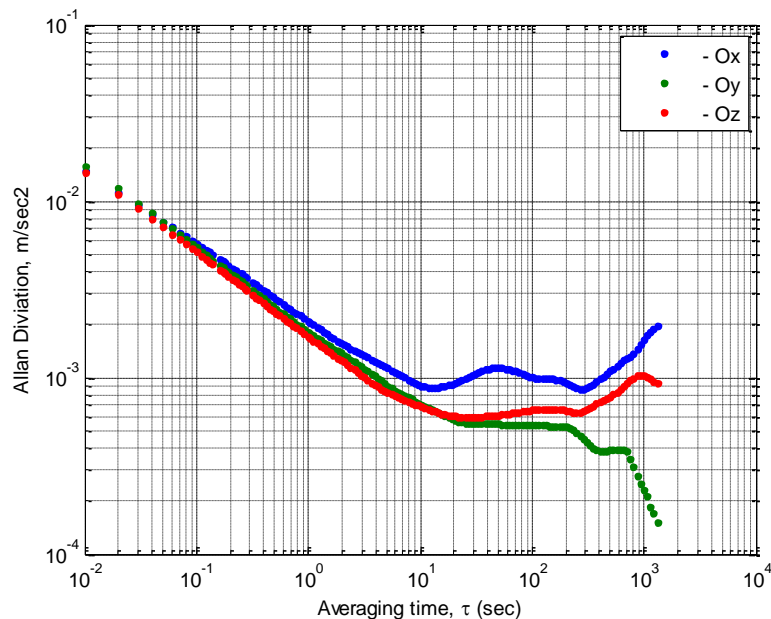


Рисунок 3. Варіації Алана для інклінометрів STIM300

Таблиця 3. Значення отриманих коефіцієнтів варіації Алана для трійки інклінометрів

Найменування параметра	Значення для кожного гіроскопа на кожній з осей			Заявлено виробником
	x	y	z	
випадкове швидкісне блукання $\frac{m}{(\text{sec})^{3/2}}$	0.002083 (0,125 m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$)	0,001814 (0,0109 m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$)	0,001699 (0,1019 m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$)	0.08 m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$
стабільність нуля $\frac{m}{\text{sec}^2}$	0,0013 (0,1325 mg)	0,00058 (0,59 mg)	0,00089 (0,0912 mg)	0.06 mg

ВИСНОВКИ

З отриманих результатів видно, що для гіроскопів показники випадкового кутового блукання дуже близькі до показників вказаним виробником, а от стабільність нуля дещо перевищує заявлені показники. Для акселерометрів показники випадкового швидкісного блукання та стабільності нуля співпадають з показниками вказаними виробником. Найгірше показали себе інклінометри, де показники випадкового швидкісного блукання та стабільності нуля є відмінні від заявлених виробником.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Collin, J., Davidson, P., Kirkko-Jaakkola, M., & Leppäkoski, H. (2019). Inertial sensors and their applications. In Handbook of Signal Processing Systems (pp. 51-85). Springer, Cham.
- [2] DATASHEET STIM300 Inertia Measurement Unit. Режим доступа: <https://www.sensor.com/media/1305/ts1524r24-datasheet-stim300.pdf>
- [3] Han, S., Wang, J., & Knight, N. (2009, July). Using allan variance to determine the calibration model of inertial sensors for GPS/INS integration. In 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology.
- [4] Baran, O., & Kasal, M. (2009, April). Allan variances calculation and simulation. In 2009 19th International Conference Radioelektronika (pp. 187-190). IEEE.

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

УДК 332.87+ 004.021

*О. Ю. Білоус, студент гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

АЛГОРИТМИ ТА ПРОТОКОЛИ ВЗАЄМОДІЇ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ SMART HOME

Анотація. Сучасні системи типу SmartHome дозволяють автоматизувати щоденні справи та полегшити взаємодію користувача з безліччю пристроїв. Зазвичай ці системи складаються з групи пристроїв, які поєднані між собою в одну мережу задля зручної комунікації та обміну даними між собою. В даній роботі розглядаються існуючі протоколи передачі даних між пристроями системи типу SmartHome. Кожен пристрій має ряд своїх вимог, тому має бути вибраний відповідний протокол, зважаючи на переваги і недоліки останнього. Ряд кінцевих пристроїв і датчиків потребують низьке енергоспоживання та невелику пропускну здатність – для них використовується протокол ZigBee або Bluetooth. Для зв'язку користувацького пристрою та контролера системи SmartHome зазвичай використовується протокол Wi-Fi. У випадку, коли для компонентів потребується енергоефективність та підтримка IP-протоколу, то вибір припадає на Thread.

Ключові слова: Smart Home, протокол, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Thread, мережа, датчики, автономне живлення, топологія.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Концепція SmartHome набуває все більшого поширення останні роки, з'являються нові застосунки, розумні датчики та системи керування. Розумна техніка може за допомогою протоколів зв'язку підключитись до мережі по бездротовому інтерфейсу і сповістити користувача про статус, або про завершення виконання поставленої задачі. Коли мова йде про мережу бездротових датчиків та модулів, що живляться від блоку живлення або батарейки, то в такому випадку створюється єдина розподілена мережа, яка має можливість самостійно реагувати на критичні дані, виконувати певну послідовність дій в залежності від заданих сценаріїв та якою можна керувати віддалено.

Отже, мета даної статті — аналіз і формування рекомендацій для вибору протоколу взаємодії між пристроями системи SmartHome для їх подальшого створення.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОТОКОЛІВ ДЛЯ СИСТЕМ SMART HOME

На сьогоднішній день існує велика кількість бездротових технологій, кожна з яких має свої особливості. Для розгляду було обрано наступні існуючі протоколи передачі даних: «Wi-Fi», «Bluetooth», «ZigBee» та «Thread». Всі вони працюють в частотному діапазоні 2,4 ГГц. В табл. 1 представлена порівняльна інформація цих технологій. За наведеною у таблиці інформацією можемо розділити дані протоколи на дві групи за використовуваною топологією: протоколи, що використовують топологію «зірка», та протоколи, що використовують топологію «mesh» [1].

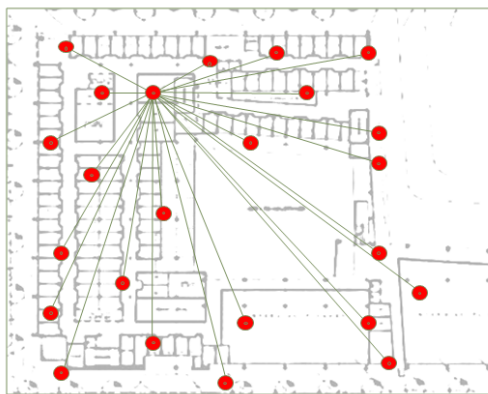
Мережі, що використовують Wi-Fi або Bluetooth мають недолік у порівнянні з ZigBee та Thread – весь трафік проходить через центральний шлюз. Тому в такій системі є єдина точка відмови, тобто при виведенні маршрутизатора з ладу втрачається можливість обміну даними.

Таблиця 1. Протоколи передачі даних в системі типу SmartHome

Технологія	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	Thread
Стандарт зв'язку	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
Швидкість передачі даних	>300Мбіт/с	До 3 Мбіт/с	250 Кбіт/с	250 Кбіт/с
Енергоспоживання	Високе	Низьке	Низьке	Низьке
Частотний діапазон	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц
Підтримка IP-технологій	+	-	-	+
Топологія	«зірка»	«зірка»	«mesh»	«mesh»

З іншого боку, завдяки топології «mesh» в мережах Thread та ZigBee існують надлишкові канали зв'язку, що надає системі підвищену надійність. Якщо компонент не знаходиться в сплячому стані, то він виконує роль маршрутизатора і передає трафік, ретранслює пакети та обирає найбільш оптимальний шлях для їх передачі. Схема мереж з відповідними технологіями представлена на Рис.1.

Wi-Fi, Bluetooth



ZigBee, Thread

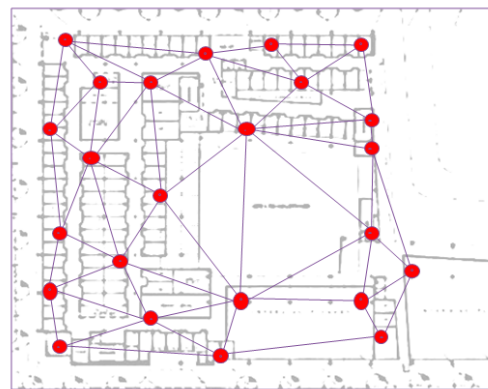


Рис 1. Топологія «зірка» (ліворуч), та топологія «mesh» (праворуч)

Розглянемо протокол Wi-Fi. Стандартизований відповідно до стандарту 802.11.x (існує декілька версія протоколу: a, b, g, n, ac), використовує радіохвилі частотою 2,4 ГГц і 5 ГГц. Мережа може містити до 2007 вузлів. Радіус дії – до 100м. Серед недоліків варто відмітити високе споживання енергії, та популярність частоти 2,4 ГГц, що призводить до виникнення перешкод та нестабільності сигналу, тому рекомендовано використовувати частотний діапазон 5 ГГц, що є більш перспективним. Протокол Wi-Fi слід використовувати при потребі керувати пристроями типу Smart Home зі смартфона, при умові, що є доступ до безперебійного живлення.

Наступний протокол –Bluetooth. Остання версія 5.0 має радіус сигналу до 240м, швидкість передачі – до 50 Мбіт/с та працює на частоті 2,4 ГГц. Цей протокол використовується, коли треба об'єднати пристрої на невеликій відстані. Має кращу, порівняно з Wi-Fi, енергоефективність та хорошу сумісність (охоплені всі рівні OSI). Серед недоліків – завантажений діапазон 2,4ГГц, та ненадійна топологія «зірка».

Розглянемо протокол ZigBee – заснований на стандарті IEEE 802.15.4. Має невелику пропускну здатність – 250 кбіт/с та використовує частоту 2,4МГц. Може підтримувати до 65 000 вузлів у мережі, а радіус дії – до 100м [2]. Значною

перевагою є низький рівень енергоспоживання, датчики та кінцеві модулі можуть працювати роками від батареї. Серед недоліків варто відмітити використовуваний діапазон – 2,4ГГц, на якому відчутні перешкоди від Wi-Fi та Bluetooth [3].

В свою чергу Thread –протокол, що використовує технологію 6LoWPAN, яка надає кожному вузлу мережі IP-адресу, підтримуючи при цьому адресацію IPv6. Цей протокол має також низьке енергоспоживання, пропускну здатність у 250 кбіт/с, та використовує частоту 2,4 ГГц. Радіус дії – до 30м. Також наявне шифрування інформації (шифрування AES). Серед недоліків: проблеми з сумісністю пристроїв різних виробників (відсутня стандартизація на прикладному рівні OSI) та перешкоди на частоті 2,4 ГГц [4].

ВИСНОВКИ

У даній статті наведено сучасні протоколи зв'язку, що забезпечують взаємодію датчиків та кінцевих пристроїв з центральним шлюзом та користувачем. З розглянутих протоколів для пристроїв типу SmartHome кожен має свою сферу застосування, оскільки у випадку потреби у довгій роботі системи без постійного живлення – використовуватись буде ZigBee або Thread. З іншого боку, при потребі у високій швидкості передачі даних слід використовувати Wi-Fi. Bluetooth, в залежності від версії, може бути як максимально енергоефективним, так і мати високі швидкісні характеристики. Таким чином, для пристроїв системи SmartHome не можна виділити єдиний універсальний протокол зв'язку. Подальший розвиток таких систем буде потребувати більшої інтеграції та взаємодії розглянутих протоколів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Zigbeevs. Wi-Fi или как настроить ZigBee сеть в условиях многоквартирного дома. Режим доступу: <https://smart-life.online/smart-home/lifehack/zigbee-vs-wi-fi/>
- [2] ZigBeeIP Specification. Режим доступу:http://www.sandelman.ca/tmp/6tisch/13002r01ZB_Marketing-ZigBee_IP_Specification_Public_Download.pdf
- [3] Протокол беспроводной передачи данных. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/protokol-zigbee-besprovodnoy-peredachi-dannyh/viewer>
- [4] ThreadVs. ZigBee (ForIoTengineers). Режим доступу: <https://www.link-labs.com/blog/thread-vs-zigbee-for-iot-engineers>

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

УДК 004.522

В. Ю. Герман, студент гр. ПГ-81мн, к.т.н., доц. О.М. Павловський
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРУ БПЛА ЗА ДОПОМОГОЮ SIMULINK

Анотація. У роботі розглянуто сфери застосування БПЛА, переваги та недоліки методів реалізації створених користувачем алгоритмів керування на польотні контролери, методи роботи з контролером польоту Pixhawk, сфери його застосування та основні характеристики. Наведений алгоритм формування та завантаження технологічного програмного забезпечення для керування польотного контролера, показана можливість опитування бортових навігаційних датчиків за допомогою Simulink. Визначено основні переваги такого підходу.
Ключові слова: БПЛА, алгоритми керування, польотний контролер, Pixhawk, Simulink.

ВСТУП

Навігаційно-пілотажні системи сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відрізняються своєю структурою, що змінюється в залежності від типу літального апарату, його маси, аеродинамічної схеми, вимог, що пред'являються до точності управління, стійкості та автономності. Але в цілому для коректної роботи БПЛА потрібно вирішити дві задачі: задачу навігації, яка полягає у визначенні координат літального апарату та його орієнтації в просторі, і задачу пілотування, яка полягає в управлінні літальним апаратом по навігаційним параметрам. На сьогоднішній день розроблена велика кількість контролерів польоту з власним програмним забезпеченням, які дозволяють вирішувати ці задачі. Наприклад: Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8), Pixhawk, контролери DJI, MicroKopter, Zero UAV X4 / X6, AutoQuad, KK., XAircraft та ін [1-3]. Проте, в залежності від поставлених задач, часто виникає необхідність редагування алгоритмів, на яких працює польотний контролер, для підвищення їх точності, проведення досліджень, або створення власного режиму польоту. Проте більшість програмного забезпечення або немає можливості редагування коду, або його зміна вимагає додаткового спеціалізованого обладнання, або модифікація такого алгоритму потребує певної послідовності дії і програмного забезпечення, що не є тривіальним питанням. Таким чином, метою даної роботи є послідовний опис алгоритму зміни стандартного програмного забезпечення поширеного польотного контролера Pixhawk.

ОГЛЯД РОБІТ, ЩО БУЛИ ПРОВЕДЕНІ ЗА СУМІЖНИМИ ТЕМАМИ

В статті [4] представлено послідовність створення нового режиму польоту: ідентифікація нелінійної системи на основі нечіткої кластеризації та розробка контролера на основі Pixhawk для квадрокоптера. Для комунікації між контролером і комп'ютером використовувався пакет даних MAVROS який дозволяє дистанційно керувати БПЛА, вносити корективи і знімати покази з датчиків, але потребує глибокого знання мови C++ і комп'ютера з операційною системою Linux.

В роботі [5] були розглянуті різноманітні види контролерів з відкритим кодом, та побудований БПЛА на основі Pixhawk міні для отримання даних під час польотних випробувань і використання цих даних для перевірки і

вдосконалення конструкції БПЛА. Для знаття даних і планування польоту у цій роботі використовувалася програма QGroundControl (QGC).

Існує доволі багато проектів, які можна об'єднати під однією назвою ArduCopter [2], суть проекту – використання у якості польотного контролеру платформи Arduino, що з одного боку спрощує створення програмної реалізації алгоритмів керування, а з іншого, за рахунок не оптимізованого коду – значно зменшує його функціональні можливості.

Методи реалізації створеного користувачем алгоритму керування на польотних контролерах БПЛА, наведені у вищезазначених роботах потребують знань для роботи з різноманітним програмним забезпеченням та навичок у програмуванні що робить ці методи досить складними у відтворенні. Таким чином, у подальшому будемо розглядати спрощені методи реалізації алгоритму керування та перевірки його на контролері польоту БПЛА.

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ SIMULINK НА КОНТРОЛЕРІ PIXHAWK

Для створення добре функціонуючого БПЛА, потрібно завчасно розроблений теоретичний алгоритм завантажити до польотного контролеру, який в свою чергу, зв'язує всю апаратну складову БПЛА та керує нею. На цьому етапі виникає ряд проблем, наприклад, потрібно перевірити працездатність та перетворити алгоритм у код, який буде сумісний з контролером. Контролери польоту закритої системи, взагалі, не дозволяють будь яке внутрішнє втручання у код їх програми та перепрограмування ядра польотного контролера, тому для здійснення поставленої задачі необхідно використовувати польотні контролери, створені у рамках проектів з відкритою системою та кодом, такі як Pixhawk, Ardupilot, Paparazzi, Openpilot, та ін. Такі контролери постачають разом з комплектами розробки та редагування програмного забезпечення (Software Development Kit (SDK)), щоб користувачі могли розроблювати власні програми та режими польоту.

Для реалізації задачі був вибраний контролер Pixhawk, так як він є одним з найефективніших, з точки зору гнучкості системи, польотних контролерів доступних на цивільному ринку. Це система автопілоту побудована на базі проекту з відкритим кодом PX4 і вироблена компанією 3D Robotics. У більшості випадків, питання перенесення алгоритму на польотний контролер ускладнюється тим, що оператор повинен володіти мовами програмування, що сумісні із наявним програмним забезпеченням, на досить високому рівні. Вирішення такої проблеми є використання пакету Simulink системи MatLab, що дозволить використовувати графічний спосіб створення алгоритму. Це середовище якнайкраще підходить для створення польотного алгоритму у вигляді блок-схеми, симуляції зовнішніх збурень та вхідних сигналів на систему, а також використовуючи додаткові налаштування, автоматично генерує готовий код для завантаження у контролер Pixhawk.

Проте, для реалізації зазначеного алгоритму, окрім пакету Simulink, необхідно мати наступний пакет програмного забезпечення: Simulink Coder, Embedded Coder, Aerospace Blockset, Pixhawk Toolchain та CMake. Докладна

інструкція по встановленню та налаштуванню приведеного вище програмного забезпечення викладена у роботі [6].

Після побудови моделі алгоритму польоту БПЛА у Simulink, розгортання створеної прошивки, користувачу необхідно натиснути на кнопку «Build», яка розташована на командній панелі інтерфейсу Simulink, після цього програмою виконується наступна послідовність дій:

- 1) Генерація коду моделі Simulink та компіляція в об'єктні файли;
- 2) Перенесення згенерованого коду у директорію `\px4\Firmware\src\modules\px4_simulink_app` разом з `CMakeList.txt`, який описує необхідні вихідні файли, включаючи шляхи та параметри компілятора;
- 3) Викликання `CMake` команд для генерації виконавчого коду контролера `Pixhawk` та інтеграції в неї коду з моделей Simulink;
- 4) Образ прошивки (*px4. файл) розміщується у `\px4\Firmware\build_px4fmu-v2_default`;
- 5) Користувачеві буде запропоновано підключити контролер `Pixhawk` для завантаження готової прошивки.

Для перевірки підключення і коректної роботи контролера була створена тестова прошивка у вигляді блок схеми на рис.1, для зняття значень з гіроскопу на протязі 10 секунд. На графіку з рис.2, зображений не оброблений сигнал гіроскопів контролера, який знаходився у стані спокою на горизонтальній площині.

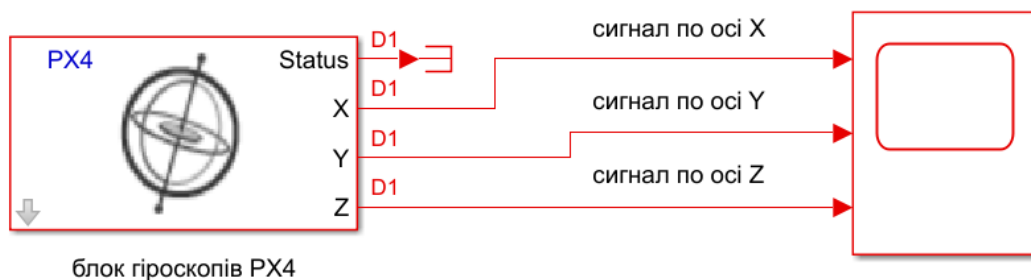


Рисунок 1. Simulink блок-схема виводу значень з трьох-вісного гіроскопу контролера `Pixhawk` на графік.

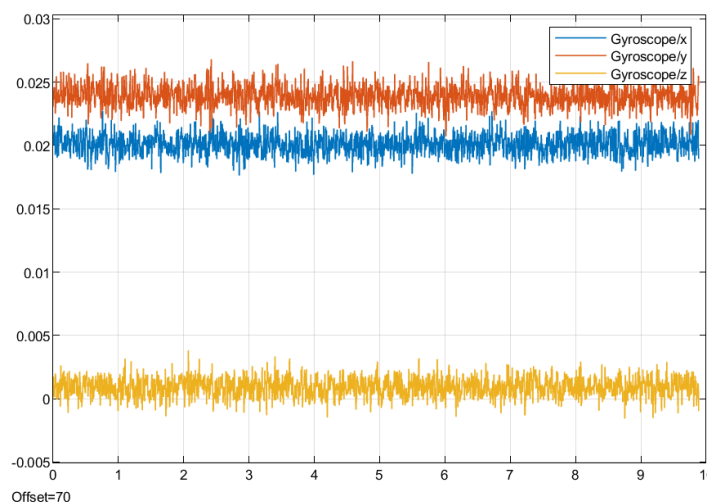


Рисунок 2. Покази з гіроскопу контролера за період в 10с.

Отримані дані можуть бути збережені у файл для подальшого аналізу на ПК, або для подальшої роботи можна модифікувати наведену блок-схему, додавши фільтри (Калмана, Мажвіка т.і.), що наявні у панелях інструментів Simulink. Такі дії призведуть до зменшення похибки і можуть бути використати для калібровки чутливих елементів, або для безпосереднього керування БПЛА. Таким чином, показана можливість простої реалізації будь-якого змодельованого алгоритму у Simulink на контролері Pixhawk, та можливість випробувати його на БПЛА, або вносити виправлення у наявний алгоритм керування.

ВИСНОВКИ

У роботі приведені проекти, які реалізують БПЛА на готових польотних контролерах, розглянуті проблеми реалізації готової моделі керування на польотних контролерах різних виробників, зауважено на проблемах при адаптуванні власних алгоритмів до різних систем. Тому перевагу віддано польотним контролерам із відкритим кодом. Для перевірки працездатності та ефективності інтеграції розроблених алгоритмів був обраний польотний контролер Pixhawk і пакет Simulink системи MatLab. Створена тестова блок-схема, що реалізує зчитування значень із блоку гіроскопів, яка підтвердила простоту та ефективність обраного підходу. Також, не зважаючи на велику кількість додаткових програмних компонентів, такий підхід дозволяє досить легко корегувати алгоритм в моделі Simulink і відразу завантажувати його на польотний контролер для подальших випробувань на БПЛА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Pixhawk | The hardware standard for open-source autopilots Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pixhawk.org/>
- [2] ArduPilot Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ardupilot.org/ardupilot/>
- [3] MultiWii [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.multiwii.com/>
- [4] Sreenatha G., Matthew A. Fuzzy Clustering based Nonlinear System Identification and controller Development of Pixhawk based Quadcopter in International Conference on Advanced Computational Intelligence. – 2017. – № 9 – p. 223–230.
- [5] Shahla Pourkaram AIRCRAFT SYSTEM IDENTIFICATION USING THE PIXHAWK MINI CONTROLLER FOR ACADEMIC USE / Shahla Pourkaram // Diss. Wichita State University – 2018. – p.1–125.
- [6] Pixhawk Pilot Support Package (PSP) User Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://discuss.px4.io/uploads/default/original/2X/d/d8a49f4c01c834a7d65472408731a80a57560356.pdf>

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

УДК 681.53

*А.С. Григор'єв, студент гр. ПГ-91мп, О.М. Павловський, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДІВ ОБЕРТОВОГО РУХУ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

Анотація. У роботі розглянуті основні види приводів обертового руху для систем автоматизації і керування. Найбільш розповсюдженими типами, що використовуються як у не комерційних роботах та проектах, так і на великих виробництвах, є сервоприводи та крокові двигуни. Стисло описані принцип дії та основні характеристики. Зазначено недоліки та переваги кожного із цих приводів. Приведені таблиці із основними характеристиками найбільш розповсюджених моделей сервоприводів та крокових двигунів. Зроблено висновки, що окреслюють сфери використання кожного із цих типів приводів.

Ключові слова: сервопривод, кроковий двигун, автоматизація, управління.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Із бурхливим розвитком електроніки, сучасні пристрої, як не дивно, не можуть обійтися без суто механічних частин, такі пристрої використовують виконавчі елементи обертового руху, такі як сервоприводи та крокові двигуни. Тому, щоб відповідати сучасним вимогам, ці виконавчі елементи також стрімко вдосконалюються, зменшуються їхні габаритні розміри, збільшується потужність та підвищується ККД. У наш час сервоприводи використовуються у дуже широкому спектрі сфер, наприклад, робототехніка, автоматизація різних процесів на виробництві, у виготовленні радіокерованих моделей та інше. По суті, сервопривід – це двигун постійного струму, суміщений із потужним редуктором і електронною схемою, що керує швидкістю, кутом повороту та системою автоматичної корекції положення, яке може бути програмно задано користувачем. На відміну від сервоприводів, крокові двигуни, це безколекторні мікромашини, що розвивають порівняно значно менший момент, проте можуть утримувати задане кутове положення без шкоди для двигуна, також, за рахунок використання крокових двигунів, можна досягти більшої точності позиціонування, що необхідно для виготовлення високоточних пристроїв та приладів. Відтак, із ростом попиту, з'являються нові модифікації як сервоприводів, так і крокових двигунів, тому метою даної роботи є огляд і порівняння характеристик існуючих, найбільш розповсюджених та досконалих мікромашин для вирішення різних інженерних задач.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як було зазначено вище, у більшості інженерних рішень пов'язаних із автоматизацією, використовуються сервоприводи або крокові двигуни, далі розглянемо детально кожен із цих видів. Сервопривод являє собою електромеханічний привід, який через внутрішній зворотний зв'язок, встановлює точне положення валу механізму в залежності від зовнішніх керуючих сигналів [1]. Зовнішній вигляд та принципова схема сервопривода показані на рис.1. Їх класифікують за багатьма параметрами, наприклад за типом двигуна - синхронні, що мають високу точність та швидкодію, асинхронні, з двигуном постійного або змінного струму, за потужністю, що може досягати 15кВт, та ін. [2].

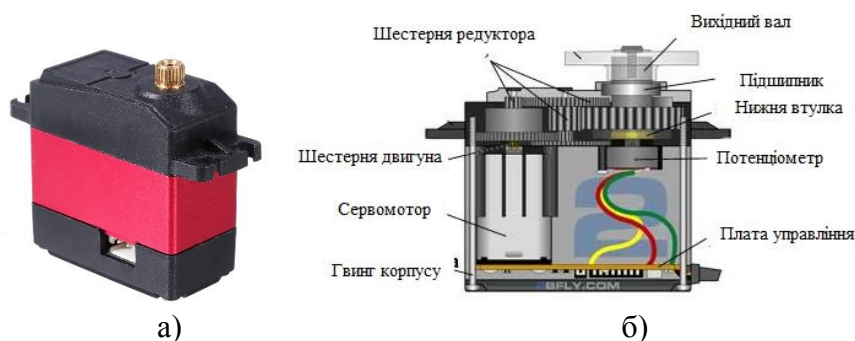


Рисунок 1. Сервопривод: а) зовнішній вигляд; б) принципова схема

В паспортних даних найбільш важливими вважаються такі величини як є крутний момент або зусилля на валу, діапазон напруги живлення та споживаний струм, максимальний кут повороту, та швидкість спрацьовування. Швидкість спрацювання показує, за який проміжок часу відбудеться поворот вихідного вала на 60 градусів. Напруга живлення у більшості малопотужних двигунів відповідає діапазону від 4,8 до 7,2 В, причому при збільшенні напруги, майже пропорційно збільшується і момент на вихідному валу. Робочий кут повороту, у більшості пристроїв становить від 120° до 360°. Далі представимо порівняльну характеристику найбільш поширених сервоприводів, що наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики сервоприводів

<i>Модель сервоприводу</i>	<i>Крутний момент, кг/см</i>	<i>Кут повороту, градуси</i>	<i>Швидкість, сек/60°</i>	<i>Габаритні розміри, мм</i>
SG90	2	180	0.12	33×30×13
GH-S37A	0.7	180	0.1	20.1×9.1×17.6
MG996R/995	9.4	120	0.17	40×19×43
DS3225	25	180	0.13	40×20×40.5

Крокові двигуни (КД) обертаються не безперервно, а змінюють положення ротора в залежності від послідовності і величини імпульсів, що приходять на керуючі обмотки, а також від обраного способу управління. Величина такого кроку безпосередньо впливає на точність позиціонування, і відповідно, на силові характеристики приводів[3]. Особливістю використання крокових двигунів, є так звані режими утримування, що супроводжується фіксацією вихідного вала у певному положенні. Такий режим роботи не характерний, а ні для двигунів постійного, а ні змінного струму, що і визначає область використання таких приводів. Порівняльні характеристики крокових двигунів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Порівняльні характеристики крокових двигунів

<i>Модель КД</i>	<i>Утримуючий момент, кг/см</i>	<i>Кут повороту на один крок, градуси</i>	<i>Габаритні розміри, мм</i>
NEMA14	1.4	1.8	35 × 35 × 34
NEMA 23	12.6	1.8	56.4×56.4×41
28BYJ-48	343	5.6	41,9×31,1×29,0
NEMA17	4.2	1.8	40 × 42.3 × 31

ВИСНОВКИ

Провівши порівняння за даними представленими у таблиці 1 та таблиці 2, можна зробити висновок, що маючи порівняно однакові габарити, сервоприводи, за рахунок конструктивних особливостей дозволяють розвинути на порядок більший крутний момент, у порівнянні із кроковими двигунами, проте більшість представлених сервоприводів має обмежений кут повороту, а точність позиціонування, визначається характеристиками вбудованої електроніки і точністю потенціометра. На томність, більшість сучасних крокових двигунів взагалі не мають системи слідування за положенням вихідного валу. Ще одним недоліком крокових двигунів, можна виділити необхідність в окремій платі керування – драйвері, що збільшує габаритні розміри такого приводу.

Підсумовуючи, можна сказати, що сервоприводи та крокові двигуни завдяки високій енергоефективності, можливості точного управління, і відмінним робочим характеристикам, мають великий потенціал та використовуються як у не комерційних роботах та проектах, так і на великих виробництвах, оскільки являють собою основні елементи для забезпечення автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] СЕРВОПРИВОД: ЧТО ЭТО ТАКОЕ, ПРИНЦИП РАБОТЫ, ВИДЫ, ДЛЯ ЧЕГО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://techtrends.ru/resources/articles/servoprivod/>.
- [2] Что такое сервопривод и как он работает [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://samelectrik.ru/chto-takoe-servoprivod.html>.
- [3] Как работают шаговые двигатели [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://robotosha.ru/electronics/how-stepper-motors-work.html>.
- [4] Основы устройства и работы шагового двигателя: Принцип действия шагового двигателя [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: https://electroprivod.ru/stepmotor_principe.htm.
- [5] Подключение шагового двигателя [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://stepmotor.ru/podklyuchenie-shagovogo-dvigatelya>.

УДК 004: 519.712

*М.А. Євдокимова, студентка гр. ПГ-61, О.М. Павловський, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОГЛЯД ДАКТИЛОСКОПІЧНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ЗАХИСТУ

Анотація. В роботі представлений огляд найбільш використовуваних дактилоскопічних сенсорів, що представляють собою сканери відбитків пальців, які використовуються для систем автоматизації і захисту. Виділено основні 3 види, серед яких: оптичні, напівпровідникові, ультразвукові сканери. Приведений опис кожного із видів сканерів, із зазначенням переваг і недоліків, що окреслюють область застосування кожного з них.

Ключові слова: відбиток пальця, датчики, сенсори, захист, біометричний сенсор, дактилоскопія, папілярний візерунок.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У наш час, у зв'язку з розвитком техніки та поширеним використанням електронних систем, все більше уваги приділяється питанням безпеки. Такі питання умовно можна розділити на дві групи: захист інформації у мережевому просторі та фізичний захист від несанкціонованого доступу. Для захисту в сфері онлайн технологій набули кодові символні послідовності, т.з. паролі, проте, з врахуванням властивостей людської пам'яті, фізично не можливо запам'ятати велику кількість складних унікальних паролів, а занотовування унікальної інформації, зменшує її рівень захищеності. Схожа ситуація і у сфері фізичного захисту від проникнення сторонніми особами. Не зважаючи на велику кількість складних замикаючих пристроїв, модифікації замків та ключів, алгоритми злому залишаються відносно простими і, нажаль, ефективними. Таким чином, виникла необхідність в використанні більш надійних засобів безпеки. Наразі поширеним методом ідентифікації людини є дактилоскопія або розпізнавання відбитків пальців за папілярним візерунком, що є унікальним для кожної людини. Використання таких біометричних сенсорів значно підвищує рівень безпеки, а також спрощує авторизований доступ до інформації або приміщень. Сканери відбитків пальців, хоча і набули наразі широкого вжитку, проте з'явилися відносно недавно, тому метою даної роботи є огляд дактилоскопічних сенсорів для систем автоматизації та захисту, розгляд їх переваг та недоліків.

ОГЛЯД ВИДІВ СКАНЕРІВ ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦІВ ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ

Відбиток пальця, а точніше його папілярний візерунок є унікальним ідентифікатором кожної людини, що майже не змінюється в продовж життя, відновлюється при незначних пошкодженнях епідермісу, що робить його придатним для використання у якості маркера для використання у захисних технічних системах. У більшості сучасних систем захисту, що використовують дактилоскопічну інформацію, в якості чутливого елемента використовуються сканери відбитків пальців які генерують цифрове зображення папілярного малюнка, проводять його обробку і ідентифікують користувача.

За принципом функціонування та отримання дактилоскопічної інформації, існує багато типів сканерів, що описані в [1], але у роботі будуть розглянуті

найбільш поширені, серед яких: оптичні, напівпровідникові, ультразвукові сканери. Надалі розглянемо, кожний із зазначених типів.

Найбільш розповсюджені і найдавніші, це оптичні датчики, принцип роботи яких полягає в отриманні оптичного зображення для виявлення гребнів та западин папілярного малюнку, шляхом аналізу найсвітліших і найтемніших ділянок зображення [1, 2], що демонструється на рис. 1.

До переваг оптичних сканерів можна віднести:

- відносну простоту конструкції;
- при використанні сучасних оптичних матриць, висока (> 500 dpi) роздільна здатність.

До недоліків можна віднести неможливість відрізнити зображення пальця від справжнього пальця, оскільки дана технологія використовує двовимірне зображення, та можливість забруднення оптичних поверхонь.

Далі розглянемо напівпровідникові сканери, в основі яких лежить принцип отримання зображення папілярного малюнку, використовуючи властивості напівпровідників, що змінюються в місцях контакту гребенів папілярного візерунка з поверхнею сканера. Найпоширенішим типом напівпровідникових сканерів являються ємнісні, що використовуються в сучасних телефонах. Для отримання зображення використовується ефект зміни ємності рп-переходу матриці при дотику виступами папілярного візерунка. Матриця цих ємностей перетворюється в зображення відбитка пальця, який у подальшому аналізується електронною системою, з метою ідентифікації по контрольним точкам [4].

Перевагами використання сканерів ємнісного типу є:

- при великих партіях - низька вартість, що дозволяє використовувати в бюджетних пристроях;
- у порівнянні із оптичними, не залежать від освітлення;
- малі розміри, товщина та споживання енергії.

Із недоліків можна виділити можливість обману сканера муляжем папілярного малюнка, особливо в бюджетних моделях з невеликою роздільною здатністю, також, вони не можуть використовуватися на сенсорних панелях, оскільки ця технологія несумісна зі технологією вводу, зазвичай, їх розміщують поруч з фізичною кнопкою або на поверхні пристрою.

Найбільш точними використовуваними сканерами є ультразвукові або радіо сканери. Це сканування поверхні пальця ультразвуковими хвилями і вимірювання відстані між джерелом хвиль і западинами - виступами на поверхні пальця по відбитому від них ехо. Роздільна здатність таких сканерів набагато вища, ніж отриманого будь-яким іншим із розглянутих. Крім цього, варто відзначити, що даний спосіб практично повністю захищений від муляжів, оскільки дозволяє крім відбитка пальця отримувати і деякі додаткові

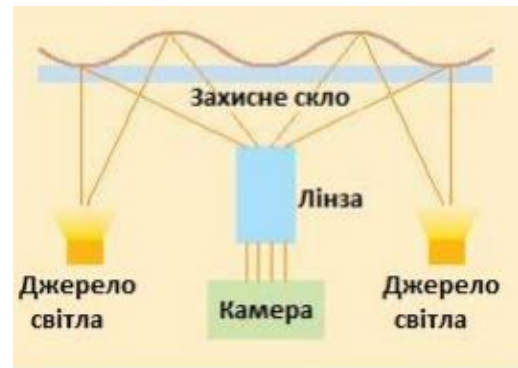


Рисунок 1 Принцип роботи оптичних сканерів

характеристики про його стан (наприклад, пульс всередині пальця) [1,5]. Схема роботи зображена на рис. 2.



Рисунок 2 Схема роботи ультразвукового сканера

Таким чином ультразвукові сканери мають ряд наступних переваг:

- тривимірне зображення високої роздільної здатності;

- сканування може проводитись в поганих умовах, наприклад, якщо у користувача брудні або вологі руки, майже не знижуючи якості сканування.

Недоліки:

- низька швидкість сканування, і як наслідок, нестабільність при треморі або поганому контакті папілярного малюнку із поверхнею.

Приведемо порівняльну характеристику найбільш розповсюджених типів сканерів у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння характеристик датчиків відбитків пальців

<i>Вид датчику / Характеристика</i>	<i>Оптичний</i>	<i>Ємнісний</i>	<i>Ультразвуковий</i>
Умови сканування	Погано розпізнає відбиток при брудних або вологих руках.	Погано розпізнає відбиток при брудних або вологих руках	Нестабільна робота при поганому контакті із поверхнею
Якість	Середня якість зображення (із можливістю підвищення якості, за рахунок застосування сучасних матриць)	В залежності від ємнісної матриці: середня	Висока
Роздільна здатність	600 dpi	До 600 dpi	> 1000 dpi
Надійність	Не відрізняють реальний об'єкт від зображення та муляжу.	Не відрізняють муляж від реального пальця	Дуже надійні
Швидкість сканування	Швидкі	Дуже швидкі	Повільні
Вартість	Середня	Низька	Дуже висока
Візуалізація	2D та 3D	2D	3D

ВИСНОВОК

Технології сканування відбитків пальців постійно досліджуються та удосконалюються. Сканери відбитків пальців, з урахуванням того, що масово вони почали використовуватись відносно недавно, набули широкого розповсюдження і використовуються у багатьох сферах людського життя, що вказує на те, що вони стануть більш поширеним і важливим інструментом безпеки в майбутньому. Найбільш розповсюдженими типами сканерів можна виділити оптичні, ємнісні та ультразвукові сканери, що відповідно мають свої недоліки та переваги, і таким чином, окреслюють область застосування.

Ультразвукові датчики мають найбільшу роздільну здатність, захищені від муляжів, але велика вартість та низька швидкодія не дають змоги використовувати їх масово.

Оптичні сканери - найдешевші, мають середню якість зображення та швидкодію, не відрізняють зображення та муляж від реального об'єкту, забруднені або спітнілі руки, також спотворюють результат сканування. Проте, такий вид сканерів використовується давно, і встиг зарекомендувати себе як гарне рішення для стаціонарних сканерів систем безпеки.

Для мобільних пристроїв найбільш оптимальним варіантом є використання напівпровідникових сканерів, які поєднує в собі достатню якість зображення, високу швидкодію, низьку вартість і енергоспоживання.

Не дивлячись на переваги використання дактилоскопічних сенсорів, для підвищення безпеки, рекомендується використовувати комплексування із іншими засобами захисту із дворівневою автентифікацією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Біометричні технології. Методи дактилоскопії / А.О. Мороз // Мат. машини і системи. — 2011. — № 3. — С. 58-65.
- [2] How fingerprint scanners work: optical, capacitive, and ultrasonic variants explained [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.androidauthority.com/how-fingerprint-scanners-work-670934/> — 28.03.2019
- [3] Датчики отпечатков пальцев фирм ATMEL и FUJITSU [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/_inteltek/finger.htm
- [4] Сканеры отпечатков пальцев [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://fingerprint.com.ua/article/reader.htm>
- [5] Fingerprint Scanners 101: Capacitive vs. Optical vs. Ultrasonic [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.konsyse.com/articles/fingerprint-scanners-101-capacitive-vs-optical-vs-ultrasonic/> — 31.12.2019 р.

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

УДК 531.383

Зубарський Д.О., студент гр. ПГ-61, асистент, Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МІКРОМЕХАНІЧНИЙ ГІРОСКОП RR-ТИПУ

Анотація. Розроблено конструкцію мікромеханічного гіроскопу RR-типу у середовищі автоматичного проектування SolidWorks. Проведено вибір матеріалу, розраховано конструктивні параметри чутливого елемента.

Ключові слова: мікромеханічний гіроскоп, жорсткість, тривимірна модель.

ВСТУП

Розробка перспективних систем навігації й керування рухом об'єктів різного призначення пов'язана з мініатюризацією систем, зниження їхньої вартості, енергоспоживання й експлуатаційних витрат.

Мініатюризація навігаційних систем вимагає створення малогабаритних гіроскопічних датчиків. Пошук нових можливостей створення інерційних датчиків з необхідними характеристиками й прогрес в області мікроелектроніки привели до появи нового класу приладів – мікромеханічних гіроскопів (ММГ). У цей час питання створення й використання ММГ привертає все більшу увагу розроблювачів і споживачів малогабаритних датчиків параметрів руху.

Сучасні ММГ значно уступають по точності традиційним електромеханічним гіроскопам, але перевищують їх по масо-габаритних характеристикам, показникам собівартості й енергоспоживання. Розроблювані зразки ММГ характеризуються надмалими масою (частки грамів) і габаритами (одиниці міліметрів), низькою собівартістю (десятки USD на одну вісь вимірів) і енергоспоживанням, високою стійкістю до механічного (ударні впливи до 105g) і теплового впливу (від -40 до +85) і достатньою точністю.

Істотне зниження масо-габаритних, вартісних і енергетичних характеристик відкриває нові шляхи використання ММГ у цивільній і військовій областях, де раніше їх застосування було неможливо через масо-габаритні обмеження або з економічних міркувань.

Серед можливих областей застосування ММГ як датчики параметрів руху можна назвати: автомобільна промисловість, навігаційне устаткування й військова техніка, робототехніка, медицина, товари широкого вжитку[1—3].

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МІКРОМЕХАНІЧНОГО ГІРОСКОПА

Конфігурація ЧЕ гіроскопа показана на рис.1. Вона включає в себе ротор 1, недеформовані 2 і деформуються 3, 4 елементи підвісу з анкером 5, витравлена в кремнієвою пластині. За допомогою анкера ЧЕ з'єднаний з підкладкою (корпусом), на якій розташовані електроди ємнісного перетворювача переміщень, датчика сили контуру компенсації моментів сил інерції Коріоліса, а також статорні елементи гребінчастих структур електростатичного приводу. останні спільно з роторними структурами, розташованими на роторі, створюють вібраційний крутний момент навколо осі Z.

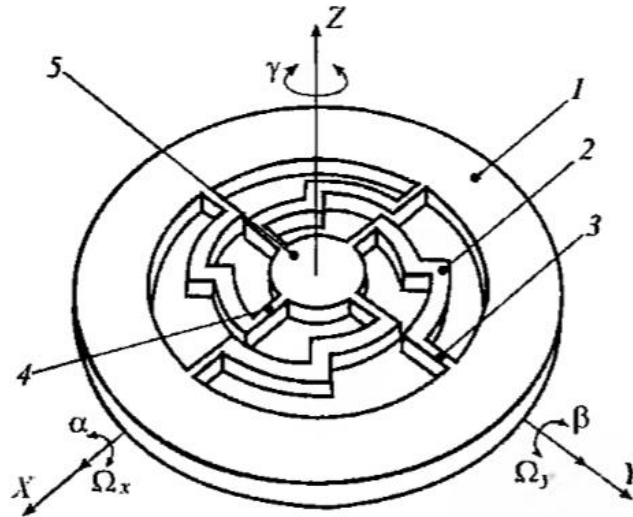


Рис. 1. Схема ЧЕ роторного МГ:

Дві пари пружних елементів 3 забезпечують з'єднання ротора з недеформованими елементами 2, які передбачаються абсолютно жорсткими, а дві пари пружних елементів 4 здійснюють з'єднання елементів підвісу 2 з анкером 5.

При повороті ротора навколо осі X всі пружні елементи, розташовані в площині, працюють на кручення, а розміщені вздовж осі Y - на вигин. При повороті ротора вздовж осі Y пружні елементи працюють однаково. При розворотах ротора навколо осі Z всі пружні елементи піддаються деформації вигину.

На рис. 2 представлено тривимірну модель гіроскопа, розроблену у середовищі SolidWorks.

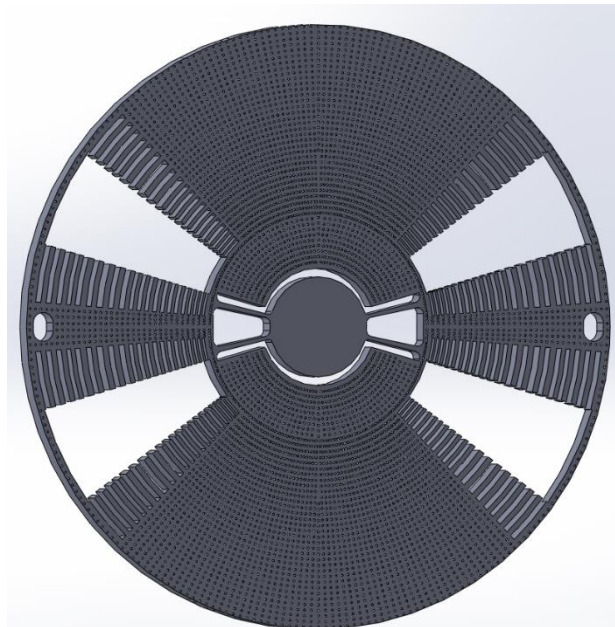


Рис.2 Мікромеханічний гіроскоп RR-типу

На основі розробленої конструкції було розраховано основні конструктивні параметри гіроскопу.

Мікроструктура витравлена з кремнієвої пластини на площині (100). Параметри кремнію: $E_{(100)} = 1,295 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$; $G_{(100)} = 0,79 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$; Ротор має параметри: $m = 2 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$; осьовий момент інерції $C_1 = 2,5 \cdot 10^{-13} \text{ кг м}^2$; екваторіальні

моменти: $J_x \approx J_y = A_1 = 10^{-13}$ кгм². Ротор та пружні елементи (торсіони) підвісу мають товщину $c_n = 127,19 \cdot 10^{-3}$ м, а ширина та довжина торсіонів відповідно, м: $b_{n1} = 127,19 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{T1} = 297,45 \cdot 10^{-3}$, $b_{n2} = 127,19 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{T2} = 297,45 \cdot 10^{-3}$.

Жорсткість кожного елемента та частота власних коливань:

$$G_\gamma = 2278,13 \cdot 10^5 \text{ Н/м}; \omega_{\gamma 0} = 3,019 \cdot 10^{10} \text{ Гц.}$$

Жорсткість на кручення торсіонів:

$$G_{\text{кр } x} = 13,9 \cdot 10^6 \text{ Н*м}, G_{\text{кр } y} = 1778,2 \text{ Н*м.}$$

Для руху у РЧ по будь-якій з координат α або β , при цьому ці два торсіони працюють на вигин:

$$G_\alpha = 1139,4 \cdot 10^{10} \text{ Н*м}; \omega_{\alpha 0} \approx 1,0674 \cdot 10^{13} \text{ Гц};$$

$$G_\beta = 1139,4 \cdot 10^{10} \text{ Н*м}; \omega_{\beta 0} \approx 1,0674 \cdot 10^8 \text{ Гц.}$$

ВИСНОВКИ

Розроблена тривимірна модель мікромеханічного гіроскопу RR - типу дозволила провести розрахунок та аналіз конструктивних параметрів чутливого елемента.

Отримані результати дозволяють проводити подальші роботи по проектуванню гіроскопа.

Розраховані параметри планується використати при синтезі імітаційної моделі ММГ у середовищі Matlab. Це дозволить створити адекватну та точну програмну модель для всебічного дослідження динаміки мікромеханічного гіроскопа RR-типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Распопов В.Я. Микромеханические приборы / Распопов В.Я. – 2007. – 400 с.
- [2] С. С. Сысоева, “Тенденции рынка High-end МЭМС-датчиков инерции. Новые уровни характеристик и исполнения,” Компоненты и технологии, no. 6, pp. 40–46, 2014
- [3] А. Н. Сапегин and М. В. Норенко, “Бесплатформенная инерциальная навигационная система на основе прецизионных микромеханических датчиков,” in Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение», 2016, pp. 120–122.

Наук. Керівник – асистент Сапегін О.М.

УДК 332.87+ 004.021

Д.Г. Котунова, студентка гр. ПГ-61 , О.М. Павловський, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД DIY ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СИСТЕМ «SMART HOME»

Анотація. Система «Smart Home» це система домашньої автоматизації, спрямована на забезпечення безпеки , підтримання мікроклімату, регулювання енергоефективності, тощо, шляхом використання приладів та датчиків, що мають змогу взаємодіяти один з іншим. В роботі показані розповсюджені датчики та модулі, що сумісні із більшістю екосистем, приведені їх характеристики. Представлений огляд DIY рішень для систем «Smart Home», показані їх перспективи розвитку, та конкурентоспроможність, за рахунок можливості більш гнучкої програмної настройки та можливості модернізації.

Ключові слова : Smart Home, DIY, розумний будинок, екосистема, система забезпечення безпеки, система забезпечення мікроклімату, розумна розетка.

ВСТУП

Система «Smart Home» - це сучасний продукт автоматизації, що за рахунок своїх складових, робить житлове приміщення більш зручним, функціональним та безпечним. Системи «Smart Home» реалізують організацію безпеки житла, створення комфортного мікроклімату приміщення, спрощують керування відеоспостереженням та мультимедійними пристроями. Більшість систем розраховані на підвищення енергоефективності будинку, деякі системи також мають додаткові «розумні» функції для спрощення домашніх клопотів.

На сучасному ринку технологій представлено багато варіантів готових екосистем «Smart Home», таких відомих виробників електронних пристроїв як Samsung, Xiaomi, Apple та ін., такі системи характеризуються широкими функціональними можливостями, простотою монтажу, керуванням та взаємодією у межах однієї екосистеми. Недоліками таких рішень є погана сумісність модулів різних виробників, що певним чином обмежує функціональність таких систем. Також існує ряд готових рішень, що представляють собою незалежні модулі, що сумісні із більшістю екосистем «Smart Home», розширюючи їх функціонал, проте вони потребують певних навичок, програмування, адміністрування мереж, тощо. Проте, такі модулі також мають певні обмеження і виконують лише задані функції, рішенням такої проблеми є створення власних модулів для системи «Smart Home», із змінюваним функціоналом і можливістю адаптації для більшості представлених екосистем. Таким чином, метою даної роботи є огляд існуючих модулів та DIY елементів для систем «Smart Home».

ПОПУЛЯРНІ ПРИСТРОЇ СИСТЕМ «SMART HOME»

Значну частину сучасного ринку побутової електроніки займають т.з. «розумні» та «інтелектуальні» пристрої – пристрої з розширеним функціоналом. Вони максимально відповідають потребам сучасного користувача та об'єднують в собі опції та можливості декількох «простих» пристроїв. Комплекси таких пристроїв, що доповнюють один одного своїм функціоналом, або мають можливість взаємодії, і формують систему «Smart Home». Розглянемо найбільш популярні та вживані модулі різних виробників, які мають високу сумісність із більшістю систем «Smart Home», що представлені на ринку:



Рис.1. Amazon Echo Plus

Amazon Echo Plus (рис.1) – музична колонка з функцією голосового керування. Має інтегрований концентратор ZigBee, підтримує технології Bluetooth та Wi-Fi. Гаджет дає можливість керувати розумними пристроями із систем освітлення, клімату, захисту (смарт-замки та камери безпеки) через голосові команди з Amazon Alexa або через мобільний додаток [1].



Рис.2. Nest Learning Thermostat

Nest Learning Thermostat термостат із можливістю навчання, призначений для автоматизованого контролю кліматичних умов (рис.2). Пристрій використовує датчики Nest для дистанційного керування мікроклімату у різних приміщеннях будинку, може автоматично знижувати температуру при відсутності людей для збільшення енергоефективності; підтримує технологію Bluetooth LE [2].

На рис 3. представлена Wi-Fi розетка Sonoff [3]. Модуль сумісний із більшістю систем і асистентів як Google Assistant або Amazon Alexa, та призначений для керування силовими споживачами



Рис.3. Wi-Fi розетка Sonoff

енергії.

DIY ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ «SMART HOME»

Проте, наведені вище приклади, хоча і є доступними та надійними, мають обмежений функціонал, без можливості розширення, тому на ринку з'являється багато модулів для реалізації самостійних проєктів для систем «Smart Home», т.з. DIY пристрої [4]. Надалі розглянемо найбільш розповсюджені елементи та конструктивні рішення:



Рис.4. модуль Wi-Fi розетки на основі ESP8266

1. Так як Wi-Fi розетки є найбільш розповсюдженим засобом домашньої автоматизації. То більшість DIY проєктів присвячено саме їм. Розповсюджена конструкція базується на використанні Wi-Fi модуля ESP8266 та силового реле із максимальним струмом до 10А [5]. Загальний вид електронних компонентів такої Wi-Fi розетки представлено на рис. 4. У більшості випадків, такі розетки керуються платформою Arduino, проте з врахуванням того, що ESP8266 керується власним контролером фірми Espressif,

то конструкцію Wi-Fi розетки можна спростити. Спрощена принципова схема Wi-Fi розетки представлено на рис. 5. Зазначимо, що блок живлення показаний принципово, так як контролер і

логіка реле потребують постійного живлення із напругою 5В, і не є додатковим зовнішнім пристроєм. Модуль ESP8266 має вбудований стек протоколу TCP/IP та керуванням АТ-командами, що дозволяє його програмно адаптувати до найбільш розповсюджених існуючих програмних рішень для систем «Smart Home», або створити власні. Функціональні можливості такої Wi-Fi розетки нічим не поступаються наведеному рішенню Sonoff, а за рахунок можливості програмної модифікації, розширюють спектр її використання.

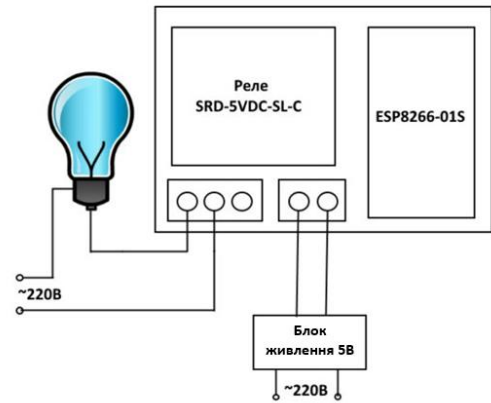


Рис.5. Схема компонентів розетки

2. На прикладі проекту Climaduino [6] розглянемо створення системи кліматичного контролю для «Smart Home». Це термостат на основі Arduino, загальний вигляд блоку керування якого наведено на рис. 6., призначений для управління настінним блоком кондиціонера. Такий DIY - спрощена версія Nest Learning Thermostat, він не має повного функціоналу термостату продукту Nest, але ефективно справляється з контролем температури і вологості та має дистанційне керування через Wi-Fi мережу, також зазначимо, що вартість компонентів такого термостату більш ніж у 10 разів менша ніж у Nest Learning Thermostat.

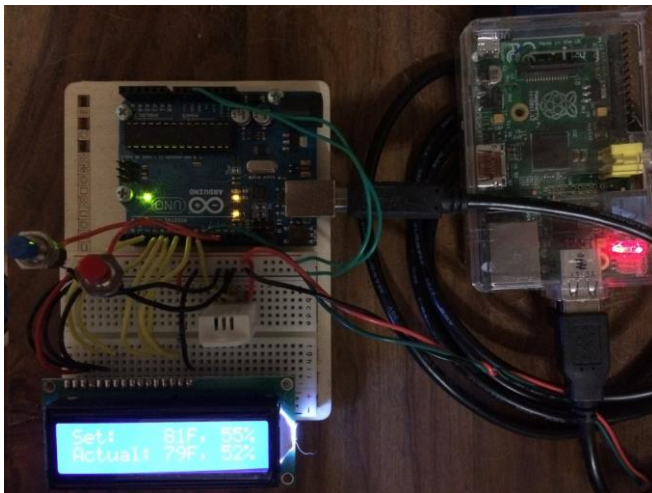


Рис.6. Компоненти Climaduino

Arduino Uno, у якості чутливо елементу використовує датчик температури і вологості DHT22, реле для керування кондиціонером та РК-дисплей, кнопки для контролю.

3. Наступним розповсюдженим DIY проектом, є метеостанції. Такі пристрої хоча і є відносно простими, проте набули популярності за рахунок великої кількості додаткових ЧЕ, що значно розширюють їх функціональні можливості. Для бездротової передачі даних, використовуються інтерфейси WiFi та Bluetooth, такий функціонал легко реалізується за допомогою плати ESP32-WROOM-32, що представлена на рис. 7

Що до чутливих елементів, то проект [7], що наведений на рис. 8, має наступні чутливі елементи: CO2-Senseair s8-53 – ЧЕ для вимірювання CO2;

BME 280 – комбінований барометр з інтерфейсом I2C, вимірює температуру, вологість та тиск;



Рис.7. ESP32-WROOM-32

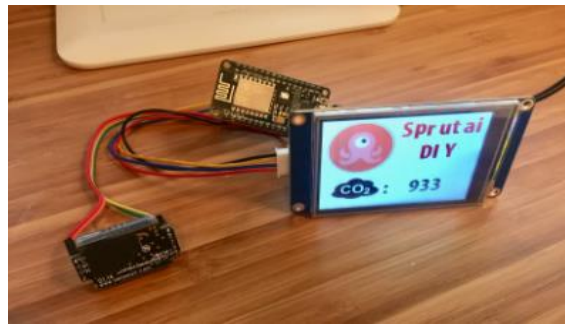


Рис.8. Метеостанція DIY

PMS5003 – лазерний датчик к-сті пилу pm1/pm2.5/pm10; Для виведення інформації та керування використовується сенсорний дисплей Nextion з діагоналлю 2.8 дюйми.

ВИСНОВКИ

Системи «Smart Home» створені для побудови домашньої автоматизації із використанням так званих «розумних» датчиків та модулів. Більшість представлених на ринку систем, хоча і мають широкі можливості, проте погано сумісні із системами «Smart Home» інших виробників. Є ряд універсальних модулів, які мають гарну сумісність із більшістю екосистем, проте не мають можливості модернізації та переналаштування. Так як на даний час популярність та ринок розумних пристроїв активно розвивається, з'являється більше можливостей для їх самостійної реалізації у вигляді DIY рішень. Такий підхід дає можливість реалізувати необхідний гаджет, який буде оптимальним функціональним та економічним рішенням для виконання поставленої задачі з можливістю його подальшого вдосконалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Amazon Echo & Alexa Devices [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.amazon.com/Amazon-Echo-And-Alexa-Devices/b?ie=UTF8&node=9818047011>
- [2] Nest [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nest.com/>
- [3] SONOFF Homepage [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sonoff.tech>
- [4] Комков, С. С. Создание и реализация системы «Умный дом» на базе микроконтроллера Arduino с управлением через web-страницу / С. С. Комков. Техника. Технологии. Инженерия. — 2018. — № 2 (8). — С. 10-14.
- [5] Обзор модуля реле для ESP8266-01S [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.URL: https://robotchip.ru/obzor-modulya-rele-dlya-esp8266-01s-esp-01s/](https://robotchip.ru/obzor-modulya-rele-dlya-esp8266-01s-esp-01s/)
- [6] Introducing Climaduino - the Arduino-Based Thermostat You Control From Your Phone! [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.URL: https://www.instructables.com/id/Introducing-Climaduino-The-Arduino-Based-Thermosta/](https://www.instructables.com/id/Introducing-Climaduino-The-Arduino-Based-Thermosta/)— 25.04.2020 р.
- [7] Метеостанция DIY [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.URL: https://sprut.ai/client/blog/820](https://sprut.ai/client/blog/820) — 25.04.2020 р.

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

УДК 62.529

М.С. Лещук, студентка гр. ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КАЛІБРУВАННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ РУХІВ ЛЮДИНИ

Анотація. В даній статті представлений огляд методів калібрування біомеханічних моделей. Було охарактеризовано основні напрямки розвитку біомеханічного моделювання. Описані три способи для калібрування скелету та особливості їх застосування.

Ключові слова: калібрування, біомеханічна модель, аналіз рухів

ВСТУП

Для аналізу рухів у сфері біомеханіки важливим питанням є вимірювання сили і тиску всередині людського тіла. Проте безпосередньо здійснити такого роду вимірювання неможливо з ряду причин. Класично для цього застосовують ряд технологій, таких як динамометрія, електроміографія, технології захоплення руху. При використанні динамометрії людина взаємодіє з спеціальними силовими платформами, що кількісно оцінюють сили реакції, коли людина ходить або бігає. Методами електроміографії вимірюють потенціал при роботі м'язів, що стискаються. При захопленні рухів виконується оцінка кінематичних характеристик руху. Вищеописана інформація дуже важлива для дослідження механіки рухів, але без відповідних моделей вона малокорисна.

Єдиний спосіб, що дозволяє послідовно і методично проводити аналіз та дослідження руху людського тіла — це створення та визначення параметрів механічної моделі людського тіла або принаймні частин людського тіла. Налаштування біомеханічної моделі є єдиною можливістю отримати уявлення про механічну поведінку скелету людського тіла.

ОГЛЯД МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

На сучасному етапі у галузі біомеханічного моделювання спостерігаються два основні напрямки розвитку: 1) створення кінематичних моделей системи багатьох тіл, які використовуються в профілактиці лікування захворювань опорно-рухового апарату та у спорті, для вдосконалення підготовки спортсменів чи при реабілітації (рис.1); 2) чисельні моделі, що використовують метод скінченних елементів (рис.2), як успішно застосовуються для попередження травм, поліпшення конструкції обладнання та оптимізація прийомів руху [2].

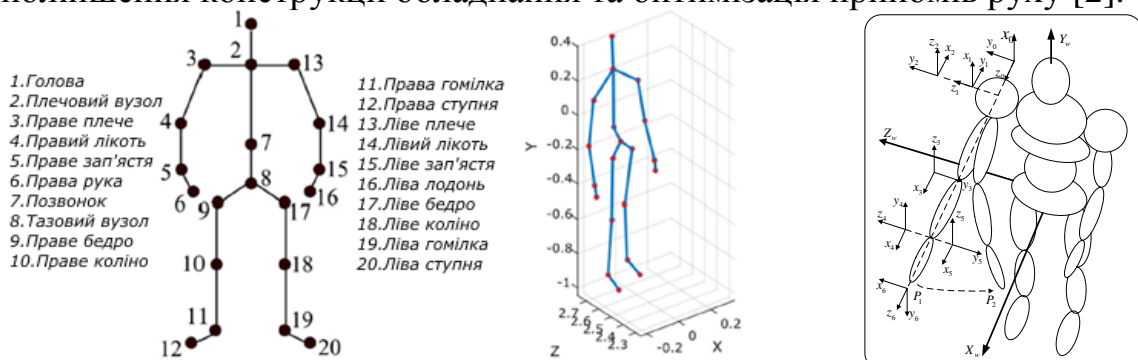


Рисунок 1. Кінематичні біомеханічні моделі скелету людини (зліва) та частини тіла (справа)

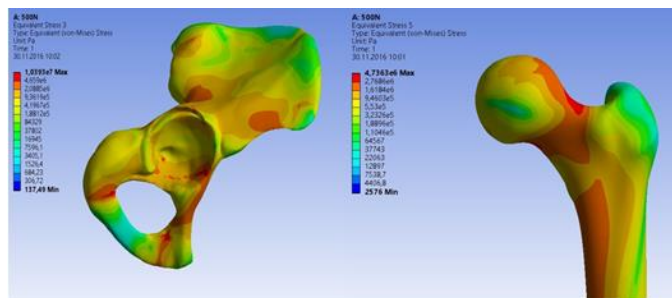


Рисунок 2. Чисельна модель частини скелету людини та її аналіз за допомогою МСЕ-пакету

Відстеження руху людей і тварин має велике значення в анімації, моніторингу стану пацієнтів, в спорті та сфері розваг. Щоб точно зобразити поведінку людини, необхідна точна біомеханічна модель скелету. В іншому випадку рухи моделі будуть непропорційними. Тому перед відстеженням фактичного руху об'єкта дуже важливою є процедура калібрування для визначення всіх параметрів кінцівки [1].

Калібровка полягає у визначенні лінійних та кутових розмірів біомеханічної моделі за допомогою спеціальних процедур вимірювання розмірів тіла людини.

Хоча оптичні технології захоплення руху можуть оцінити розміри користувача шляхом визначення центру та осі обертання на основі статистичного аналізу положення маркерів, велика кількість маркерів та кількість даних робить процедуру оцінки дуже трудомісткою і складною. Калібрування параметрів біомеханічної моделі для оптичних систем часто проводиться за допомогою стандартної калібрувальної сітки контрольної дошки та відповідних інструментів системи Matlab [3]. Якщо маркери не розташовані належним чином, то через особливості алгоритмів оцінки параметрів моделі та із-за ефектів рухомості шкіри – результат є неточним. Також значною є проблема перекриття маркерів. Для подолання частини з цих обмежень використовуються інерціальні вимірювальні модулі, як пристрої оцінки просторової орієнтації людського тіла. Оскільки інерціальні трекари досить маленькі та практично не накладають обмеження щодо людського руху, то вони можуть забезпечити точне захоплення руху.

При установці інерціальних блоків на тілі невідоме початкове положення між ними та сегментами тіла. Більше того, оцінка відстаней між сегментами тіла утруднена чисельним інтегруванням прискорення через невідоме початкове положення. Для інерціальних систем обов'язково необхідно виконувати процедуру калібрування, в якій визначаються розміщення та орієнтації датчиків відносно сегментів тіла [4]. Калібрування моделі скелета проводиться на основі кінематичних рівнянь. Під час калібрування використовують кінематику кінцівок та виконують її оцінку за допомогою датчиків орієнтації, з урахуванням положення кінцівок та кінцевих ефекторів. Використання цих даних у кінематичних рівняннях дозволяє виконати калібровку розмірів кінцівок. Тобто калібрування параметрів кінцівки базується на орієнтації кінцівок і позиції кінцевих ефекторів.

У роботі [1] було запропоновано три різні способи для калібрування біомеханічної моделі скелету: метод параметризації, метод нульового опорного положення та методи добутку матриці експонент. Для параметризації рухів

людини найзручнішим є метод матриці експонент. Даний метод дозволяє ввести в модель і лінійні, і кутові степені свободи суглобів людини. Хоча суглоби людини є складними суглобами з поступальним рухом, головне завдання полягає в калібруванні просторових розмірів кінцівок. Таким чином, можна проігнорувати незначні поступальні ефекти і припустити, що суглоби є чисто обертовими [1].

Добуток матричних експонент є компактним методом для формулювання прямої задачі кінематики відкритого кінематичного ланцюга. Він однаково описує обертові та лінійні(призматичні) суглоби, а системи координат можуть бути зв'язані з ланками довільним чином. Отже, у цьому випадку визначення системи координат, зв'язаної з частиною тіла, може бути більш гнучким.[1]

Метод нульової опорної позиції, ґрунтується на довільному виборі нульової опорної позиції, принципі подібності переміщення та послідовності ручної основи зміни спільних змінних в послідовному маніпуляторі. Опис нульового опорного положення найбільш підходить для відкритих кінематичних ланцюгів, які знаходяться в послідовних маніпуляторах, зв'язках, що використовуються для вимірювання відносних рухів, та біологічних системах [5].

ВИСНОВОК

З кожним днем біомеханічні моделі дедалі більше вдосконалюються, стають довершеними, тому налаштування та калібрування є важливим етапом в розробці та створенні біомеханічної моделі. Вибір методу калібрування залежить від сфери застосування та виду моделі. У даній статті було розглянуто методи калібрування біомеханічних моделей, їх особливості та доцільність їхнього використання в тому чи іншому випадку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] I-Ming Chen, Qilong Yuan Method to Calibrate the Skeleton Model Using Orientation Sensors. Conference Paper in Proceedings. *IEEE International Conference on Robotics and Automation - May 2013*
- [2] K. Engel, R. Herpers, U. Hartmann, Biomechanical Computer Models [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.intechopen.com/books/theoretical-biomechanics/biomechanical-computer-model>
- [3] Leonid Sigal, Alexandru O. Balan, Michael J. Black. HumanEva: Synchronized Video and Motion Capture Dataset and Baseline Algorithm for Evaluation of Articulated Human Motion. *Springer Science+Business Media, 10 July 2009*
- [4] Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke. *XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 8, 2009*
- [5] K. C. Gupta and G. J. Carlson, On Certain Aspects of the Zero Reference Position Method and Its Applications to an Industrial Manipulator. *Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois*
Наук. керівник – к.т.н., доц. Лакоза С.Л.

УДК 612.766:621.398

Д. Р. Матвієнко, студент групи ПГ-91мп, доц., к.т.н. Лакоза С.Л.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗПІЗНАННЯ РУХІВ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ

Анотація: у роботі розглянуті основні підходи щодо розпізнання рухів людини, охарактеризовано метод нелінійних атракторів, описано методи класифікації циклічних людських рухів за допомогою нейронних мереж. Приведено метод, що дозволяє генерувати рухи людини з нелінійною динамікою та дозволяє більш глибоко аналізувати особливості руху. Більшість розглянутих підходів використовують дані з акселерометрів. Значно рідше застосовується повний набір даних, що надають системи захоплення руху.

Ключові слова: інерціальні датчики, атрактор, нейронна мережа, акселерометр.

ВСТУП

Аналіз рухів людини широко застосовується в медицині, спорті, кібернетиці. У сучасному світі з використанням концепцій Internet of Things стають доступні технології, що дозволяють використовувати методи аналізу рухів у повсякденному житті.

Існуючі системи захоплення і розпізнання руху людини розділяють на дві великі категорії: 1) системи, що використовують оптичні камери чи ультразвукові датчики із застосуванням спеціальних маркерів; 2) системи, що використовують різного роду датчики, що носяться на тілі. У першому випадку рухи розпізнаються за допомогою спеціальних камер та виконується побудова руху повної біомеханічної моделі руху людини. Проте такі системи мають значний недолік, що полягає в необхідності використання спеціального приміщення для зменшення похибок. Також є певні рухи та позиції, при яких дані системи не можуть виконати розпізнання руху.

Носимі системи другого виду будуються з використанням блоків на базі МЕМС-датчиків, таких як акселерометри та гіроскопи, які зчитують вимірюють дані про певні характеристики руху напряму. Такий підхід не вимагає спеціального приміщення для захоплення руху людини. Цей спосіб є дешевшим і простішим у повсякденному використанні.

У даній роботі розглядаються стан розвитку методів розпізнання рухів для носимих систем.

НОВІТНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ РУХІВ

У роботі [1] розроблено метод аналізу руху людини за допомогою періодичних атракторів (атрактор - множина точок у фазовому просторі, до якої збігаються фазові траєкторії дисипативної системи). Даний метод полягає у зборі даних про рух людини за допомогою інерціальних датчиків (3-вісного акселерометра та гіроскопів, що вимірюють прискорення та кутову швидкість), на основі яких виокремлюються періодичні сигнали в розглянутих рухах та будуються замкнуті криві, пов'язані з конкретним сегментом кінематичної моделі тіла. На основі отриманих даних формуються періодичні атрактори для кожного з рухів та виконується проектування у фазовий простір.

Для сегментації використовуються шаблони періодичних сигналів, що витягувались із спостережуваних даних про один тип руху. Автори виконували

поділ даних руху на сегменти, ґрунтуючись на подібності певних частин руху, з подальшим діленням на кластери. Для кластерів автори використовували порогову кластеризацію якості QTC (запропоновано Хейером в 1999р). Отримані дані перепроєктовували у простір станів, де сегментовний рух змалював замкнуті криві. У роботі продемонстровано класифіковані характерні рухи людини на основі атракторів.

У роботі [2] розглянуто розпізнавання жестів, які виконувалися жезлом в руці людини. Автори виконували аналіз даних з інерціального модуля (однокристальний IMU 9255, мікроконтролер STM32F051x, wi-fi-модуль ESP8266, сенсорний екран). Для розпізнавання жестів використовувалася рекуррентна нейронна мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (Long short-term memory). Оптимізація структури мережі виконувалася за допомогою одного з алгоритмів стохастичного градієнтного спуску — алгоритму ADAM. Мережа навчалася на 70% від зібраних даних, інші 30% використовувалися для валідації [2].

Навчальна вибірка для навчання нейронної мережі представляла сукупність потоків даних, кожен із яких містить серію жестів, виконаних одним користувачем. Для навчання та класифікації неперервний потік даних розбивається на перекриваючі ділянки фіксованої довжини з постійною відстанню між ними. До особливостей обробки результатів відноситься те, що алгоритм розбиває отриманий файл з серією жестів на окремі фрейми за спеціальним алгоритмом, що додатково класифікує жест, як правильний чи ні. Ступінь відхилення від правильності враховувався при обчисленні матриці неточностей. У роботі приведено приклади матриць неточностей для навчальної і валідаційної вибірки, представлено розроблену метрику. Автори роботи стверджують про високу ефективність алгоритму класифікації. У роботі також наведено розрахунки продовжуваності кожного класу жестів з імовірністю у відсотках. Проте даний результат отриманий лише для обмеженої кількості користувачів, тобто потребує навчання та вдосконалення на різних групах користувачів.

У роботі [3] досліджувалося розпізнавання активності користувачів на основі даних акселерометра. Для цього використовувався один трьохвісний акселерометром CDXL04M3 (здатний вимірювати прискорення до 4G з допуском в межах 2%), прикріплений до зап'ястя руки. Автори ставили перед собою задачі: 1) визначення кращих класифікаторів виду діяльності; 2) характеристика інформативності певних ознак/атрибутів; 3) окреслення видів діяльності, які важче розпізнати. Були проаналізовані дані наступних видів рухової активності: стояння, ходьба, біг, підйом по сходах, спуск зі сходів, присідання, прибирання з пилососом, чистка зубів.

Для досліджуваних вибірок були розраховані середні значення, стандартне відхилення, енергія, коефіцієнти кореляції. Розрахунки виконувалися для з кожної з трьох осей акселерометра. Оцінка ефективності класифікаторів базового рівня проводилася за допомогою інструментів Weka з оцінкою продуктивності по метарівню. Буда проведена 10-кратна перехресна перевірка

для кожного з класифікаторів з усереднюванням результатів, при наступних налаштуваннях: 1) **Н1**: дані з одного виду рухової активності протягом різних днів змішані разом і схрещені; 2) **Н2**: дані з різних видів рухової активності в різні дні; 3) **Н3**: дані з одного виду рухової активності в один день; 4) **Н4**: дані з декількох видів рухової активності протягом одного дня. Проаналізовані дані представлено у вигляді таблиць. Система інколи не розуміла і плутала такі рухи, як чистка зубів, прибирання пилососом і підйом/спуск зі сходів.

У роботі [4] автори розробляли і оцінювали продуктивність алгоритмів розпізнавання рухової активності в повсякденних умовах. Розпізнавання діяльності виконувалося на даних про прискорення, зібраних з п'яти двохвісних акселерометрів (ADXL210E розміщених: на правому стегні; на домінуючому зап'ясті; на домінуючій руці; на домінуючій щиколотці; на не домінуючому стегні). Виконувалося розпізнавання не рухомих положень та діяльності об'єктів дослідження. Було виконано дослідження на 20 користувачах у лабораторних та напівнатуральних умовах. Для напівнатурального збору даних користувачі проходили смугу перешкод, що складається з низки заходів, таких як біг чи прийом їжі. Характеристики рухової активності розраховані на 512 вибіркового вікнах даних прискорення, з яких 256 перекриваються між послідовними вікнами. У роботі розроблено деревовидний алгоритм прийняття рішень, який міг розрізняти різні задачі з точністю у 80%. Автори показали, що прискорення можна використовувати для розпізнавання рухів у різних побутових справах. Недоліком запропонованого алгоритму є повільна швидкість навчання.

У роботі [5] запропонована система обробки інформації на основі рівнянь динаміки для управління рухом тіла робота-гуманоїда (робот має 20 ступенів свободи). Запропоновано метод розрахунку нелінійної динаміки, що використовує аттрактори для двовимірних замкнутих кривих з поліноміальною конфігурацією. Система запам'ятовувала нелінійну динаміку, генерувала і транслувала людські рухи тілу робота, базуючись на захоплених рухах і подальшого їх визначення за допомогою поліноміального подання. Запропонований метод визначається, як векторне поле в N-вимірному просторі і має аттрактор для будь-якої замкнутої кривої лінії. Для руху робота автори проектували нелінійну динаміку аттрактора у вигляді букви «V». На основі запропонованого підходу згенерований рух тіла гуманоїда (FUJITSU Humanoid HOAP-1) типу «ходьба» і типу «рух навпочіпки».

У роботі [6] розглянуто методологію виокремлення та класифікації стилю характерної складової руху під час ходьби. Рух вимірюється за допомогою чотирьох акселерометрів (WAA-010 фірми ATR-Promotions Inc.), що розташовані на визначених частинах тіла: правій гомілці, лівому стегні, нижній частині спини та лівому передпліччі. Для оцінювання характерної складової руху використовувалася оцінка класу руху за показами кожного з датчиків та виконувалося оцінювання внеску кожного датчика для ідентифікації ходи за допомогою ступеня розділеності класу. Для оцінки різниці у рухах між користувачами використовували сингулярний розклад даних акселерометра,

включаючи приблизно 20 циклічних вибірок для кожного об'єкта дослідження. Для виокремлення ознак ходи людини використовується сингулярний розклад вимірюваних даних та інтерполяція кубічними сплайнами.

ВИСНОВОК

Напрямок аналізу та розпізнання рухів людини на основі даних носимих систем активно розвивається. Сучасні методи розпізнання рухів активно використовують сегментацію рухів людини з використанням нелінійних атракторів. Це дозволяє переводити часові вибірки у циклічні фігури у просторі станів, які використовують для класифікації рухів. Класифікація виду рухової активності в більшості випадків виконується із застосуванням нейронних мереж різного роду. Необхідно відмітити, що більшість робіт використовують в основному дані з акселерометрів, інколи долучають вибірки даних з гіроскопів. Це можна пояснити складністю багатовекторної класифікації і збільшенням порядку складності при залученні нових даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Akiduki, T., Zhang, Z., Imamura, T., & Miyake, T. (2011). Human Motion Analysis from Inertial Sensor Data Based on Nonlinear Dynamics. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 7396-7401.
- [2] Хельвас, А. В., Беляйкина, Н. Г., Гиля-Зетинов, А. А., Черникова, Д. Д., Шабунин, В. М., & Япрынецев, Е. О. (2017). Распознавание жестов с помощью нейронной сети и применение этого подхода для создания игровых гаджетов нового поколения. *Труды Московского физико-технического института*, 9(2 (34)).
- [3] Okada, M., & Nakamura, Y. (2004, April). Design of the continuous symbol space for the intelligent robots using the dynamics-based information processing. *In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 (Vol. 4, pp. 3201-3206)*. IEEE.
- [4] Bao, L., & Intille, S. S. (2004, April). Activity recognition from user-annotated acceleration data. *In International conference on pervasive computing (pp. 1-17)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] Okada, M., Tatani, K., & Nakamura, Y. (2002, May). Polynomial design of the nonlinear dynamics for the brain-like information processing of whole body motion. *In Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 02CH37292) (Vol. 2, pp. 1410-1415)*. IEEE.
- [6] Akiduki, T., Kawamura, K., Zhang, Z., & Takahashi, H. (2018). Extraction and Classification of Human Gait Features from Acceleration Data. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 14(4), 1361-1370.

УДК 51-74

Мішура К. А., студентка групи ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИДІЛЕННЯ КОРИСНОЇ (ТРЕНДОВОЇ) СКЛАДОВОЇ З ЗАШУМЛЕНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

Анотація. Дана робота присвячена виділенню трендової складової зі складного зашумленого сигналу. В статті розглянуто обробку сигналів за допомогою вейвлет-розкладання та спектрального аналізу. В роботі проводилось розкладання сигналу на 8 апроксимацій та 8 деталей. У роботі було підтверджено ефективність вейвлет-перетворення та показано, що цей метод дає найбільш наочну і інформативну картину результатів обробки складних сигналів.

Ключові слова: вібраційні сигнали, вейвлет-аналіз, спектральний аналіз, обробка сигналів.

Мета роботи – підтвердження можливості та ефективності виділення корисної складової зі складного зашумленого сигналу на основі використання вейвлетної фільтрації.

Вейвлет-перетворення (ВП) одновимірного сигналу – це його подання у вигляді узагальненого ряду або інтеграла Фур'є по системі базисних функцій сконструйованих з материнського (вихідного) вейвлета $\psi(t)$, що володіє певними властивостями за рахунок операцій зсуву в часі (b) і зміни часового масштабу (a). Множник $\frac{1}{\sqrt{a}}$ забезпечує незалежність норми цих функцій від параметра масштабу a [1].

В процесі перетворення відбувається розкладання сигналу, що аналізується, в ієрархічний набір апроксимацій a_j , які отримані для великих значень параметру масштабу та характеризують повільні змінювання сигналу, та деталей d_j , що отримані для малих значень параметру масштабу та характеризують високочастотні складові сигналу.

В даній роботі аналізується змодельований сигнал, що є сумою корисної складової, полігармонічної завади та гаусівського широкосмугового шуму, реалізацію сигналу наведено на рис. 1.

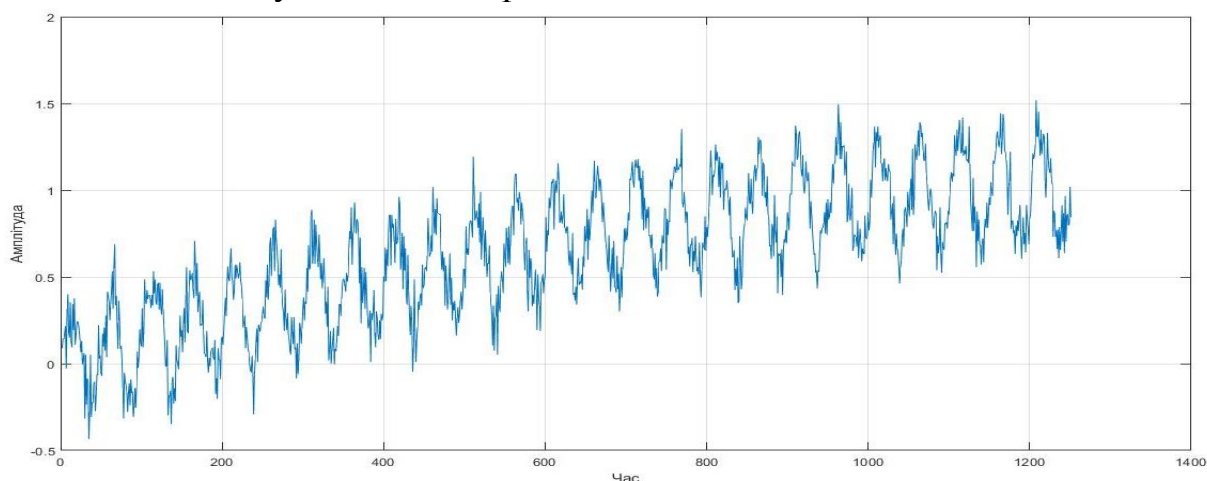


Рис.1. – Часова реалізація сигналу, що аналізується

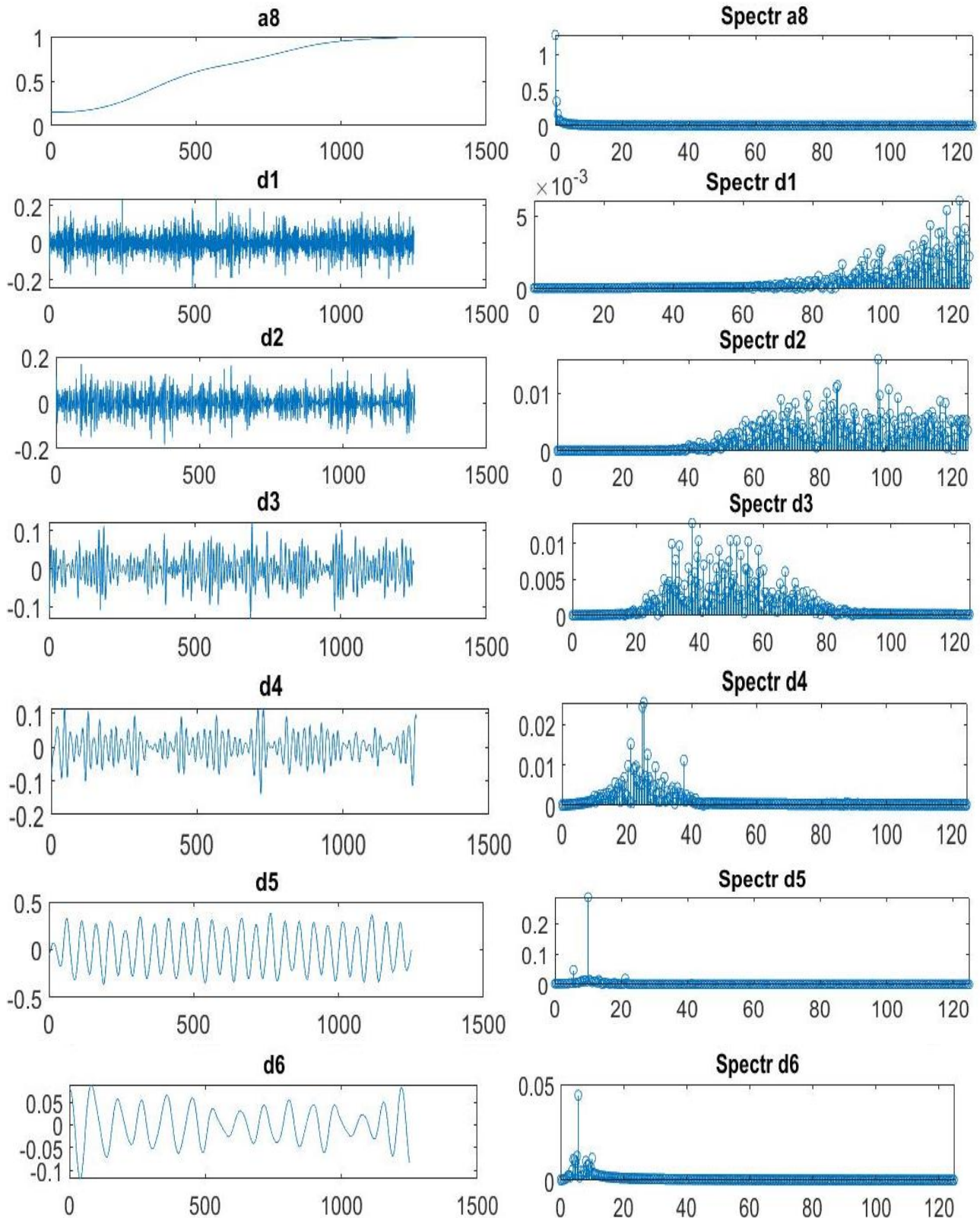
Кількість записаних точок сигналу дорівнює 1250, частота дискретизації – 250 Гц, тривалість процесу $t \approx 5$ с.

Сигнал було змодельовано за таким рівнянням

$$x(t) = A_0 \sin \omega_0 t + \sum_{i=1}^3 A_i \sin \omega_i t + n(t), \quad (1)$$

де $a = 0,1$, $A_0 = 1$, $A_1 = 0,3$, $A_2 = 0,05$, $A_3 = 0,01$, $f_0 = 0,1$ Гц, $f_1 = 10$ Гц, $f_2 = 25$ Гц, $f_3 = 70$ Гц.

Для аналізу сигналу було виконано вейвлет-розкладання сигналу на 5 рівнів з використанням хвильової функції сімейства Добеші db10, для кожного з отриманих елементів розкладання було проведено спектральну обробку, елементи розкладання та їх спектри наведено на рис. 2.



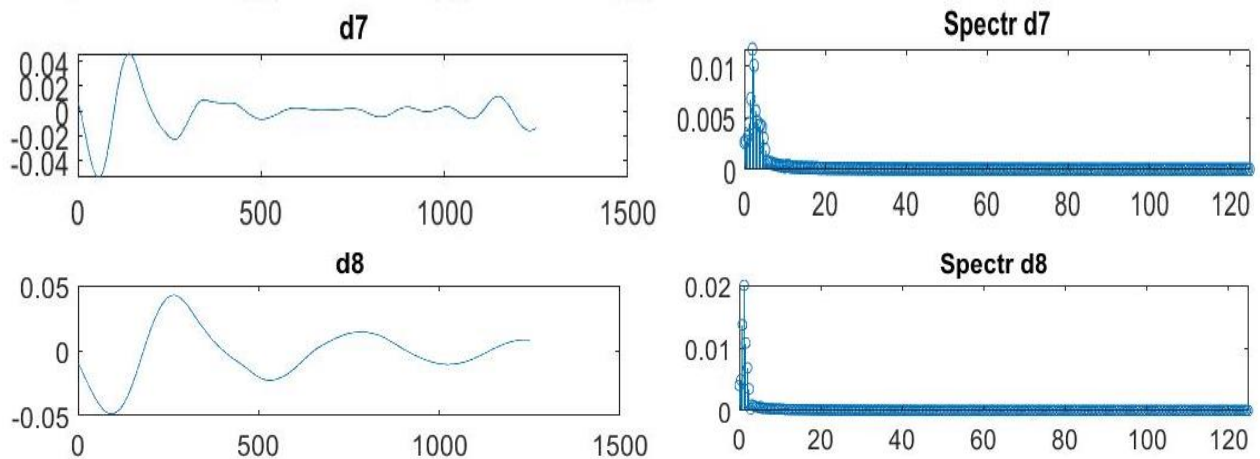


Рис.2. – Результат вейвлет-розкладання та спектральної обробки сигналу

Для кожного елемента розкладання за віссю абсцис відкладено час, а за віссю ординат – значення амплітуди, як і для оригінального сигналу. Для спектральної щільності елементів вейвлет-розкладання за віссю абсцис відкладено частоту в Гц, а за віссю ординат значення спектральної щільності. На рис. 2 видно, що в результаті вейвлет-розкладання було отримано трендову складову (апроксимація a_8), а сторонні впливи (завади та шум) були відфільтровані (вони представлені деталями вейвлет-розкладання).

На отриманому спектрі апроксимації a_8 інтервал частот близький до нуля, для деталей вейвлет-розкладання спектральна щільність відображає частотні діапазони, що характеризують полі гармонічні завади та широкосмуговий шум. На отриманих результатах спектральної обробки видно частоту, яка була використана для моделювання полігармонічної завади.

Отже, вейвлет-перетворення дає найбільш наочну і інформативну картину результатів обробки складних сигналів, дозволяє очистити вихідні дані від шумів і випадкових спотворень. Крім того, вейвлети добре підходять для аналізу нестационарних сигналів, що виникають в різних технічних застосуваннях обробки інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие . - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
- [2] Файфер Л. А. Анализ нестационарных сигналов с помощью вейвлет-преобразования // Молодой учёный. - июль-2 2016 г. - №№14 (118). - С. С. 182-186.
- [3] Спектральный анализ сигналов [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/253447/>
- [4] Вейвлет-анализ. Основы [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/449646/>

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

УДК 681.518.52

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

СПЕЦІАЛІЗОВАНА АВТОМОДЕЛЬ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

Анотація. Розглядається принцип роботи системи дистанційного управління пристроїв на її основі. Розроблена система дистанційного зв'язку та управління моделлю.

Ключові слова: автомодель, модуль, мікроконтролер, bluetooth, дистанційне керування, датчик.

ВСТУП

З розвитком технологій людство дедалі більше часу приділяло розробці та модернізації різноманітних технологічних процесів. Завдяки цьому, було створено безліч пристроїв та систем, які активно використовуються у нашому повсякденні. Деякі з них відіграють надзвичайно велику роль в промисловості, виконують управління над складними процесами або рятують людські життя. Конструктивні особливості таких приладів не дозволяють проводити розробку або збірку, без використання спеціалізованого обладнання або інструменту. Однак, в деяких сферах існує можливість не тільки проводити збірку або модифікацію вже готових приладів без використання спеціалізованого інструментарію, але й власноруч створювати пристрій з необхідними технічними характеристиками. Так, звичайна машинка на радіоуправлінні, яка ще десятки років тому була не більше ніж іграшка для малечі, сьогодні може виконувати пошукові та розвідувальні роботи, знешкоджувати боєприпаси та міни. Тобто, при правильному технічному рішенні, навіть іграшка може допомагати людству або рятувати життя.

КЛАСИФІКАЦІЯ РАДІОКЕРОВАНОЇ АВТОМОДЕЛІ

Радіокерованою моделлю є модель управління процесом керування якої відбувається шляхом дистанційного, безпроводного обміну інформацією [1]. Окрім цього слід зауважити, що існують також моделі з провідним управлінням.

Кожна модель, в залежності від призначення, має свою особливу конструкцію, що визначає її можливості та сфери застосування. Так, шосейні моделі мають особливий, аеродинамічний кузов зі спеціалізованими відкритими або закритими колесами, призначеними для руху виключно по рівній поверхні. Моделі для бездоріжжя при доволі великій швидкості руху, мають високі прохідні можливості, об'ємні колеса та велику силу інерції, що дозволяє виконувати стрибки з трамплінів різної складності. Також існують моделі для тріалу з м'якою резиною та високим крутним моментом електродвигуна для проходження кам'янистих поверхонь.

Крім даних моделей існують також спеціалізовані моделі, що використовуються в більш практичних цілях. В їх конструкції відсутні елементи декору, система управління є повністю ізольованою від чинників зовнішнього впливу, існує можливість оснащення необхідними вимірювальними приладами або датчиками, а великий радіус роботи дозволяє виконувати управління на безпечній для користувача відстані.

Головним недоліком таких моделей є висока ціна. Причиною цього є використання великої кількості різноманітних датчиків, маніпуляторів та новітніх систем дистанційного управління. Однак існує безліч способів створити не надто високу за ефективністю та ціною модель спеціального призначення.

СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА УПРАВЛІННЯ

В основі будь-якої моделі знаходиться мікросхема, яка здатна виконувати обробку інформації, що надходить з різноманітних датчиків та систем зв'язку. Таким чином, можливо створювати різноманітні принципи дистанційного керування з можливістю автоматичного внесення змін в роботу системи в залежності від зовнішніх чинників, полегшуючи процес управління. Такою мікросхемою є мікроконтролер.

Одним з найбільш відомих на даний час мікроконтролерів є ATmega328P. На основі даного мікроконтролера була створена платформа для розробки експериментальних прототипів майбутніх пристроїв, Arduino. ATmega328P містить 8-бітний процесор, що дозволяє виконувати велику кількість команд лише за 1 такт, 32 кілобайти Flash та 2 кілобайти оперативної пам'яті[2]. Крім процесора та пам'яті, мікроконтролер також містить ряд периферійних пристроїв, що дозволяють суттєво збільшити можливий функціонал мікроконтролера.

При роботі моделі, плата Arduino Nano, в основі якої заходиться ATmega328p, приймає сигнал управління з Bluetooth модуля HC-05 через UART інтерфейс плати, та інтерпретує їх в відповідні команди передбачені програмним кодом[3]. В залежності від отриманого сигналу, Arduino Nano розпочинає роботу з відповідними командами, що виконуються лише при умові передачі та отримання необхідної інформації. Зміна в процесі управління може відбуватись і цілком автоматично. Такі зміни можуть виконувати різноманітні датчики з метою виконання певної роботи або уникнення можливого виходу із ладу моделі в процесі експлуатації.

Окрім системи обробки інформації в кожній моделі також існують пристрої, які виконують функцію управління електричними двигунами в залежності від команд мікроконтролера. Таким пристроєм є драйвер.

Головним недоліком сучасних мікроконтролерів є мала сила струму на їх виходах. Так, на платі Arduino Uno, максимальна сила струму вихідних контактів не перевищує 40 міліампер. Для управління електродвигунами, необхідне живлення, в кілька разів більше за максимально допустиму силу струму на контактах мікроконтролера [4]. Драйвер може приймати сигнали управління з мікроконтролера та вмикати двигуни з необхідною швидкістю та напрямом обертання валу. Так, драйвер L298N може виконувати управління двома двигунами одночасно з максимальною силою струму до 2 ампер та напругою живлення до 35 вольт. Регулювання швидкості обертання валу відбувається шляхом подачі сигналу широтно-імпульсної модуляції з мікроконтролера на один з двох контактів драйвера[5]. Інші контакти необхідні лише для управління напрямком обертання валів.

Сукупність системи дистанційного зв'язку та обробки інформації з системою управління електродвигунами, при встановленні на рухому платформу з необхідними в залежності від умов використання допоміжними, маніпуляційними пристроями, створює спеціалізовану модель дистанційного управління (рис. 1).

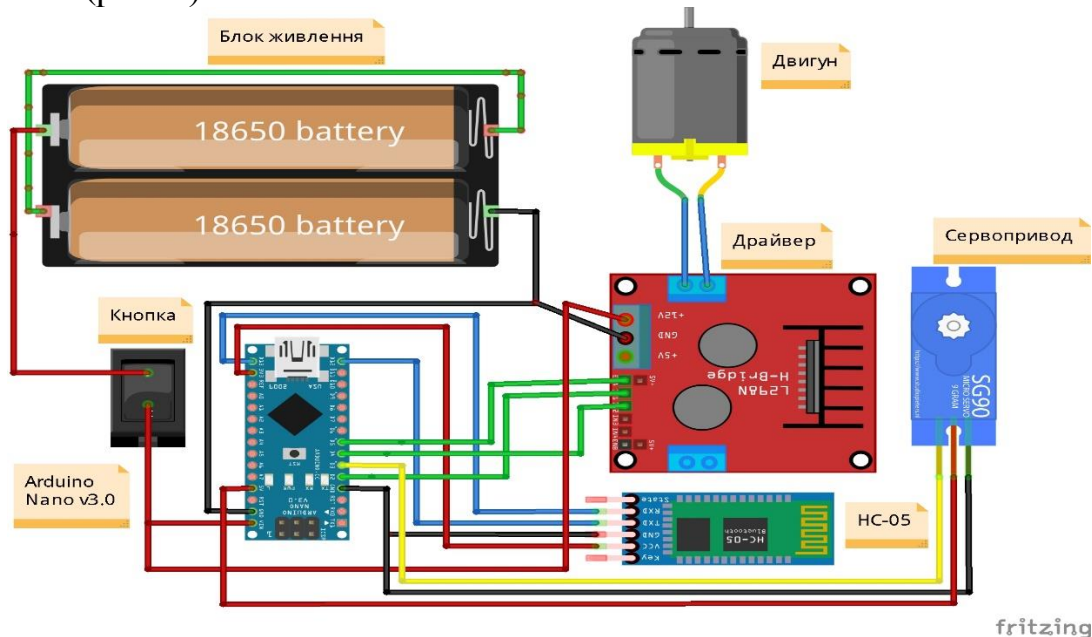


Рисунок 1. Схематичне зображення макетної плати системи управління та зв'язку

ВИСНОВОК

Сучасні технології дозволяють створювати моделі спеціального призначення з дистанційним управлінням. ATmega328P є одним з найвідоміших мікроконтролерів на основі якого побудована платформа Arduino. Сукупність модуля HC-05 в збірці з платою Arduino Nano та драйвером L298N створює повноцінну систему управління моделі. Пристрої візуального контролю навколишнього середовища набувають все більшого поширення і активно використовуються в сучасних моделях для дистанційного контролю положення моделі у просторі в різних навколишніх умовах використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д. С. Музика, Д. О. Півторак, «Етапи розвитку систем дистанційного управління», *XI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Погляд у майбутнє приладобудування»*, Київ, 2019.
- [2] Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino : навч. посіб. – К. : БХВ-Петербург, 2012.
- [3] Иго, Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств : навч. посіб – К. : БХВ-Петербург, 2012.
- [4] Мамичев, Д.И. Программирование на Arduino : навч. посіб – К. : СОЛОН-Пресс, 2018.
- [5] Петин, В. Проекты с использованием контроллера Arduino : навч. посіб. – К.: БХВ-Петербург, 2015.

УДК 681.518.52

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

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ BLUETOOTH.

Анотація. Розглядається принцип роботи технології Bluetooth та пристроїв на її основі. Проведена порівняльна характеристика модулів HC-05 та NRF24L01. Зроблені висновки на основі проведених досліджень.

Ключові слова: технологія, швидкість передачі, мікроконтролер, дистанційне керування, безпроводна передачі інформації, bluetooth.

ВСТУП

В момент виникнення перших систем дистанційного зв'язку та управління, людство розпочало їх активне впровадження в найрізноманітніші сфери життя. Але з швидким розвитком технологій все більше вчених дотримувалося думки, що їх системи дистанційної передачі інформації є занадто громісткими та енергетично неефективними.

В результаті багатолітніх досліджень та розвитку технологій, сьогодні існує широкий асортимент найрізноманітніших систем зв'язку та передачі інформації. Кожна система має свої особливості та недоліки, що обмежують їх сферу використання. Однак існують більш універсальні способи обміну інформацією, що активно використовуються суспільством в повсякденному житті. Одним з них є технологія передачі даних Bluetooth.

ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ BLUETOOTH

Технологія бездротового зв'язку Bluetooth, будучи розробленою ще в 1998 році компаніями Nokia, Toshiba, Intel та IBM, на сьогоднішній день, є однією з найпопулярніших способів передачі інформації [1].

Принцип роботи даної системи полягає у бездротовій передачі даних шляхом FHSS. Таким чином, всі цифрові прилади з наявністю Bluetooth модуля мають можливість безпроводного обміну пакетами даних в асинхронному або синхронному режимах. Головною відмінністю між ними є швидкість передачі пакетів, яка в синхронному режимі роботи складає 433.9 Кбіт на секунду. У випадку роботи в асинхронному режимі швидкість передачі буде складати 723.2 Кбіт на секунду. Передача пакетів даних відбувається шляхом псевдохаотичної перебудови частоти або з використанням наборів підчастот.

Як і в багатьох системах передачі інформації, для роботи Bluetooth необхідна наявність передавача та приймача [2].

У випадку необхідності створення взаємозв'язку між кількома пристроями, один з них налаштовується в режим Slave, тобто приймача, інший пристрій налаштовується в режим передачі пакетів даних, Master. Кожний модуль працює виключно в Slave або Master та не має можливості працювати в іншому, відмінному від початкового режимі роботи. Однак слід зазначити, що майже всі сучасні, цифрові пристрої можуть працювати в обох режимах. Одночасна передача та прийом пакетів даних, тобто робота в режимах Slave і Master одночасно, не є можливою, тому режим роботи залежить від умов взаємозв'язку.

Використання малогабаритних компонентів при їх невеликій ціні дозволяє створювати спеціалізовані Bluetooth модулі для найрізноманітніших цифрових приладів [4].

BLUETOOTH МОДУЛЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ HC-05

HC-05 є одним з найвідоміших та доступніших Bluetooth модулів. Головною особливістю даного модуля є можливість роботи в Master та Slave режимах. HC-05 може виконувати пошук інших Bluetooth-пристроїв, що знаходяться в радіусі роботи і створювати між ними взаємозв'язок або працювати в якості приймача.

В основі даного модуля використовується чіп BC417143. В сукупності з пасивними та активними елементами створює Bluetooth систему з підвищеною швидкістю передачі даних (EDR) до 3 Мбіт за секунду. Використання CSR Bluetooth програмного стеку, забезпечує повну сумісність системи з версією 2.0 специфікації для комунікації даних та голосу. BC417143 включає в себе автоматичне калібрування та вбудований тест-контроль (BIST) підпрограми для спрощення розробки.

Головною особливістю HC-05 є його простота налаштування. При роботі з мікроконтролером, в якості приймача, для процесу обміну інформацією з цифровим пристроєм достатньо кількох стрічок програмного коду.

РАДІОМОДУЛЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ NRF24L01

Даний пристрій є малогабаритним передавачем, який працює на частоті в 2.4 ГГц за спеціальним протоколом, що дозволяє виконувати обмін інформацією при низькому енергоспоживанні. Тобто, NRF24L01 був спеціально розроблений для роботи в світовому діапазоні частот ISM, від 2.400 ГГц до 2.4835 ГГц [3].

Основою роботи передавача є спеціалізований вбудований механізм протоколу базової смуги, "ShockBurst". Даний механізм базується на пакувальних комунікаціях та підтримці різноманітних режимів від ручного управління до розширеної роботи в автономному режимі. Внутрішні FIFO дозволяють створювати плавний потік даних між кінцем радіомодуля та MCU системою. ShockBurst знижує системні витрати завдяки швидкій обробці комунікаційних операцій.

Завдяки GFSK модуляції, користувач має можливість змінювати такі параметри як частота каналу, вихідна потужність та швидкість передачі даних. NRF24L01 має можливість передачі даних на швидкості в 250 кілобіт в секунду, а також, 1 або 2 мегабіт в секунду. Висока швидкість передачі даних комбінується з вдома режимами енергозбереження, що робить NRF24L01 сумісним з цифровими пристроями малої потужності.

Для створення радіо системи на основі NRF24L01 є необхідним використання мікроконтролерів і кількох пасивних компонентів. Слід зазначити, що при роботі з деякими серіями мікроконтролерів, робота даного модуля може періодично порушуватись в зв'язку з великою кількістю шумів або низькою силою струму на відводах живлення мікроконтролера. З метою вирішення даної проблеми був створений окремий модуль з стабілізатором напруги на основі чіпу

AMS1117. Підключення NRF24L01 відбувається через двохрядну колодку стабілізатора з'єднаного з апаратною шиною SPI мікроконтролера [5].

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

В процесі розробки цифрового приладу з безпроводною передачею даних необхідно визначити яким функціям та параметрам має відповідати пристрій. З даної причини вибір модулів зв'язку цілком залежить від умов експлуатації та технічних характеристик майбутнього приладу.

Модуль NRF24L01 має просту конструкцію та надійність завдяки чому активно використовується в системах збору даних, безпроводних охоронних системах, системах автоматики та телемеханіки, безпроводних іграшках. Однак розмір NRF24L01, як і сфера використання, не відрізняється від Bluetooth модуля HC-05.

Напруга живлення HC-05 коливається в межах від 3.3В до 5В в той час як напруга NRF24L01 не перевищує 3.6В. При невеликій величині енергоспоживання модулів, частота прийому та передачі складає 2.4ГГц для двох модулів, однак максимальна швидкість передачі даних NRF24L01 складає 2 Мбіт за секунду, а HC-05 до 3 Мбіт за секунду.

Радіус роботи модулів суттєво відрізняється і не перевищує 100 метрів для NRF24L01, або 10 метрів у випадку використання HC-05. Модулі мають велику сукупність налаштувань, керування якими може здійснюватись на програмному рівні. Це дозволяє збільшувати або зменшувати потужність та швидкість передачі даних.

ВИСНОВОК

Технологія Bluetooth є одним з найпопулярніших способів передачі інформації. Модулі зв'язку, побудовані на основі даної технології, є доступними та енергоефективними. В порівнянні з іншими модулями (NRF24L01) мають більшу швидкість передачі даних, але менший радіус роботи. Активно використовуються в сучасній цифровій електроніці та переносних пристроях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Оліфер, В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи : навч. посіб. / Н.А.Оліфер. - 2-е вид., перероб. і доп. – К. : Питер, 1999. – 267 с.
- [2] Вишневський, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации : підруч. / А.И. Ляхов. – К. : Техносфера, 2005. – 592 с.
- [3] Бителева, А. Технологии мультимедийного доступа : журнал – М. : Теле-Спутник, 2002.
- [4] Рошан, П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 : руководство / Д. Пиэри. – М. : Вильямс, 2004. – 304 с.
- [5] Папин, А.А. Интерфейсы. Выбор и реализация. – М. : Техносфера, 2005. – 168 с.

УДК 004.51

Ю.О. Пархоменко, студент гр. ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СТРУКТУРИ САЙТУ

Анотація. В даній роботі описано ієрархічну структуру сайту та способи оптимізації даної структури, адже готовим продуктом будуть користуватись і щоб не виникало проблем з відвідувачами потрібно зробити так щоб їх було зручно. Описано декілька способів оптимізації, які дозволяють збільшити відвідуваність сайту та зручність у використанні. За даними опитувань оптимізація дійсно покращує рівень сайту та зацікавленість до нього. В подальшому, можливе покращення програмного забезпечення, яке дозволить покращити роботу зі структурами сайту.

Ключові слова: ієрархічна структура, сайт, оптимізація.

На даний час існує безліч допоміжних засобів, що роблять процес розробки сайту достатньо зручним та простим. Однак далеко не кожен проект розвивається без проблем: на певних етапах виникають труднощі технічного характеру, причиною яких часто є неграмотно спроектована структура сайту.

Також існують випадки, коли розробник не має проблем з кодом та з функціонуванням сайту, але це не приносить бажаних результатів. В таких випадках, як правило, починають шукати недоліки у змісті сайту, кількості зворотних посилань і сильних конкурентів, недоліках організаційної структури сайту [1].

Під структурою сайту розуміється внутрішнє і зовнішнє розташування його окремих елементів. Наведемо принцип побудови структури. Структура це як бібліотека, необхідно зайти в певну секцію, щоб знайти правильну полицю та взяти звідти книгу. Подібний принцип зберігання інформації застосовують і при веб-розробці.

Внутрішня структура визначає логічні зв'язки між веб-сторінками. Продумана внутрішня структура дозволяє уникнути ситуацій, коли, наприклад, на сайті з'являються сторінки, доступні більш ніж в 3 кліки від стартової або в пошукову видачу потрапляють приватні сторінки або множинні дублі. З іншого боку, під внутрішньою структурою сайту іноді мають на увазі розміщення файлів і каталогів в файлової системі веб-сервера.[2]

Зовнішня структура – це схема навігації, вписана в дизайн сайту. Саме з зовнішньою структурою мають справу відвідувачі. Переходячи по посиланнях, вони отримують доступ чи не отримують до тієї інформації, яку представляє сайт. Ретельно пророблена зовнішня структура не тільки спрощує переміщення по сторінках, а й сприяє просуванню сайтів в пошукових системах, про це говорять самі розробники пошукових систем.[2]

Під зовнішньою структурою розуміють формування зв'язків між сторінками. Можна виділити кілька видів такого структурування:

1. Довільне – в цьому випадку на структуру ресурсу просто не звертають уваги. Це може практично не позначитися на роботі сайту, якщо він невеликий, але неминуче призведе до негативних наслідків у великих проектах:
2. Лінійне – в такому разі сторінки посилаються по черзі один на одного з незмінним порядком проходження. Таку модель можна назвати

покрокової, і її застосування доречно при оформленні будь-якого замовлення, розміщенні інструкції або складанні навчальних програм.

3. Ієрархічне – подібне структурування добре уявляти у вигляді дерева, де наочно демонструється ступінь вкладеності сторінок, визначених у каталоги високого і низького рівня. Ця модель є найпопулярнішою при веб-проектуванні, цю структуру можна побачити на Рис.1.

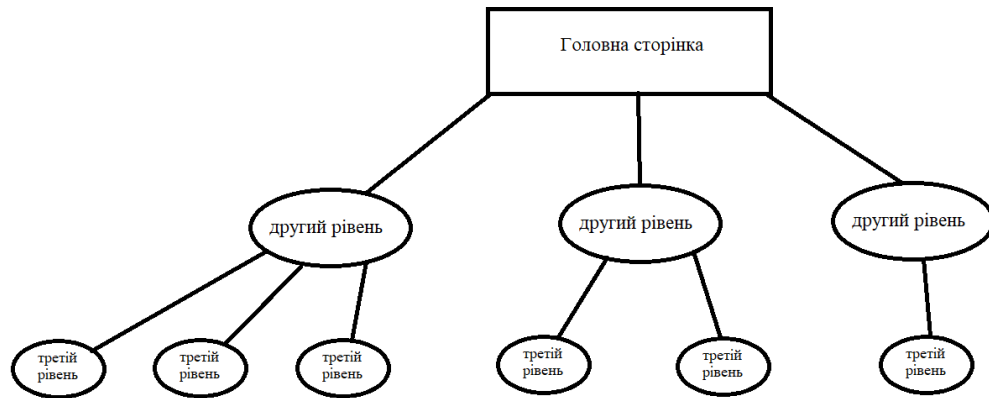


Рис.1 Ієрархічна структура сайту

На даному рисунку передбачено застосування головної сторінки, на якій розміщено меню з посиланнями на розділи сайту, що розташовані на наступних сторінках. Розділи можуть містити в собі посилання на підрозділи чи іншу детальну інформацію [1,2,3] .

Структура ієрархічного сайту - це модель організації сайту що зустрічається найбільш часто. Ієрархічна структура - дозволяє відвідувачам сайту за своїм бажанням керувати сайтом. Відвідувачі можуть зайти тільки на сторінки верхніх рівнів структури або ж спуститися нижче. При цьому діапазон вибору відвідувачів залежить від величини структури тобто кількості розділів на сайті.

Тим хто відвідують сайт не сильно подобається коли для одержання тієї або іншої інформації необхідно виконати безліч клацань на сторінці сайту, що не принесе бажаного результату. Тому, занадто широка структура , ґрунтуючись на дуже великій кількості варіантів вибору, може змусити відвідувачів витратити багато часу на вивчення наданих варіантів. Це також приводить до роздратування відвідувачів і вони зазвичай залишають сайт.

Більшість більш-менш складних сайтів мають комбіновану структуру. Лінійна або ієрархічна організація зв'язків між сторінками зручна і логічна для навігації по сайту, але посилання, вбудовані в зміст, створюють «павутину» асоціативних зв'язків, яка набагато складніше і гнучкіше вихідної структурної моделі. Це зовсім не означає, що нелінійні моделі поведінки типових відвідувачів звільняють розробників від створення веб-сайтів з логічною і продуманою структурою. На даний момент є багато різних структур які використовують для створення сайтів. Вибір вигляду сторінок буде повністю залежати від типу і цілей сайту. Ієрархічна структура найкраще підійде для будь-яких тематичних сайтів, блогів, сайтів з послугами. Вона найбільш зручна і зрозуміла для використання, і той же час дозволяє розмістити на сайті чимало інформації різного типу [1,2,3] .

Існує багато варіантів оптимізації ієрархічної структури сайту. Для того, щоб користувачам було легко орієнтуватись на сайті необхідно планувати ієрархію сторінок наперед, щоб уникнути непотрібних проблем. Структура сайту - це спосіб організувати всю інформацію на сайті та розмістити її в певному вигляді. Немає єдиного вірного рішення в плані ієрархії, вона може бути різною. Головні умови - це її логічність, збалансованість і відсутність перевантаженості. Під збалансованістю розуміється майже однакову кількість категорій в кожному розділі. Тобто, не потрібно прагнути зробити їх абсолютно однаковими, але якщо в одному розділі у вас буде 36 категорій, а в іншому всього 3, то це буде незбалансована структура.

Також необхідно враховувати малий рівень вкладеності сторінок. Розташування всіх сторінок на сайті можна визначити за допомогою рівня їх вкладеності:

1. 1-й рівень вкладеності - це головна сторінка сайту;
2. 2-й рівень - це все сторінки, на які можна перейти відразу з головної сторінки. Як правило, це категорії або розділи;
3. 3-й рівень - це сторінки (наприклад, статті в кожному розділі), на які ведуть категорії з попереднього рівня.[4]

Варто зробити так, щоб кожна сторінка сайту була доступна в межах трьох переходів, починаючи з головної сторінки. Тобто створити не більше, ніж трирівневу структуру. Сторінки, які знаходяться на більших рівнях вкладеності, будуть погано індексуватися пошуковими системами, а якщо це важливі продуктові сторінки, то ви їх таким чином просто знищите.

Щоб підвищити відвідуваність сайту бажано оптимізувати пошукову систему, для того щоб при пошуку можна було побачити проіндексовані сторінки, вирішенням проблеми стане регулярне оновлення карти сайту, це дозволить вказати пошуковому роботу на розташування всіх сторінок на сайті, тим самим перетворюючи їх у сторінки 2-го або 3-го рівня вкладеності. Слід поліпшити та оптимізувати процес просування сторінки по пошуковим запитам. Даний процес полягає у розміщенні посилань на певні сторінки сайту на інших сторінках. Це дозволить підвищити її «корисність» з точки зору пошукових систем і сайт з внутрішнім розміщенням посилань є більш зручним для користувачів, так як вони можуть переходити з однієї сторінки на іншу, не повертаючись до головного меню.

Внутрішнє розміщення посилань краще організовувати за принципом «кільцевого руху», тобто, посилатися на різні сторінки сайту, а не обмежуватися тільки взаємним внутрішнім посиланням. Щоб збільшити ступінь ранжирування сторінки та її релевантність, посилайтеся на неї за допомогою різних ключових слів, а не одного і того ж.[4]

Застосування «friendly URL», тобто веб-адреси, зручної для сприйняття людиною, використовуються для пошукової оптимізації сайту. Таке застосування у веб-адресах сторінок дає переваги і з точки зору зручності користувачів, і з точки зору пошукового просування.[4]

Коли користувач бачить читабельну адресу сайту, йому вже стає зрозуміло, яку інформацію містить дана сторінка. Для порівняння можна взяти адреси двох різних сайтів:

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Ukraine

і таку:

<http://history.com/History=65&kind=of24/g87Ukraine/>

Дивлячись на перший варіант, не виникає питань про те, в якому місці на сайті ми знаходимося, таким чином можна зробити висновок, що використання «friendly URL» є досить корисним. Користь з боку просування полягає в тому, що пошукові системи більш дружньо ставляться до сторінок, які містять в своїй веб-адресі ключові фрази.

Також необхідно враховувати структуру головної сторінки та розділів. Структура головної сторінки сайту повинна бути максимально зрозумілою і простою для сприйняття. Тут знову ж таки йдеться про відвідувачів, і пошукові системи. Вся інформація на сайті має бути короткою, але чіткою. Крім основних категорій, потрібен також і розділ з інформацією для користувачів, де вони зможуть задати своє питання, зв'язатися з адміністрацією сайту або дізнатися точки продажів продукції.

Назву сайту на головній сторінці слід зображувати у вигляді графічного елемента, який додається текстом. Пошукові системи не розпізнають, що написано або зображено на малюнку, тому будь-яка графіка на сайті марна з точки зору просування. А ось для залучення користувачів наявність хорошого графічного дизайну на сайті необхідно. Текст поруч із зображенням на головній сторінці допоможе пошуковим системам визначити тематику сайту і оптимізувати його під ключові запити.[4]

ВИСНОВОК

В представленій роботі наведено огляд оптимізації ієрархічної структури сайтів, даний вид оптимізації можна використовувати і для інших видів структур. Було розглянуто оптимізації які найкраще підійдуть для даної структури та сайту. За даними опитувань оптимізація дійсно покращує рівень сайту та зацікавленість до нього. В подальшому, можливе покращення програмного забезпечення, яке дозволить покращити роботу зі структурами сайту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Анатольев А. Г. Проектирование структуры веб-сайта [Електронний ресурс] / А. Г. Анатольев // www.4stud.info. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.4stud.info/web-programming/designing-the-site-structure.html>.
- [2] Структура сайту. Чітко, ясно і зручно [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://estdomain.com.ua/struktura-sajtu-chitko-yasno-i-zruchno/>.
- [3] Веб-дизайн: логічна структура сайту [Електронний ресурс] // WebStudio2U. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://webstudio2u.net/ua/design-web/403-structure-models.html>.
- [4] 6 способів оптимізації структури сайту [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://hostiq.ua/blog/structure-optimization/#1>.

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

УДК 681.518.3:5

І.М. Платов, студент гр. ПГ-п71, к.т.н., доц. О.М. Павловський
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ДАТЧИКА ВІДСТАНІ VL53L0X ДЛЯ СИСТЕМ ЗОРУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Анотація. В роботі запропоновано використання лазерного далекоміра VL53L0X в якості зорової частини мобільних роботів на заміну ультразвуковим. Для дослідження технічних характеристик далекоміра був побудований випробувальний стенд. Результати досліджень підтверджують переваги використання лазерного далекоміра, оскільки їх точність і вузька діаграма направленості дозволяє більш коректно оцінити форму перешкоди і відстань до неї, а отже, спектр вирішуваних роботом задач, зокрема задач позиціонування, значно розширюється, ніж у випадку використання ультразвукового далекоміра, що є більш розповсюдженим.

Ключові слова: Blitz3D, Arduino UNO, Atmega328p, мобільний робот, мікроконтролер, СОМ порт, датчик, лазерний далекомір.

ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В робототехніці, при побудові невеликих мобільних роботів, в якості оптичної системи позиціонування, широке застосування знайшли датчики відстані, які повинні надавати високоточні покази в процесі вимірювання, бути енергоефективними, та мати малі масогабаритні параметри. Тому, найбільш розповсюдженими стали ультразвукові вимірювачі відстані, принцип дії яких базується на вимірі часу проходження звукової хвилі від передатчика до приймача. В роботі [1] показано застосування ультразвукового датчика для побудови мобільного робота, але, незважаючи на суттєві переваги, їх використання обмежує розпізнавання перешкод через фізичні властивості ультразвукових хвиль. На відміну від світлових хвиль, акустичні важче фокусувати, а отже такі датчики мають досить широку, у порівнянні з лазерними, діаграму направленості. Більшість доступних ультразвукових далекомірів (SR-04/05, US-15/100) вимірюють відстань до найближчої перешкоди. Тобто це унеможливорює розпізнавання перешкод, що знаходяться на більшій відстані від датчика, ніж перша. Такий недолік відсутній, наприклад, у лазерних далекомірів, проте використання таких датчиків, донедавна було економічно не виправданим. Таку ситуацію змінила поява недорогого лазерного далекоміра VL53L0X. Таким чином, в роботі досліджується використання лазерного датчика в якості зорової частини мобільних роботів, для візуалізації отриманих даних у вигляді тривимірної моделі, що є актуальною задачею.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як було сказано, в роботі пропонується використати новий лазерний модуль далекоміра VL53L0X від ST-Microelectronics (рис. 1), який поєднує в собі провідні технології побудови оптичних датчиків, і на сьогоднішній день вважається найменшим у світі датчиком у даному класі [2]. Модуль розпізнає об'єкти на максимальній відстані до 2 м, напруга живлення в діапазоні 2.6 – 5.5 В, що відповідає стандартним рівням TTL для більшості сучасних контролерів, зв'язок з датчиком здійснюється за допомогою I²C інтерфейсу [3].

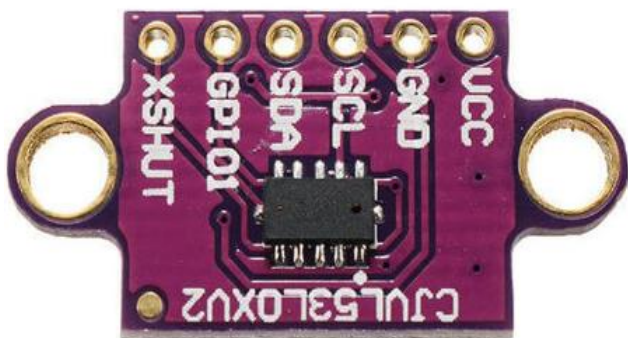


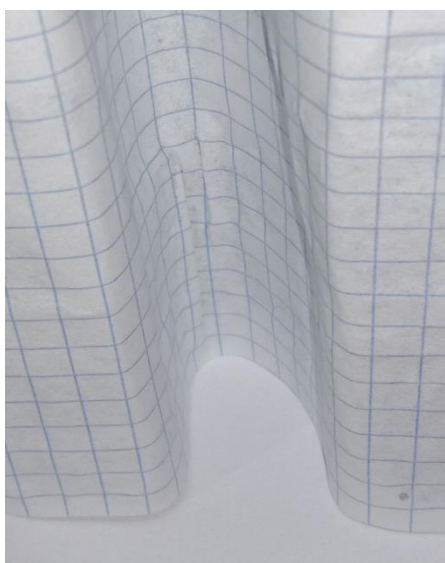
Рисунок 1. Лазерний датчик відстані VL53L0X

Для програмування датчика була використана відладочна плата Arduino UNO з мікроконтролером ATmega328P [4]. З метою спрощення процесу програмування була застосована готова бібліотека «VL53L0X by Pololu Версія 1.2.0», яка доступна для завантаження із середовища розробки ArduinoIDE [5].

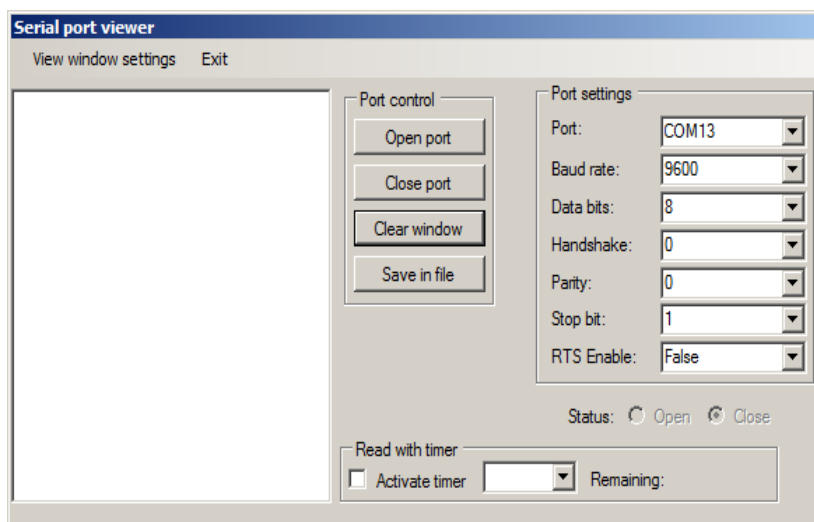
Для опитування датчика і автоматичного збереження отриманих

даних, було створено спеціальне ПЗ для роботи з СОМ-портом, загальний вигляд якого представлено на рис. 2 -б, алгоритм розробки детально описано в [6].

Дослідження VL53L0X проводилося за допомогою зразку складної поверхні, що представлена на рис.2 - а., так як такий вид поверхні, не може бути розпізнаний розповсюдженими ультразвуковими далекомірами. Профіль досліджуваної поверхні схематично представлений кресленням на рис.3 - а (вид зверху). Рух датчика відбувався повздовж вертикальної лінії. Вимірювалась відстань між центром датчика і контрольними точками які помічено розмірами. Відповідно до цього побудований графік очікуваного результату вимірювань (Рис. 3 - б).



а



б

Рисунок 2 - а. Досліджуваний зразок, б - Загальний вигляд головного вікна програми для роботи з СОМ портом

Результат опитування VL53L0X представлений на рис.4., зазначимо, що наведені дані, які наближені до очікуваного результату, представлені без додаткової обробки і є показником точності датчика, а отже, застосувавши відповідні алгоритми, у майбутньому є можливість підвищити точність отриманих результатів.

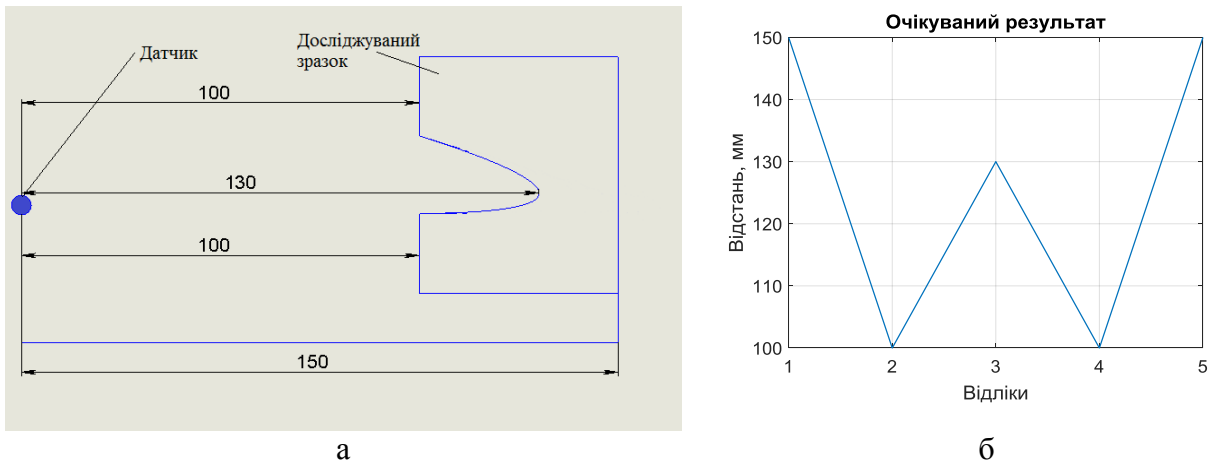


Рисунок 3. Розташування досліджуваного зразка – а, очікуваний результат вимірів в контрольних точках – б.

Було проведено 850 опитувань датчика, для формування вихідної вибірки і перевірки стабільності роботи.

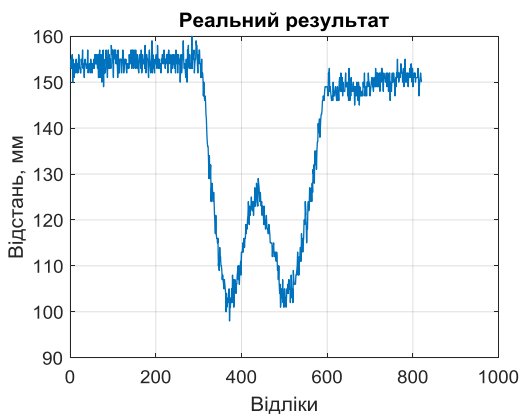


Рисунок 4. Реальний результат вимірів

Отримані результати показують ефективність використання лазерного датчика в якості зорової системи мобільних роботів, втім зазначимо, що більшої ефективності такої системи можна досягти за допомогою комплексування лазерних та ультразвукових ЧЕ.

Візуалізація даних показана на рис.6. Ця операція дозволяє отримати тривимірну модель об'єкта, що може бути використано для побудови карти приміщень, побудови шляху переміщення робота у тривимірному просторі, а також у випадку використання лазерного далекоміра як сканера тривимірних об'єктів.

Для даної задачі був використаний ігровий движок Blitz3D, оскільки він має спрощений синтаксис і дозволяє візуалізувати отриману інформацію для побудови 3D просторів, без використання важких графічних бібліотек, або використання, недостатніх для простої та швидкої реалізації тривимірної картини, можливостей операційної системи [7].

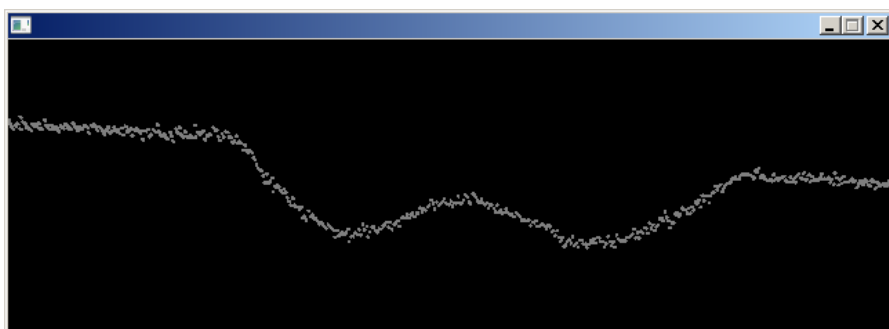


Рисунок 6. Візуалізація знятих даних у ігровому движку Blitz3D

ВИСНОВОК

Для підвищення точності визначення відстані до перешкод мобільними роботами було запропоновано замінити ультразвукові датчики відстані лазерними. Для дослідження був побудований вимірювальний стенд на базі датчика VL53L0X, керований за допомогою мікроконтролера Atmega328p. Для зняття і обробки даних була написана програма зчитування даних з СОМ порта, а для їх візуалізації використовувався ігровий движок Blitz3D.

Отримані дані підтверджують перевагу використання лазерного далекоміра в якості зорової частини мобільних роботів, оскільки їх точність дозволяє більш детально оцінити форму перешкоди і відстань до неї, а, отже, побудувати більш точну карту місцевості або оцінити можливості обраного роботом маршруту, у випадку вирішення задачі автономного керування. Хоча, для більшої ефективності зорової системи, рекомендується проводити комплексування лазерних та ультразвукових чутливих елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Костишин М.О. АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ / Костишин М. О., Жаринов И. О., Суслов В. Д. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2013. №2(84). с.162.
- [2] VL53L0X. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group3/b2/1e/33/77/c6/92/47/6b/DM00279086/files/DM00279086.pdf/jcr:content/translation_s/en.DM00279086.pdf, вільний.
- [3] Интерфейсная шина I2C (I2C). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html>, - 16.04.2009.
- [4] Arduino Uno.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>, вільний.
- [5] Arduino IDE.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, вільний.
Serial Communications.[Електронний ресурс]– Режим доступу: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/ff802693\(v=msdn.10\)?redirectedfrom](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/ff802693(v=msdn.10)?redirectedfrom) .
- [6] Проект PCPORTS.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kernelchip.ru/pcports.php>, вільний.
- [7] Платов, И. М. Использование игрового движка Blitz3D для моделирования физических процессов в инженерных задачах / И. М. Платов, А. М. Павловский // Новые направления развития приборостроения : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 334-335.

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

УДК 681.511

О.А.Савицький, студент гр. ПГ – 61 ,к.т.н. доцент П.С. Мироненко
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ЕЛЕКТОМЕХАНІЧНІ ПРИВОДИ МАЛОРОЗМІРНИХ БПЛА

Анотація. В сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають все більшу популярність в якості легких і недорогих засобів для проведення різних досліджень, пов'язаних з екологічною та сільськогосподарською діяльністю, повітряних зйомок при здійсненні моніторингу місцевості , включаючи і вирішування завдань військового призначення. Головна перевага таких літальних апаратів – виключення людського фактору при розв'язанні поставлених завдань. Проектування таких засобів відбувається в умовах підвищених вимог до тактико – технічних та масогабаритних характеристик. В роботі представлено огляд найпоширеніших рішень в проектуванні електромеханічних приводів та спричинених цим переваг та недоліків різних типів БПЛА.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, електромеханічний привод, рульовий привод.

ВСТУП

Розширення можливостей сучасних малорозмірних БПЛА, що призначені для польотів з підвищеною швидкістю в суттєво розширеній області траєкторій та в умовах дії збурень , вимагає для забезпечення високої якості управління суттєвого підвищення ступеня їх ефективності. Управління такими складними динамічними об'єктами повинно ґрунтуватися не тільки на використанні відомих принципів і законів управління, але і на урахуванні конструктивних особливостей елементів апаратів, особливо рульового приводу. Це вимагає як модернізацію відомих прогресивних рішень, так і пошуку нових нетрадиційних засобів керування.

Таким чином, одним з актуальних завдань проектування сучасних високоманеврових малорозмірних безпілотних літальних апаратів для управління елеронами на всіх режимах їх функціонування, є проектування такого бортового рульового приводу, в якому забезпечується такі основні конструктивно –технологічні та експлуатаційні характеристики:

- простота конструктивного виконання;
- надійна довготривала робота в умовах зовнішніх збурень.

А також наступні техніко – економічні показники:

- високі масо габаритні характеристики;
- високі значення швидкості та кута відхилення рулів;
- відсутність люфтів;
- енергоефективність.

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Основні технічні рішення побудови рульових приводів БПЛА , що представлені в літературі, можна умовно поділити на рульові приводи, в яких використовують електромеханічний привод в парі з гвинтовим або кулачковими механізмами, а також приводи, що використовують електромагнітні перетворювачі, які працюють в режимі безперервних перемикачів.

Кінематичні схеми, що ілюструють електромеханічний рульовий привод з гвинтовою передачею, представлено рис.1,2.

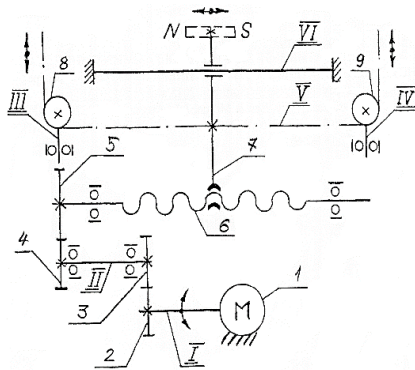


Рис. 1. Схема рульового приводу з гвинтовою передачею

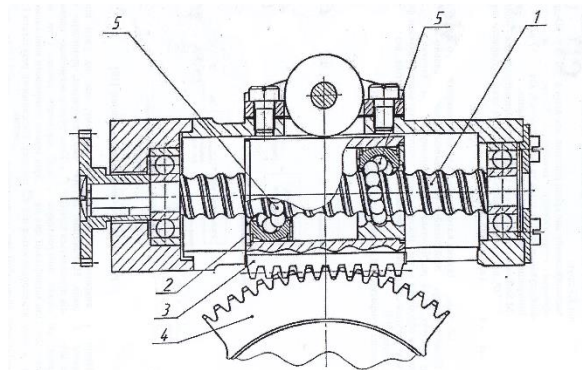


Рис. 2. Кульковогвинтовий механізм рульового приводу

При проектуванні рульового приладу за схемою, представленою на рис.1, найбільш важливим етапом в проектуванні редуктора є розподілення загального передаточного відношення по ступеням i_{23} та i_{45} (рис. 1.) Таке розподілення загального передаточного відношення проводиться з умов:

- мінімуму масогабаритних характеристик редуктора,
- потрібної точності передачі,
- забезпечення мінімальних величин моментів інерції зубчастих колес.

Рульові приводи з гвинтовою передачею у випадку габаритних обмежень можуть бути побудовані також з використанням планетарного механізму. Як указано в [1], використання планетарних редукторів, побудованих по схемі з двома корончастими і спареним сателітом, дає вигоду по габаритам і по масі приблизно вдвічі.

При використанні кулькогвинтового механізму суттєво зменшується сила тертя, але збільшується вага приводу. Конструкція виконуючого механізму з кулькогвинтовою передачею наведені на рис. 2, де 1 – гвинт кулькогвинтової передачі, 2 – сепаратор, 3 – ходова гайка кулькогвинтової передачі, 4 – зубчастий сектор вихідного валу, 5 – кульки.

При проектуванні кулькогвинтової передачі за базовий параметр приймається діаметр кульки, який визначається необхідною навантажувальною здатністю передачі, і через нього визначаються основні розміри передачі.

Заслуговує на увагу також ідея побудови виконуючого механізму рульового приводу маломірного літального апарату на основі використання хвильової передачі з тілами кочення [1]. В таких механізмах для зменшення габаритів використовується кінематична схема з нерухомим сепаратором, що дозволяє використовувати жорстке колесо як зовнішню обойму радіального підшипника. При розрахунках хвильової передачі за базовий розмір також береться розмір тіл кочення, а інші розміри виражають через цей параметр. Зменшення габаритів досягається розміщенням всередині вихідного ступеня передачі, причому перша ступінь механізму розміщена послідовно з електричним двигуном.

На рис.4 представлена кінематична схема основного механізму бортового рульового приводу управління елеронами безпілотного літального апарату. Для зниження лобового опору запропоновано конструктивне виконання електромеханічного приводу елерона з урахуванням інтеграції його в крило БПЛА [3]. Для передачі зусилля від електромеханічного приводу до елерона розроблена

кінематична схема на базі просторового кулачкового механізму барабанного типу. Такий механізм складається з кулачка 1, що жорстко закріплений на осі 3. Вісь 3 з'єднана з віссю двигуна і передає обертальний момент на качалку 2. Для управління елероном крила в електромеханічній системі можуть використовуватись як двигуни постійного току, так і крокові двигуни [6].

Основні переваги крокового двигуна в порівнянні колекторним : висока надійність, швидкий старт і реверс та широкий діапазон швидкостей.

Відомо, що трудомісткість виготовлення рульового приводу БПЛА з джерелом живлення досягає 40% від трудомісткості виготовлення самих безпілотників. Тому спрощення конструкцій приводів є актуальною задачею. Така конструкція приводу з поляризованим електромеханічним перетворювачем, що працює в режимі безперервних перемикачів з повним ходом якоря, представлена на рис.3 [2]. Особливістю конструкції є наявність однієї обмотки на рухомому якорі, що суттєво покращує його масогабаритні параметри, а також відсутність комутуючих контактів. Основні елементи приводу з імпульсним керуванням: 1 – постійні магніти; 2 – магнітопровід; 3 – якорь; 4 – рулі; 5 – пружина; 6 – обмотка; 7 – вал; 8 – полюсні наконечники. Основні переваги імпульсного рульового приводу - надійність і компактність .

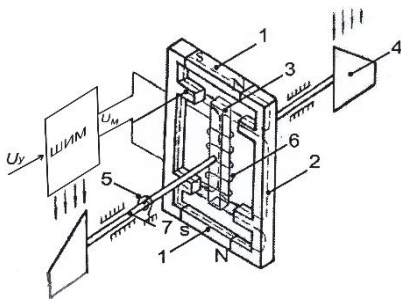


Рис. 3. Схема електромагнітного приводу БПЛА

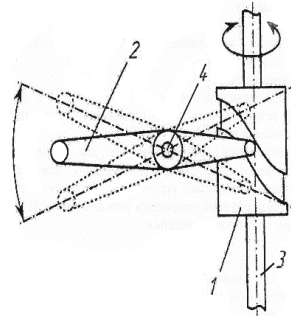


Рис. 4. Схема кулачкового приводу БПЛА

Аналіз технічної і патентної літератури свідчить, що з метою зменшення масогабаритних характеристик, вартості виробництва та експлуатації рульового приводу при забезпеченні його високої швидкодії в широкому діапазоні навантажень в останній час для контурів стабілізації та керування БПЛА все частіше використовують приводи з п'єзоелектричним двигуном. Такі п'єзоприводи програють електромагнітним двигунам по потужності, а МЕМС мікромоторам - по ступені мікромініатюризації. В той же час, основна перевага п'єзомоторів – можливість прямого позиціонування з мікронною точністю, мала вага, безінерційність і практично необмежений термін роботи.

Так в університеті м. Конкук (Ю. Корея) для використання в конструкції малогабаритного безпілотного літального апарату розроблена система повороту площини руля висоти на основі використання п'єзоелектричного лінійного двигуна [5]. Для зменшення ваги основні елементи приводу були виготовлені з композитних матеріалів . При напрузі 200 В мали такі робочі характеристики:

- при відсутності аеродинамічного навантаження реальна величина відхилення рулів - +/- 7,10 ;
- при швидкості руху БПЛА 5 м/с і незмінній напрузі живлення +/- 5,50.

Університетом штату Канзас (США) також були розроблені п'єзоелектричні пристрої привода аеродинамічних рулів малорозмірного літального апарата. В конструкції таких виконуючих пристроїв використовувався попередньою напружений (стиснутий) п'єзоелектричний елемент з подальшим навантаженням його зусиллям згину. Як указано в роботі [6], потужність такого приводу становила 24 Вт, а маса - не перевищувала 60 г.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто конструктивні схеми побудови приводів елеронів малорозмірних безпілотних літальних апаратів. Представлені можливі варіанти конструкцій, виділені їх переваги і недоліки та проаналізовані тенденції розвитку. Заслужовують на увагу рульові приводи, побудовані з використанням п'єзоелектричних лінійних двигунів, що мають очевидні переваги по масогабаритним і енергозберігаючим параметрам та простоті конструктивного виконання, що актуально саме для малорозмірних БПЛА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Крылов Н.В. Анализ массогабаритных показателей электромеханических рулевых приводов с различными типами механических передач / Н.В.Крылов, С.Л. Самсонович, В.С.Степанов//Известия Тул ГУ. Технические науки.-2012.- Вып.1.-С. 26-31.
- [2] Варенов А.А. Структура и динамическая модель электропривода с импульсным управлением для беспилотного летательного аппарата мониторинга энергообъектов / А.А.Варенов // Проблемы энергетики.- 2013.- № 5-6.- С.78 – 83.
- [3] Батищев Д.В. Электромеханический привод для управления элеронами летательного аппарата /Д.В.Батищев, А.А. Гуммель, К.Р. Гильмияров// Известия вузов. Северо – кавказский регион. Технические науки.-2014.- №1.- С.74 - 78.
- [4] Design of elevator control surface actuated by LIPCA for small unmanned air vehicle: Докл. [Conference on Smart Structures and Materials 2006 "Smart Structures and Integrated Systems", San Diego, Calif., 27 Febr.-2 March, 2006] / Yoon K. J., Setiawan Hery, Goo N. S. // Proc. SPIE. - 2006. - № 6173. - С. 61730D/1- 61730D/8.
- [5] Post-buckled precompressed (PBP) piezoelectric ac- 10 tuators for UAV flight control: Докл. [Conference on Smart Structures and Materials 2006 "Smart Structures and Integrated Systems", San Diego, Calif., 27 Febr.-2 March, 2006] / Vos Roelof, Barrett Ron, Krakkers Lars, van Tooren Michel // Proc. SPIE. - 2006. - № 6173. - С. 61730E/1-61730E/12.
- [6] Рулевой привод летательных аппаратов / Соколовский Г. А., Бажан А. Н., Тимохин А. И. (ФГУП ГосМКБ "Вымпел" им. И. И. Торопова) // Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов: Сборник докладов 6-й Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 21-23 мая, 2002. - М.: Изд-во МАИ, 2002. - С. 257-261.

УДК 631.451

Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-61, асистент Сапегін О.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

КУТОМІР НА ОСНОВІ МІКРОМЕХАНІЧНОГО ІНЕРЦІАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Анотація. В даній статі розглядається можливий варіант створення кутоміра на основі мікромеханічного датчика, що включає в себе блок акселерометрів та гіроскопів на основі плати Arduino у програмному середовищі Matlab.

Ключові слова: кутомір, мікромеханічний датчик, Arduino, Matlab.

ВСТУП

Arduino являє собою електронну платформу, головною ідеєю якої є забезпечення легкості при використанні апаратного та програмного забезпечення. Тобто для використання цієї платформи не треба дуже глибоко вивчати принципи роботи мікроконтролерів та периферії для них, відкритість початкового коду (open source) дає можливість модифікації та створення різноманітних модифікацій та поліпшень. Так завдяки цьому існує велика кількість різноманітних бібліотек створених користувачам для подальшої оптимізації та покращення роботи користувачів. Через це стало можливим створення додатку для середовища Matlab – Matlab Support Package for Arduino Hardware, що дозволяє виконувати взаємодію з платами Arduino. В сам додаток вбудовано бібліотеки для роботи з послідовними інтерфейсами (“I2C”, “SPI”), серво-машинами (“Servo”), а також існують спеціальні функції для спрощення роботи з найпопулярнішими інерційними вимірювальними модулями (MPU6050, MPU9250, LSM9DS1) робота з якими забезпечується функціями, що мають назву модулям.[1]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В минулій статі авторів було успішно продемонстровано створення кутоміру на основі акселерометрів.[2] Проте, такий прилад мав один суттєвий недолік – при русі об’єкта, на якому встановлено прилад, акселерометри починають реагувати на прискорення об’єкту і виміряне значення кутів становиться хибним. Приклад таких похибок зображено на рисунку 1.

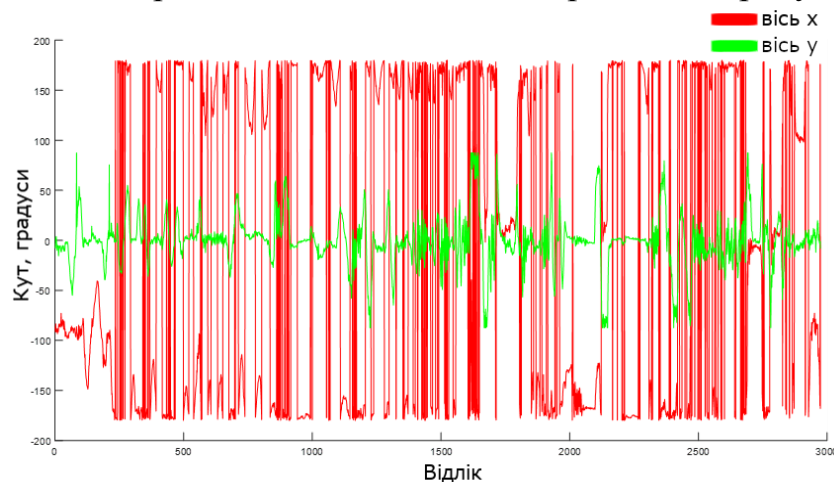


Рисунок 1. Покази кутоміру на основі акселерометрів на русому об’єкті

При тестуванні на рухомому транспорті імітувались нахили, подібні до тих, які може здійснювати автомобіль на бездоріжжі, шляхом невеликих нахилів самого модулю. Вісь X була направлена по колінеарно до напрямку руху транспорту, вісь Y – перпендикулярно до X . Як можна побачити з рисунку 1, вихідний кут осі X (червоний) зовсім не відображає значення нахилу. Через це становиться неможливим використання описуваного в статі приладу на рухомих основах. Тож для уникнення такої проблеми необхідно додатково використовувати гіроскопи і разом з акселерометрами створити безплатформну інерціальну навігаційну систему. А для мобільності системи створити для неї устаткування, що забезпечить автономність приладу – корпус, елементи живлення, показчики.

КОНСТРУКЦІЯ КУТОМІРУ

Для реалізації кутоміра вибрано такі складові:

- вимірювальний модуль MPU6050;
- плата Arduino UNO;
- серво-машини НК15178
- акумулятори NCR18650B з кейсом та контролером заряду.

Підключення компонентів один до одного відбувається за схемою зображеною на рисунку . Для MPU6050 рекомендована напруга живлення 3,3 В, тому його на нього живлення подається з виходу на платі, а контакти для I2C

SDA SCL під'єднані до контактів SDA SCL на платі, також можливе

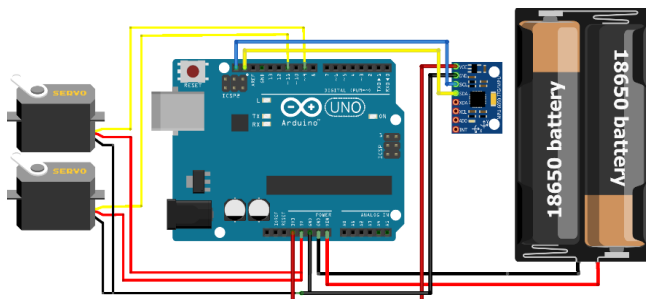


Рисунок 2. Схема підключення компонентів інклінометру до плати Arduino UNO

під'єднання до контактів A4 та A5 відповідно. Для серво-машин необхідна напруга живлення в 5 В, яке подається з плати, контакти керування під'єднані до контактів із функцією ШІМ – 9 та 10. Живлення плати з акумуляторів під'єднано до контакту Vin та GND. Контакти контролеру заряду та акумуляторного кейсу з'єднані відповідно до їх полярності.

Для зручного використання приладу розроблено корпус приладу. Корпус складається з трьох окремих деталей: основи, передньої панелі.

На основі розташовуються та закріплюються елементи приладу. Для фіксації плати та кейсу акумуляторів передбачено отвори для гвинтів. Посередині основи утворено Г-образну стійку для кріплення вимірювального модуля на гвинтах. Також для уникнення скривлення встановлення плати, передбачено жолоб для полусфер припою знизу плати модуля. Для кращої фіксації передньої панелі корпусу створено жолоб попереду основи.

Не передній панелі зроблено отвори для встановлення та закріплення серво-машин Самі серво-машини оточені кільцями що захищають показчики від зовнішніх пошкоджень та служать кріпленням для циферблату. Кріпляться до корпусу за допомогою гвинтів.

Кришка корпусу накриває основу та повторює силует передньої панелі. Задку передбачено виріз для доступу до контролера заряду. Кріпляться до основи та передньої панелі гвинтами.

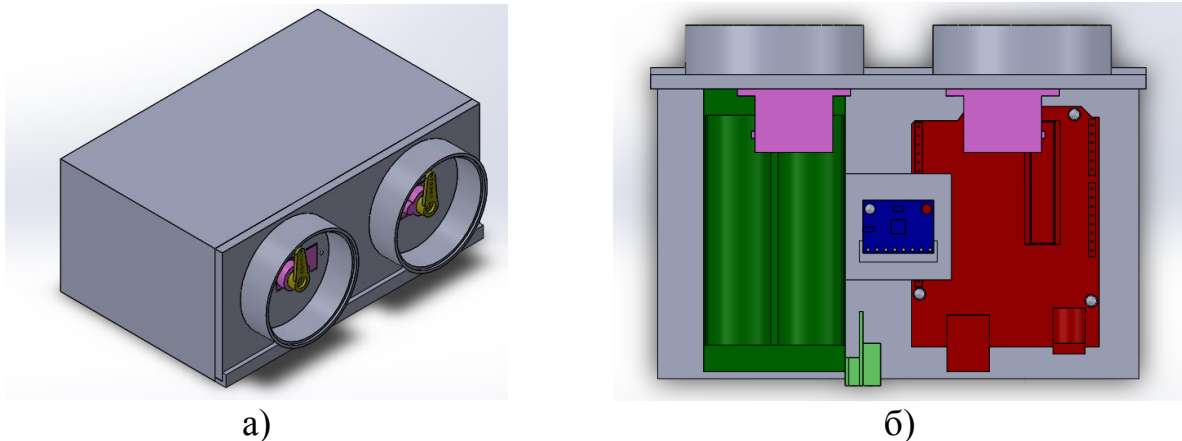


Рисунок 3 Трьох вимірний модель приладу: а) зовнішній вигляд приладу; б) розташування елементів в приладі

КАЛІБРУВАННЯ СЕНСОРА

Для коректної роботи та точності показань приладу необхідно провести калібрування сенсора. Оскільки сенсор містить в собі блок акселерометрів та гіроскопів провести їх можна за допомогою методів тестових поворотів. [3] Даний метод описується в навчальному посібнику [3]. Калібрування акселерометрів виконується аналогічно до того, що виконувалось в попередній роботі [2].

Калібрування гіроскопів виконується обертанням датчика на поворотному столі з відомою кутовою швидкістю. Для підвищення точності каліброваних коефіцієнтів бажано записати показання гіроскопів на декількох кутових швидкостях. [3]

Калібровані матриці для блоку акселерометрів мають вигляд:

$$A = K^{-1}(U_a - U_{a0}), \quad (1)$$

а для блоку гіроскопів:

$$W = R^{-1}(U_\omega - U_{\omega0}), \quad (2)$$

де K - матриця масштабних коефіцієнтів; U_a - матриця сигналів; U_{a0} - матриця зміщення нулів для блоку акселерометрів і R - матриця масштабних коефіцієнтів; U_ω - матриця сигналів; $U_{\omega0}$ - матриця зміщення нулів для блоку гіроскопів. Для використаного датчика їх значення мають вигляд:

$$K = \begin{bmatrix} -0,02 & 1,01 & -0,05 \\ -0,99 & -0,02 & -0,01 \\ -0,01 & 0,06 & 1,01 \end{bmatrix}; \quad U_{a0} = \begin{bmatrix} -0,05 \\ 0,11 \\ 0,41 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

$$R = \begin{bmatrix} 58,159 & 0,836 & 3,051 \\ 0,516 & 57,198 & -0,619 \\ -3,931 & 0,357 & 57,038 \end{bmatrix}; \quad U_{\omega0} = \begin{bmatrix} 0,034 \\ 0,038 \\ 0,001 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

АЛГОРИТМ КУТОМІРА

У програмному середовищі Matlab створюється об'єкт для роботи з платою Arduino, наприклад для Arduino Uno, що підключена до третього компорту ініціалізація має вигляд – $a=arduino('COM3', 'Uno')$. Надалі створюється об'єкт датчика $imu=mpu6050(a)$, а також об'єкти для серво-машин – $s1=servo(a, 'D9')$, $s2=servo(a, 'D10')$. [1]

Зчитуючи кутову швидкість з датчика використовуючи функцію $read(imu)$, можемо визначити матрицю напрямних косинусів із яких потім вирахувати кути відхилення самого кутоміру. Для цього сформувавши початкову матрицю напрямних косинусів використовуючи кути, обчислені з показань акселерометрів за аналогією того, як це було зроблено в роботі [2], та матрицю проєкцій абсолютної кутової швидкості вимірюваних гіроскопів утворюємо рівняння орієнтації Пуассона. Для обрахування змінення матриці направляючих косинусів рівняння Пуассона інтегрують, наприклад методом прямокутників. З отриманої матриці напрямних косинусів вираховуємо кути, які і показують відхилення. Вирахувані кути передаються на серво-машини, які відпрацьовують кут для зображення вихідного кута на шкалі приладу.

ВИСНОВОК

Для використання кутоміру на рухомих об'єктах необхідно перейти від використання лише акселерометрів при визначенні кута нахилу об'єкту відносно площини горизонту. Для цього до приладу необхідно додати гіроскопи. Використовуючи акселерометри при початковій виставці можна визначити матрицю напрямних косинусів і надалі використовуючи рівняння орієнтації Пуассона та інтегрування методом прямокутників здійснювати обчислення кутів відхилення кутоміру за відображення яких відповідають серво-машини. Задля забезпечення автономності роботи приладу компоненти приладу оснащуються акумулятором та корпусом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] MATLAB Support Package for Arduino Hardware Documentation – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/arduinoio/index.html>
- [2] Строкач Г.Ю., Сапегін О.М. Кутомір на основі акселерометру ADXL-335. *ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*: збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 15-16 травня 2019 р. — К.: ПБФ, КПП ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – С 46-48
- [3] Мелешко В.В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы : [Учебное пособие] / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко. –Кировоград: Полимед-Сервис, 2011. – 172с.

Наук. Керівник – асистент Сапегін О.М.

Секція 2.

**ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ
ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ**

УДК 681.7

І.В. Горжій , студент гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТАБІЛІЗАЦІЯ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Анотація. В даній статті розглянуті найбільш поширені методи та засоби стабілізації оптичних приладів , проаналізовані їх переваги та недоліки, а також проведена оцінка точності стабілізації та факторів , що впливають на неї.

Ключові слова : стабілізація , оптичний прилад , фототехніка , відеотехніка.

ВСТУП

В сучасному світі по мірі розвитку суспільства зростають і вимоги до якості фото- та відеозаписів. Сфера використання фотокамер з кожним роком продовжує зростати: охоронні та реєструючі системи, професійні фотоапарати та аматорські камери, камери в телефонах тощо [1]. Телебачення і кіно широко застосовуються в наукових, навчальних, інформаційних і розважальних цілях. Зйомки часто ведуться з наземних, літальних, надводних і підводних рухомих об'єктів. В таких умовах зйомки оптичні прилади часто схильні до хитання або вібрації рухомої основи, на якій вони встановлені. Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати для нівелювання цих вібрацій. Метою цієї статті є огляд методів та засобів стабілізації оптичних приладів, а також аналіз їх переваг та недоліків.

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ

У більшості випадків точність стабілізації оптичного приладу визначається точністю приведення його (або візирного променя, або поля зору) до заданої позиції. Кут неузгодженості з заданим напрямом залежить від багатьох причин і розглядається як випадкова величина.

Для стабілізаторів, що застосовуються в оптичному приладобудуванні, дуже важливий спектральний склад помилки. Помилки чутливого елемента стабілізатора, обумовлені нестабільністю параметрів, відхідом гіроскопів і т. д., створюють збурення з частотою в кілька десятків разів меншою, ніж частота кутових коливань рухомого носія, і можуть викликати лише повільні зсуви стабілізованої платформи від заданого положення. На повільні зсуви платформи накладаються відносно швидкі рухи з частотами качки і власних коливань системи стабілізації, зі значно більшими амплітудами, зумовленими зовнішніми збуреннями на осях стабілізації і обкаткою стабілізуючих двигунів. Ця помилка визначається динамічними властивостями системи стабілізації як системи автоматичного регулювання і є головною при формулюванні вимог до динамічним характеристикам при розрахунку. Крім того, при стабілізації оптики велике значення мають нутаційні коливання гіроскопічної системи стабілізації.

Оскільки кутова роздільна здатність високоякісної оптики досить велика, то амплітуди нутаційних коливань можуть впливати на неї і викликати помітне погіршення частотно-контрастних характеристик оптичного приладу. Існує ряд оптичних приладів, у яких помилка відносно заданої позиції взагалі не є визначальною (наприклад, фотоапарат), а основний вплив на якість зображення стабілізації надають тільки високочастотні складові, що викликають змазування

зображення і погіршення роздільної здатності. При цьому критерієм якості стабілізації служить швидкість кутового руху платформи. Звідси виникнення такого класу приладів, як гіроскопічні демпфери, де коригуючий вплив з метою приведення стабілізуючого пристрою до заданої позиції немає.

З іншого боку, помилка у визначенні позиції, тобто помилка самих коригувальних елементів, може призвести в деяких оптичних приладах до серйозного спотворення самих спостережуваних параметрів. Підхід до якості стабілізації, оцінка допустимої помилки і швидкості її зміни дуже залежать від призначення оптичного приладу, його роздільної здатності, його конструктивних особливостей. [2]

РУКИ ЯК РУХОМА ОСНОВА

Для приладів, що працюють з рук, останні можуть розглядатися як рухома підстава. Дію нервово-м'язового апарату рук при нарузі на згинах суглобів, необхідному для підтримання приладу, супроводжується тремтінням, яке в біології має спеціальну назву – тремор. Суглобовий тремор залежить як від виду управління суглобним кутом, так і від психофізичного стану оператора. В даний час слід вважати, що спектр кутових коливань тремору має підйом в області 10 Гц, де амплітуда кутових коливань має величину від 10 до 20', і в низькочастотній області в районі від 1 Гц до 2 Гц, де амплітуда кутових коливань досягає 1°. Кутові коливання приладу залежать також від ваги, відстані від рук (руки) до центру тяжіння, виду захоплення, підтримки однієї або двома руками і т. д.

Тремтіння рук викликає зменшення контрастності зображення і погіршення межі розширення ока через інерційність зору. При малих частотах переміщення, пов'язаних зі спостереженням за об'єктом, що має малу відносну швидкість, мускулатура очі встигає відпрацювати рух об'єкта спостереження і змазування зображення на сітківці невелике. При великих частотах мускулатура ока не встигає за цим об'єктом, і за інерцією зображення змазується, втрачаючи деталі і контраст.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Розглянемо найбільш поширені типи стабілізаторів зображення, що застосовуються в сучасній фото- і відеотехніці:

- Оптичні стабілізатори.
- Стабілізатори з рухливою матрицею.
- Електронні стабілізатори.
- Гіроскопічні стабілізатори.

ОПТИЧНІ СТАБІЛІЗАТОРИ

У ряді випадків є можливість ввести в оптичну схему елементи, поворотом яких можна змінити напрямок візування. Якщо ці елементи досить малі і їх кутове переміщення менш енергозатратне, ніж кутове переміщення приладу або його оптичної головки, то завдання стабілізації поля зору сильно спрощується. Нижче наведено оптичні елементи, що використовуються для стабілізації та їх принцип дії.

Дзеркала. Для зміни напрямку променя візування може бути використано плоскопаралельне дзеркало з внутрішнім або зовнішнім відбиваючим покриттям. Щоб

зрушити візирний промінь на заданий кут, дзеркало повертають на половинний кут.

Клини. Для малого відхилення променя візування при значному механічному переміщенні застосовуються заломляючі оптичні клини. Конструктивно відхиляючий пристрій являє собою або пару обертових клинів, або клин, що переміщається уздовж осі в збіжному пучку (використовується в далекомірах).

Куб-призма. Складається з двох прямокутних призм, склеєних гранями гіпотенуз, що мають відображають покриття. При значному відхиленні кута візування працює тільки одна половина призми. Розміри куб-призми залежать від розміру пучка променів і кута гойдання. Недоліками кубу-призми є можливість працювати тільки в паралельних пучках, тому що в збіжних пучках викликає двоїння зображення, а також складність виготовлення, оскільки помилки кутів половинок призми і склейки порядку декількох секунд викликають двоїння зображення.

Рідинний клин. Кювета з еластичними стінками, прозорими вікнами, заповнена прозорою рідиною, використовується в системах стабілізації поля зору як регульований оптичний клин. Залежно від нахилу скляного вікна візирний промінь, що проходить через кювету, відхиляється в ту або іншу сторону. Конструктивно краї кювети виконуються гофрованими, у вигляді металевого сильфона. Осі повороту вікон робляться схрещеними під кутом 90° , завдяки чому за допомогою однієї кювети виходять відхилення променя візування по двох взаємно перпендикулярним осям. [3]

СТАБІЛІЗАТОРИ З РУХОМОЮ МАТРИЦЕЮ

У 2003 році була розроблена технологія стабілізації із зсувом матриці. Для компенсації коливань фотоапарата, в даній системі використовується не рухома оптична система, а рухома матриця, закріплена на платформі. Це дає декілька переваг. Об'єктиви стають дешевшими, простішими і надійнішими. Стабілізація з рухливою матрицею може застосовуватися на фотоапаратах з будь-якою оптикою. Це важливо для дзеркальних фотоапаратів, що мають змінну оптику. Стабілізація зі зсувом матриці, на відміну від оптичної, не вносить спотворень в картинку (можливо, крім викликаних нерівномірною різкістю об'єктива) і не впливає на силу світла об'єктива. Однак вважається, що стабілізація з рухливою матрицею є менш ефективною, ніж оптична стабілізація.

ЕЛЕКТРОННІ СТАБІЛІЗАТОРИ

EIS (англ. Electronic Image Stabilizer - електронна стабілізація зображення). В даному виді стабілізації близько 40% пікселів застосовуються тільки для стабілізації зображення і ніяк не беруть участь у формуванні картинки. При тремтінні камери картинка «плаває» по матриці, а процесор фіксує ці коливання і вносить корекцію, використовуючи резервні пікселі для компенсації тремтіння картинки. Дана система стабілізації має нижчу якість, ніж інші системи стабілізації, проте вона принципово дешевше, так як не вносить в механічну систему фотоапарата додаткових елементів.

ГІРОСКОПІЧНІ СТАБІЛІЗАТОРИ

Гіроскопічний стабілізатор – гіроскопічний пристрій, принцип дії якого заснований на безпосередньому використанні стабілізуючих властивостей астатичного

гіроскопа. Стабілізуючий вплив у цьому разі виникає в результаті виникнення гіроскопічного моменту при впливі зовнішніх сил, що намагаються змінити положення гіроскопа в просторі. Гіроскоп має становити істотну частину маси системи і мати досить великим кінетичним моментом. Силовий гіроскопічний стабілізатор або гірорама - так називається гіроскопічний пристрій, в якому гіроскопічний момент використовується тільки в початковий проміжок часу, а для створення стабілізуючого впливу далі використовується спеціальний стабілізуючий або розвантажувальний двигун. Силовий гіростабілізатор – це електромеханічний гіроскопічний пристрій.

Гіроскопічний демпфер. Цей термін введений для гіроскопічних пристроїв, в яких сили гіроскопічної реакції використовуються для придушення високочастотної складової кутових коливань стабілізуючого об'єкта. Стабілізуючий момент в гіроскопічному демпфері залежить від частоти збурюючої дії. При нульових частотах (або близьких до них) гіродемпфер не розвиває моменту протидії або, іншими словами, стабілізуючого моменту.

Перераховані гіроскопічні пристрої відносяться до пристроїв силового типу. В індикаторних або непрямих гіроскопічних стабілізаторах оптичний прилад встановлюється в окремому карданному підвісі, пов'язаному з позиційним гіропристроєм не механічно, а електрично. Тут гіроскопічний прилад є тільки показником (індикатором) положення в просторі. [4]

ВИСНОВКИ

В наш час існує дуже багато методів та засобів стабілізації оптичних приладів, кожен з яких має різну фізичну природу, економічне обґрунтування та галузь застосування. Але незважаючи на це, існує потреба в розробці нових технологій та вдосконаленні вже існуючих, тому що актуальність використання фото- та відеотехніки в нашому світі зростає з кожним днем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Нечай, С.О. Дослідження ефективності систем стабілізації зображення фотокамер / С.О. Нечай, Т.В. Хильненко // Журнал “Вісник Національного технічного університету ХПІ ” Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. — 2015. — № 22. — С. 35-38.
- [2] Татарников, Е. В. Проектирование стабилизатора видеокамеры. Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 327 с.
- [3] Карпухин, И. В. Способы стабилизации изображения / И. В. Карпухин // Журнал “Евразийский научный журнал”. — 2016. — № 2. — С. 1967-1978.
- [4] Смирнов, В.А. Система стабилизации и управления линии визирования подвижных объектов, построенная на трехстепенном гироскопе: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Смирнов Владимир Александрович; Тульский государственный университет, 2000. — 24-31 с.

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

УДК 535.015

*О.Є. Гудзь, аспірант гр. ПО-91ф, д.т.н., професор Боровицький В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОПТИЧНІ МІКРОСКОПИ ЗІ СТРУКТУРОВАНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

Анотація. У статті розглянуто класифікацію сучасних оптичних мікроскопів зі структурованим освітленням.

Ключові слова: мікроскоп, структуроване освітлення, імпульсне освітлення, гармонічне освітлення, конфокальний мікроскоп.

ВСТУП

В наші дні для отримання якісного тривимірного зображення мініатюрного об'єкта з найвищою роздільною здатністю використовують мікроскопи з нерівномірним (структурованим) освітленням. Найкраще розділення дають конфокальні мікроскопи з імпульсним типом освітлення, але за останні роки з'явилося багато цікавих альтернатив.

СТРУКТУРОВАНЕ ОСВІТЛЕННЯ

Узагальнена класифікація оптичних мікроскопів зі структурованим освітленням приведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Мікроскопи зі структурованим освітленням

<i>Структуроване освітлення</i>	Імпульсне	Точкою
		Набором точок
		Лінією
	Гармонічне	Вздовж оптичної осі
		Перпендикулярно осі
		В просторі зразка
	Рандомним полем	

Класичний кофокальний лазерний скануючий мікроскоп (КЛСМ) здійснює сканування шляхом послідовного переміщення точки освітлення, що збуджує люмінофори на зразку. Точкові діафрагми мінімізують фонові засвітки та аберації. високий контраст і просторове розділення досягаються використанням точкової діафрагми (пінхол), яка розміщується в просторі зображення і обмежує потік паразитного фонового розсіяного світла, що дозволяє отримати серії зображень мікроскопічного об'єкта на різних глибинах фокусу (оптичне секційне зображення по глибині). Такі секційні зображення зазвичай потім програмно складаються у тривимірну картину.

Конструкція приладу забезпечує найвищу просторову роздільну здатність, але передбачає дорогу, високоточну та повільну систему переміщення скануючої системи.

В сучасних конфокальних мікроскопах з диском Нипкова сканування здійснюється одразу набором точок, що значно збільшує швидкість. Сучасний

аналог диска Нипкова (SDCM – Spinning Disk Confocal Microscopy) для таких задач містить близько 20 тис. отворів, розміщених по спіралі, а лазерний промінь фокусується на них за допомогою додаткового диску з 20 тис. мікролінз. При обертанні такого подвійного диску об'єкт сканується відразу багатьма світловими фокусами, забезпечуючи набагато швидше зчитування – 360 кадрів (площин) в секунду чи навіть 1 кадр в мілісекунду.

Але за рахунок відносно малого пропускання і контрасту, складності конструкції та управління диском, а також великих втрат випромінювання при проходженні через диск такі системи практично не використовуються.

Ще один конфокальний метод отримання тривимірних зображень – метод лінійного сканування. Принцип дії приладу схожий на КЛСМ, але система освітлення побудована таким чином, що у простір предмету проектується зображення рівномірно освітленої щільової діафрагми або використовується циліндрична лінза для сканування предметної області лінією. В прийомному каналі замість точкової діафраги відповідно встановлюється щілинна, яка відсікає промені з інших аксіальних площин.

Для отримання повного зображення проводиться пошарове сканування в одному напрямі. В якості приймача виступає ПЗС лінійка, перед якою встановлена друга щілинна діафрагма. Такі прилади володіють вищою швидкістю отримання зображення, однак мають значно менше розділення.

Загальним недоліком лазерних скануючих та конфокальних мікроскопів з диском Нипкова є суттєва фоновіа флуоресценція об'єктів, що знаходяться не в фокусі лазерного променя. Такі засвітки відфільтровуються пінхолом перед реєструючим пристроєм, але далеко не повністю.

Набагато більш контрастні зображення можливо отримати за допомогою мультифотонної мікроскопії (МРЕ – MultiPhoton Excitation). В таких мікроскопах флуорофори збуджуються лише в фокусі лазерного променя, де за рахунок високої концентрації фотонів можливо просумувати їх енергію (дивитись рисунок 1).

Завдяки відсутності позафокусної флуоресценції МРЕ-мікроскопи можуть працювати без звичного для фільтрації світла мікроотвору (пінхолу). В мультифокусних системах сканування при мультифотонному збудженні флуорофорів диск з отворами лишній, достатньо лише диску з мікролінзами.

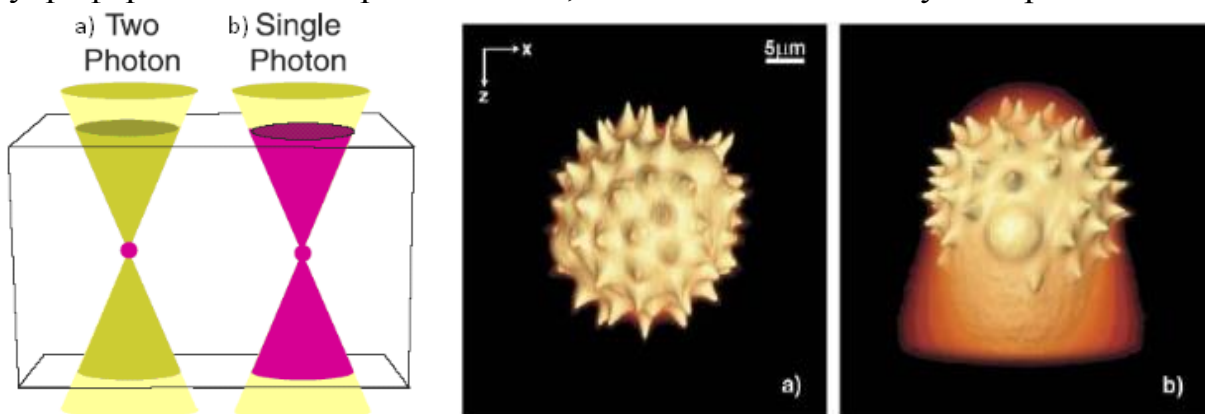


Рисунок 1. Відмінність збудження при двофотонній (а) та однофотонній (б) мікроскопії

Останнім часом з'являються нові ідеї та пристрої, роздільна здатність яких у тривимірному просторі наближається до рівня конфокальної мікроскопії, а будова є більш економічною (таблиця 1). До таких пристроїв належать мікроскопи з гармонічним освітленням, які вирізняються наявністю додаткової приставки до мікроскопа, яка проектує в простір предмета дифракційну ґратку (вздовж оптичної осі, ортогонально осі чи в просторі усього зразка) та на основі отриманих даних суміщення об'єкта і ґратки будує тривимірне зображення з підвищеною роздільною здатністю.

Ще одним варіантом мікроскопів зі структурованим освітленням є системи, які освітлюють зразок випадковим (рандомним) полем і потім на основі аналізу та синтезу даних отримують інформацію про його будову у просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] J. G. White, W. B. Amos, M. Fordham. An evaluation of confocal versus conventional imaging of biological structures by fluorescence light microscopy // The Journal of Cell Biology. – 1987. – Vol. 105, iss. 1. – P. 41-48.
- [2] Diana Morgan. Confocal Microscopes Widen Cell Biology Career Horizons // The Scientist Magazine – 1990. – Vol.63, iss.3. – P.661-664.
- [3] M. David Egger, Mojmir Petran. New Reflected-Light Microscope for Viewing Unstained Brain and Ganglion Cells (англ.) // Science. – 1967. – Vol.157, iss. 3786. – P. 305-307.
- [4] Mojmir Petráň, Milan Hadravský, M. David Egger, Robert Galambos. Tandem-Scanning Reflected-Light Microscope* (EN) // JOSA. – 1968. – Vol.58, iss.5. – P.661-664.
- [5] High-speed 1-frame/ms scanning confocal microscope with a microlens and Nipkow disks" / T. Tanaami, S. Otsuki, N. Tomosada, Y. Kosugi, M. Shimizu, H. Ishida // Applied Optics. – 2002. – Vol.41. – P.4704-4708.
- [6] United States patent 20080069467A1. UDC G02B 21/00 (2006.01) Methods and devices for images processing with higher harmonics of an illumination grating / Lutz Schafer, Dietwald Schuster, inventors; Carl Zeiss Microscopy GmbH, assignee. Appl. № 11/900,532; Filled: Sep. 12, 2007; Pub. Mar. 20, 2008.

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

УДК 621.373

Є.О. Захаров, студент гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЛАЗЕРНІ РІВНІ

Анотація. В даній статті розглянуті найбільш поширені види лазерних рівнів, класифікація, їх переваги та недоліки.

Ключові слова: лазерний рівень, нівелір, клас лазера, проекція.

ВСТУП

Рівень – вимірювальний пристрій для перевірки горизонтальності або вертикальності площини. Ці пристрої мають довгу історію, ще 5 тис. років тому єгиптяни використовували косинець зі схилом в вигляді букви А з металевим важіль, який був підв'язаний на мотузку. Цю технологію використовували до 1661р. В цьому році французький вчений Мельхиседек Тревено винайшов спиртовий рівень який був заснований на схожому принципі. Колба заповнена спиртом з бульбашкою повітря монтувалась в дерев'яний або металевий корпус і відхил бульбашки від центру показував нерівність поверхні. В наш час розповсюджені оптичні, лазерні та цифрові рівні. Рівень або нівелір – пристрій призначений для знаходження різниці висот між декількома точками поверхні. Його робота заснована на прямолінійності промінів, а основною задачею є побудова стабільної горизонталі відносно якої будь-які відхилення будуть помітними. Найбільше розповсюдження цей пристрій знайшов серед будівників, ремонтників, геодезисти, проектувальники а також топографи. Під час роботи лазерного рівня користувач знімає показники сам дивлячись на рейку поряд з випромінювачами. Головна технічна особливість полягає в присутності випромінювачів, які формують горизонтальну або(та) вертикальну лінію. Площина в якій можуть працювати лазерні рівні обмежуються лише силою випромінювачів, отже з плином прогресу вони будуть вдосконалюватись. [1-2]

ВИДИ РІВНІВ

Лазерні рівні поділяються за такими ознаками:

- За типом вирівнювання;
- За кількістю площин на які проектується проміні;
- За типом випромінювачів.
- За типом вирівнювання лазерні рівні поділяються на:
 - Ручне вирівнювання;
 - З самовирівнюванням;
 - Комбіновані.

Лазерні рівні з ручним типом вирівнювання повинні налаштовуватись користувачем використовуючи пухиркові рівні які частіше за все вбудовані в корпус рівня. Точність в даному випадку буде залежати від якості циліндричного рівня та зору користувача. Точність таких рівнів приблизно 3мм на метр. До переваг такого типу можна віднести дешевизну, а до недоліків складність та тривалість налаштування. Представниками цього типу є відчизняний Dnipro-M ML-230 та німецький Bosch Professional 0603663C01.

Лазерні рівні з самовирівнюванням відрізняються механічним вирівнюванням з маятником та лазерним випромінювачем закріпленим на маятнику. Маятник при встановленні виконує коливання та вирівнюється під впливом власної ваги. Його особливістю є те, що він збирає інформацію з датчиків про положення рівня та вирівнює промінь строго горизонтально. Представником цього типу є японський Yato YT-30425. Лазерні рівні з комбінованим типом вирівнювання є комбінацією двох попередніх типів, наприклад з ручним вирівнюванням для вертикальної площини та електронним для горизонтальної.

За типом площин на які проектується промінь поділяються на: Однопроменеві, які діють лише в одній площині; Двопроменеві, які працюють в площині XZ; Трьохпроменеві, розраховані на функціонування в трьох площинах (X, Y, Z).

За видом випромінювачів лазерні рівні поділяють на:

- Точкові;
- Лінійні;
- Ротаційні.

Точкові рівні працюють як лазерна вказівка, направляючи промінь або декілька промінів, в залежності від кількості площин в яких працює рівень, на поверхні. В залежності від моделі можуть бути додаткові промені, що роблять простішою розмітку. Використовуються частіше за все в розмітці каркасів будівель. Представником є Bosch GPL 5 Professional з наступними характеристиками:

Кількість точок проекції – 5;

Діапазон самонівелювання - $\pm 5^\circ$ для продольної осі та $\pm 3^\circ$ для поперечної;

Клас лазеру – 2;

Потужність діоду – 635 нм, < 1 мВт;

Робочій діапазон – 30 м;

Захищеність від пилу та водяних крапель – за стандартом IP 5X.

Bosch GPL 5 Professional зображений на рис. 1.

Принцип роботи лінійних лазерних рівнів або крос-лайнрів полягає в тому, що промінь від лазерного діода проходить через систему призм та розсіюється. В результаті отримується вузька смужка світла яка проектується на площину в вигляді ліній та на площині виглядає як декартова система координат. До переваг такого рівня можна віднести зручність у порівнянні з точковими. Недоліками такого типу є те, що в них використовуються оптичні призми які розсіюють

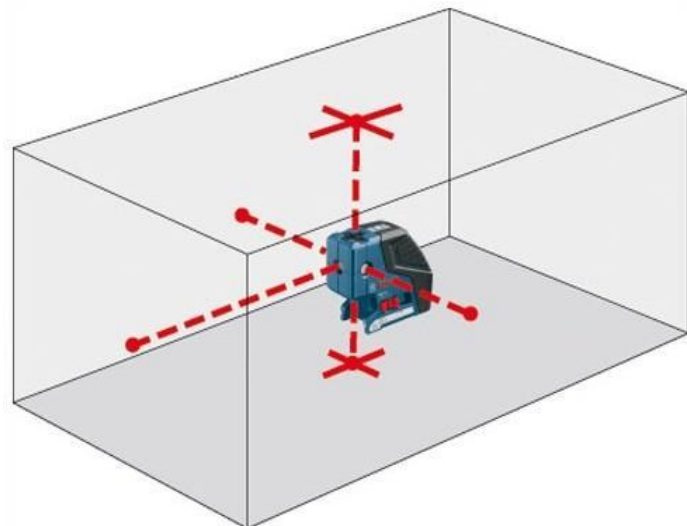


Рисунок 1. Точковий лазерний рівень Bosch GPL 5 Professional

світло і це зменшує силу їх промінів що ускладнює роботу в сонячний день та при сильному освітленні, також вони коштують дорожче за точкові. Представником цього типу є Bosch GLL 3-80 Professional та має характеристики:



Рисунок 2. Лінійний лазерний рівень Bosch GLL 3-80 Professional

Робоча температура – від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$;

Робоча відстань – 40м без приймача та 80м з приймачем;

Клас лазеру – 2;

Потужність діоду – 640 нм, < 1 мВт;

Діапазон самонівелювання - $\pm 4^{\circ}$;

Захищеність від пилу та водяних крапель – за стандартом IP 54.

Bosch GLL 3-80 Professional зображений на рис. 2.



Рисунок 3. Ротаційний лазерний рівень Bosch GRL 300 HV SET

В ротаційних лазерних рівнях світлодіодне джерело розташоване на роторі який завдяки обертанню навколо своєї осі проектує площину. Довжина променя в таких рівнях може досягати декількох сотень метрів що дозволяє створити загальний горизонт на робочій площадці. До недоліків такого типу можна віднести те що його представники є найдорожчими з моделей представлених на ринку. Представником цього типу є Bosch GRL 300 HV SET який має наступні характеристики:

Робоча температура – від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

Робоча відстань – 60м без приймача та 3000м з приймачем;

Клас лазеру – 3R;

Потужність діоду – 640 нм, < 1 мВт;

Діапазон самонівелювання – $\pm 5^{\circ}$;

Захищеність від пилу та водяних крапель – за стандартом IP 54.

Швидкість обертання – 150, 300, 600 об/хв.

Bosch GRL 300 HV SET зображений на рис. 3.

Також лазерні рівні відрізняються кольором лазеру. В більшості випадків це червоний або зелений колір. Вибір певного кольору залежить від кольору поверхні на яку проектується промінь та освітленості території. Червоний колір має більшу довжину хвилі ніж зелений 635 нм у червоного кольору в порівнянні з 532 у зеленого але для людського ока оптимальною довжиною хвилі для сприйняття є довжина 555 нм і через це краще сприймається. [3-4]

ВИСНОВОК

В наш час такі професії як маркшейдер, будівельник, дизайнер та навіть інженер не уявляють своє життя без рівнів. Одними з найзручніших приладів для розмітки площини є лазерний рівень, але даний тип рівнів також є широкою площадкою для досліджень наприклад: збільшення робочої площини для нанесення міток одним приладом на велику площину що допоможе при спорудженні великих будівель, знаходження більш дешевих шляхів виробництва приладів та покращення точності для збільшення якості споруджень побудованих по міткам лазерних рівнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Лазерні нівеліри. Режим доступу: <http://psy.wikireading.ru/96694>
- [2] Давлетшина А. Д. Історія створення та сучасне виробництво нівеліра // Журнал «Молодой учёный» – 2017 – №3. с.193-194.
- [3] Лазерні нівеліри. Режим доступу: <https://moluch.ru/archive/137/38287/>
- [4] Лазерні нівеліри. Режим доступу: <https://www.nivelirsale.com.ua/article-nivelir-rotacionui>

Наук. керівник – к.т.н., доц. Нечай С.

Секція 3.

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ**

UDC 621.91.01:004.032.26

O. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MODELING OF TITANIUM ALLOYS PROCESSING PARAMETERS

Annotation. The article discusses the modeling of the efficient cutting tool life in the processing of titanium alloy. To realize this aim, an effective method for processing research results has been selected. The features and algorithm of using the TensorFlow platform for the design, creation and study of models in the field of machine learning are presented.

Key words: machine learning, modeling, neural networks, regression analysis, platform TensorFlow, turning, titanium alloy, efficient cutting tool life.

INTRODUCTION

Titanium alloys are important structural materials that are characterized by high hardness, corrosion resistance and low specific gravity. This determines their using for the manufacture of critical parts in instrument and mechanical engineering. In [1] the results of predicting the efficient cutting tool life are presented, which were obtained by means of using the tools of the program Matlab, namely, the NeuralNetwork Toolbox module. In doing so the already existing neural network was used, the application of which resulted to large deviations of the predicted results from the real ones. This necessitates the search for other ways to solve the problem of modeling technological processes.

CHOICE OF RESEARCH METHOD

An analysis of instrumental methods for solving modeling problems allowed us to pay attention to the Tensorflow platform, an open source software library for numerical computation using data-flow graphs. It was originally developed by the Google Brain Team within Google's Machine Intelligence research organization for machine learning and deep neural networks research. The system is general enough to be applicable in a wide variety of other domains as well [2].

TensorFlow is intended for the design, creation and study models of deep learning – an area of machine learning, the algorithms of which are determined by the structure and brain works. TensorFlow can be used to perform numerical calculations. These computations are performed using data-flow graphs. In these graphs, vertices are mathematical operations, and edges are data, which are usually represented as multidimensional arrays or tensors that are connected between these edges [3].

Designing neural networks on TensorFlow becomes easier if using the Keras add-on, which is convenient and easy to prototype. An API add-on is recommended for those who prefer object-oriented programming and layered modeling of neural networks. In a few lines of code, you can create a direct distribution neural network using standard methods such as regularization [4].

RESEARCH RESULTS

The objective of these studies is to predict the efficient cutting tool life equipped with BK4 carbide inserts during turning of BT6 titanium alloy.

The building of model was using TensorFlow, which is an integrated open source platform for machine learning. In this case, the study of some properties of the data set is implemented and the subsequent testing of these properties with respect to another data set. A common practice in machine learning is to evaluate an algorithm by splitting

a data set into two parts. One data selection is a training selection, on which the neural network studies some properties, and the other is a test selection, on which the tested properties are tested.

When conducting the process research, the cutting speed V ranged from 70 to 200 m/min., the feed S – from 1 to 4 mm/min., and the cutting depth t – from 0.08 to 0.4 mm. As a result of the research the efficient cutting tool life T varied from 1.8 min up to 17.1 min.

To process the experimental data, their pre-testing was performed. Since the speed values are very different from the values of other parameters, for the convenience and improvement of training the neural network, their values are divided by 100. Next, the following necessary modules were imported:

```
#import TensorFlow
import tensorflow as tf

#import the module for indicators used to measure
from sklearn import metrics

#import a model Ridge
from sklearn.linear_model import Ridge

#import model RidgeCV
from sklearn.linear_model import RidgeCV

from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

#import ordinary least squares LinearRegression model
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

Model `Ridge()` solves a regression model where the loss function is the linear least squares function and regularization is given by the l_2 -norm. Also known as Ridge Regression or Tikhonov regularization.

Model `RidgeCV()` is a model Ridge regression with built-in cross-validation. By default, it performs Generalized Cross-Validation, which is a form of efficient Leave-One-Out cross-validation.

Function `PolynomialFeatures()` is a function of generating polynomial and interaction features with degree less than or equal to the specified degree.

`LinearRegression()` fits a linear model with coefficients $w = (w_1, \dots, w_p)$ to minimize the residual sum of squares between the observed targets in the dataset, and the targets predicted by the linear approximation. [5].

At the next step in processing the research results, the model was trained using the built-in `fit()` function. To assess the quality of the selected dependencies (models), the determination coefficient is determined, which shows the ratio of the distribution of points explained by this dependence and, thus, serves as the main quality criterion for selecting the regression line. Determination coefficient provides a measure of how well observed outcomes are replicated by the model, based on the proportion of total variation of outcomes explained by the model [6]. It characterizes the degree of similarity between the source data and the predicted ones.

Next, the data was tested using the `predict()` function and an array of data for testing and displaying them on the screen. For linear regression, it looks like this:

```
#make predictions on the testing set
out_pred = linreg.predict(in_test)
print(out_pred)
```

Variable `in_test` is variable that contains input data for testing models. Variable `out_pred` is variable that contains output test data predicted by `LinearRegression()` model.

Based on the test results, the prediction accuracy was estimated, which showed that the best model for solving this problem is `LinearRegression()`.

Tables 1 and 2 present the target results on which models were trained and tested, and also the data predicted by `LinearRegression()`.

Table 1. Training data

<i>V, m/min</i>	<i>S, mm/min</i>	<i>t, mm</i>	<i>T (target), min</i>	<i>T (predicted), min</i>
100	0.4	0.1	1.8	1.89
70	0.4	0.1	7.5	7.13
120	0.3	1.0	2.7	2.88
80	0.3	1.0	8.1	9.86
160	0.2	1.0	3.0	2.08
140	0.2	1.0	4.5	5.56
100	0.2	1.0	10.8	12.54
90	0.2	1.0	16.2	14.28
200	0.08	1.0	2.9	2.505
120	0.08	1.0	14.9	16.46
120	0.2	4.0	2.5	3.39
100	0.2	4.0	7.8	6.88
150	0.2	2.0	2.3	1.94
120	0.2	2.0	7.0	7.16
160	0.2	1.0	3.0	2.07
140	0.2	1.0	4.4	5.56
90	0.2	1.0	17.1	14.283

Table 2. Testing data

<i>V, m/min</i>	<i>S, mm/min</i>	<i>t, mm</i>	<i>T (target), min</i>	<i>T (predicted), min</i>
90	0,4	0,1	4,2	3.64
100	0,3	1,0	5,4	6.37
100	0,2	2,0	11,0	10.66

The print on the screen of the coefficients of the obtained linear regression model is implemented using two lines of code:

```
print('Intercept: ', linreg.intercept_)
print('Coefficient: ', linreg.coef_)
```

Attribute `intercept_` is independent term in the linear model. Attribute `coef_` is coefficients for the linear regression problem.

As a result of the researches and processing of their results, the model is obtained that is represented by the regression equation:

$$T = 44.2 - 17.438 * V * 10^3 - 61.692 * S - 1.885 * t \quad (1)$$

To assess the regression model, three common indicators were determined – the mean absolute error of the MAE, the mean-square error of the MSE, and the root-mean-square error of the RMSE.

All of this is implemented by using the built-in functions:

```
# calculate MAE using scikit-learn
print("MAE =", metrics.mean_absolute_error(out_test, out_pred))
# calculate MSE using scikit-learn
print("MSE =", metrics.mean_squared_error(out_test, out_pred))
# calculate RMSE using scikit-learn
print("RMSE =", np.sqrt(metrics.mean_squared_error(out_test, out_pred)))
```

Variable `out_test` is variable that contains target (output) test data.

The verification of the adequacy of the obtained regression equation was performed according to the Fisher test, which showed its adequacy with a confidence probability of 0.95.

CONCLUSIONS

The solution to the problem of modeling the efficient cutting tool life made of BK4 carbide during turning of BT6 titanium alloy showed that the TensorFlow platform is an effective tool for designing, creating and studying models in the field of machine learning.

LIST OF USED REFERENCES

- [1] Соколова О. А. Моделирование периода стойкости твердосплавных резцов при обработке титановых сплавов. / О.А. Соколова, С.П. Вислоух // *Збірник наукових праць X Всеукр. науково-технічної конференції з міжнародною участю “Процеси механічної обробки, верстати та інструмент”*, 6-9 листопада 2019 р. – Житомир: «Житомирська політехніка». – 2019. – С. 181–182.
- [2] What is the TensorFlow machine intelligence platform? Режим доступа: <https://opensource.com/article/17/11/intro-tensorflow> – 09.11.2017 г.
- [3] TensorFlow туториал. Часть 1: тензоры и векторы. Режим доступа: www.URL:https://neurohive.io/ru/tutorial/tensorflow-tutorial-tenzory-i-vektory/ – 20.09.2018 г.
- [4] 9 вещей, которые нужно знать о TensorFlow. Режим доступа: www.URL:https://dev.by/news/9-veshei-kotorye-nuzhno-znat-o-tensorflow – 18.12.2018 г.
- [5] `sklearn.linear_model.LinearRegression`. Режим доступа: www.URL:https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html
- [6] Coefficient of determination Режим доступа: www.URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination – 14.04.2020 г.

Academic adviser – PhD, associate professor S. Vysloukh

UDC 621.91.01:004.032.26

O. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor
 National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MODELING OF PARAMETERS OF THE MILLING OF PARTS FROM HEAT-RESISTANT STEEL

Annotation. The article discusses the problems of research of the machinability of alloy steels during their machining. The results of face milling of heat-resistant steel under different processing modes are presented. With using the TensorFlow platform tools, the technological process of milling is modeled. The results of predicting the processing power at different cutting modes are presented.

Keywords: machine learning, modeling, neural networks, TensorFlow platform, milling, heat-resistant steel.

INTRODUCTION

Heat-resistant steels and alloys are highly alloyed structural materials whose physical and mechanical characteristics are stable or only slightly change at high temperatures. These materials are highly resistant to chemical destroying in gaseous media, work well in unloaded and lightly loaded state [1].

The main features of the processing of heat-resistant steels and alloys are the high strengthening the material during deformation by cutting; low thermal conductivity of the processed material; the ability to maintain the original hardness and strength at elevated temperatures; reduce vibration resistance of the cutting movement [2].

The purpose of this research is to predict the machinability of heat-resistant steels during their milling under different cutting modes.

RESEARCH RESULTS

To achieve this objective, experimental researches of the milling process were carried out by determining the power spent on processing flat surfaces of workpieces made of heat-resistant steel 10X11H20T3P with milling cutters of various sizes, the cutting edge of which is made of BK8 hard alloy [2].

During research, the cutting depth t varied from 1 to 3 mm, the feed S - from 75 to 150 mm/min, and the cutting speed V – from 19.0 to 41.5 m/min. As a result of research, it was found that the power consumption during processing varied from 0.40 to 4.01 kW, depending on the cutting modes and the sizes of the milling cutter used. Processing of research results in order to model the milling process and subsequent prediction of cutting power was performed using the TensorFlow platform.

According to the using algorithm of TensorFlow [3], first we import the necessary libraries. The imported NumPy library is needed for representing data, and metrics – for computing errors.

```
import tensorflow as tf

import numpy as np

from sklearn import metrics
```

After that, a sequential model is created using the Keras add-in, which is a high-level neural network API written in Python and can work with TensorFlow, CNTK or Teano. It is designed with emphasis on quick experiments and the ability to go from idea to result with the least possible delay, which is the key to good research [4].

In Keras the model is usually represented as a graph of layers. The most common type of model is the layer stack: `tf.keras.Sequential()` model. Then layers adds (`layers.Dense()`). The construction of a simple multilayer perceptron is implemented in the following sequence:

```
model = tf.keras.Sequential()

model.add(tf.keras.layers.Dense(50, input_dim=5, activation='relu', bias_initializer='glorot_normal'))

model.add(tf.keras.layers.Dense(50, input_dim=50, activation='relu', bias_initializer='glorot_normal'))

model.add(tf.keras.layers.Dense(1, input_dim=50, activation='linear', bias_initializer='glorot_normal'))
```

Layers are configured as follows:

- **activation**. The activation function determines the output value of a neuron depending on the result of a weighted sum of inputs and a threshold value. In this example, 'relu' is used – this function returns x if x is positive, and 0 otherwise. 'Relu' is non-linear in nature and the combination of these activators is also non-linear (it is a good approximator, so any function can be approximated by a combination of Relu) [5]. 'Linear' is a function of linear activation. It uses inputs multiplied by the weights for each neuron and creates an output signal proportional to the input. This function is linear and the combination of these activators is also linear, therefore they are usually used alone [6];

- **bias_initializer**. Initialization schemes that create layer weights (core and shift). In our example, 'glorot_normal' was used – this is an initializer that draws samples from a truncated normal distribution centered at zero [7].

Next, configure the SGD optimizer – stochastic gradient descent. It takes three main parameters:

- **learning_rate** is a hyperparameter that is responsible for the speed of learning;
- **momentum** is a hyperparameter that accelerates SGD in the corresponding direction and dampens oscillations;
- **nesterov** is a parameter that indicates whether to use Nesterov's impulse, the main idea of which is that in case of an error, a correction is introduced.

```
sgd = tf.keras.optimizers.SGD(learning_rate=0.01, momentum=0.9, nesterov=True)
```

After receiving the constructed model, the process of its learning is set up by calling the `model.compile()` method.

At the same time, `model.compile()` accepts three important arguments:

- **optimizer**. This object defines the training procedure. The instances of optimizer are passed to it. In our case, this is `sgd`, which is described earlier;
- **loss**. A function that is minimized in the learning process. One of the most common was used here: 'mean_squared_error' – mean square error;
- **run_eagerly**. A parameter that is passed to the compiler to be sure that the model is being trained and evaluated eagerly.

```
model.compile(optimizer=sgd, loss='mean_squared_error', run_eagerly=True)
```

Next, the user-defined callback function `myCallback()` was assigned to a variable. It is written to stop the learning process as soon as the desired accuracy is achieved.

```
callbacks=myCallback()
```

Model training was performed using the built-in `fit()` function. In addition to the input and target data, it takes two important arguments:

- `epochs`. Learning is broken down into epochs. The epoch is one iteration over all input data (performed in small batches);

- `validation_data`. When prototyping a model, it is possible track its performance on validation data. Passing a tuple of input data and labels with this argument allows the model to display the values of the loss function and metrics in output mode for the data being transmitted at the end of each era. Testing data is used, since training is not carried out on them.

```
model.fit(in_train, out_train, epochs=1200, callbacks=[callbacks], validation_data=(in_test, true))
```

Next, data prediction is implemented using the `predict()` method, which takes input test data as an argument.

```
# make predictions on the testing set
```

```
out_pred = model.predict(in_test)
```

To compute the prediction errors, the user-defined function `mean_error()` was used, which takes as arguments the expected values and data that were predicted by the model at the same input.

```
mean_error(true, out_pred)
```

A fragment of the results of experimental research is presented in table 1. At the same time, the test data are marked in blue.

Table 1. A fragment of the results of experimental research.

<i>D, mm</i>	<i>B, mm</i>	<i>t, mm</i>	<i>S, mm/min</i>	<i>V, m/min</i>	<i>N, kW (research)</i>	<i>N, kW (predict)</i>
80	55	1	140	35	0,7	0.65
80	55	2	70	36	0,7	0.67
80	55	2	120	30,5	1,19	1.13
80	55	2	165	27,5	1,63	1.60
80	55	3	150	25	2,23	2.15
125	85	1	95	33	0,73	0.70
125	85	1	175	27	1,34	1.29
125	85	2	85	29	1,3	1.35
125	85	2	110	26	1,68	1.75
125	85	2	150	23,5	2,3	2.29
125	85	3	75	26,5	1,72	1.68
160	100	2	125	23	2,48	2.34
160	100	2	150	21	2,97	2.87
200	120	2	105	22	2,1	2.09
200	120	2	120	21	2,38	2.35
200	120	2	128	20	2,56	2.50
200	120	3	110	19	3,1	3.15

As a result of processing the research results using TensorFlow, the computing errors of the training data were determined:

MAE = 0.04457477154555144;

MSE = 0.0031432110126467815;

RMSE = 0.056064347072330926

and the computing errors of the test data:

MAE = 0.07362550377845761;

MSE = 0.006938523085845853;

RMSE = 0.08329779760501387.

CONCLUSIONS

The solution to the problem of modeling the process of milling flat surfaces of workpieces made of heat-resistant steel 10X11H20T3P with face mills of different diameters by measuring the power that is consumed during machining showed that creating a model using the TensorFlow platform based on the formation of artificial neural networks is an effective method for solving similar problems of modeling technological processes.

LIST OF USED REFERENCES

- [1] Материаловедение и технология обработки конструкционных материалов в приборостроении: уч. пособ. / А.Н. Гормаков; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 340 с.
- [2] Соколова О. А. Моделювання процесу фрезерування деталей із жаростійкої сталі засобами штучних нейронних мереж. / О.А. Соколова, С.П. Вислоух // *Збірник наукових праць XV Всеукр. науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні”*, 10-11 грудня 2019 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 172-175.
- [3] Обзор Keras. — Режим доступа: [www.URL:https://www.tensorflow.org/guide/keras/overview?hl=ru](https://www.tensorflow.org/guide/keras/overview?hl=ru) — 10.03.2020.
- [4] Keras: The Python Deep Learning library. — Режим доступа: [www.URL:https://keras.io/](https://keras.io/)
- [5] Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLu, tahn. — Режим доступа: [www.URL:https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/](https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/) — 29.11.2018.
- [6] 7 Types of Neural Network Activation Functions: How to Choose? — Режим доступа: [www.URL:https://missinglink.ai/guides/neural-network-concepts/7-types-neural-network-activation-functions-right/](https://missinglink.ai/guides/neural-network-concepts/7-types-neural-network-activation-functions-right/)
- [7] `tf.keras.initializers.GlorotNormal` — Режим доступа: [www.URL:https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/initializers/GlorotNormal](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/initializers/GlorotNormal) — 14.04.2020.

Academic adviser – PhD, associate professor S. Vysloukh

УДК 621.865.8:658.56

Бельман О.І., студент групи ПБ-61, доц., к.т.н. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ НА БАЗІ ВІЗУАЛЬНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ

Анотація. В даній роботі виконано порівняльний аналіз існуючих методів утилізації відходів, що не шкодять довкіллю. Також запропоновано функціональну схему системи автоматизованого сортування твердих побутових відходів. Однією з особливостей системи є повне виключення людської праці, що досягається використанням сучасних інформаційних технологій і виміральної техніки.

Ключові слова: автоматизація, утилізація, спектрометрія, функціональна схема автоматизації.

ВСТУП

Все більш гостра необхідність охорони навколишнього середовища, зокрема, на тлі необхідності протидії зростаючому дефіциту природних ресурсів і зміни клімату, а також забезпечення постійно зростаючої кількості населення Землі, хорошим для здоров'я життєвим оточенням, в якому є достатня кількість питної води, зберігаються родючий ґрунт і чисте повітря, призводить також до посилення вимог до ефективної утилізації відходів. Економічні прогнози свідчать про те, що найближчим часом в ЄС, а також в нашій країні захоронення відходів буде обходитись дорожче ніж їх переробка.

Тому доцільно сьогодні приділяти більше часу розробці новим сучасним, ефективним, безпечним для довкілля, системам автоматизації сортування відходів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Морфологічний склад твердих побутових відходів (ТПВ).

Життя людей характеризується виникненням великої кількості різних відходів. Значне збільшення потреб населення за останні роки на планеті привело до швидкого збільшення кількості різних видів відходів, у тому числі і ТПВ. У останні роки маса ТПВ лише продовжує зростати.

За морфологічною ознакою ТПВ можна розділити на наступні компоненти: картон, папір, метал (чорний і кольоровий), дерево, харчові відходи, кістки, текстиль, шкіру, скло, каміння, гуму і інші полімерні матеріали, інші (не класифікуються види), в тому числі медичні відходи лікарень, медпунктів і санаторіїв країни. Розвиток цивілізації змінив склад побутових відходів. З'явилося більше компонентів, що не піддаються розпаду, а також отруйні речовини. Окрім того люди замислились над раціональним використанням вторинної сировини. Вирішення проблем утилізації та переробки відходів, що накопичились набуває першочергового значення.

У роботі пропонується розглянути метод автоматичного сортування відходів, що базується на застосуванні системи візуальної спектрометрії, яка забезпечує вилучення різних матеріалів з змішаного або однорідного потоку відходів, з огляду на фізичні і хімічні характеристики матеріалу. Вузол автоматичного сортування є оптичний сканер, встановлений над стрічковим конвеєром, який розпізнає матеріал (до 100000 зчитувань в секунду). Інфрачервоні датчики приймають і аналізують відображені спектри.

Статистичне визначення ведеться по величині, формі, структурі і кольору матеріалу. Далі подається сигнал на компресор, і в кінці конвеєра визначений матеріал “відстрілюється” стислим повітрям до потрібного бункеру.

На рис. 1 запропонована функціональна схема автоматизації сортування твердих побутових відходів.

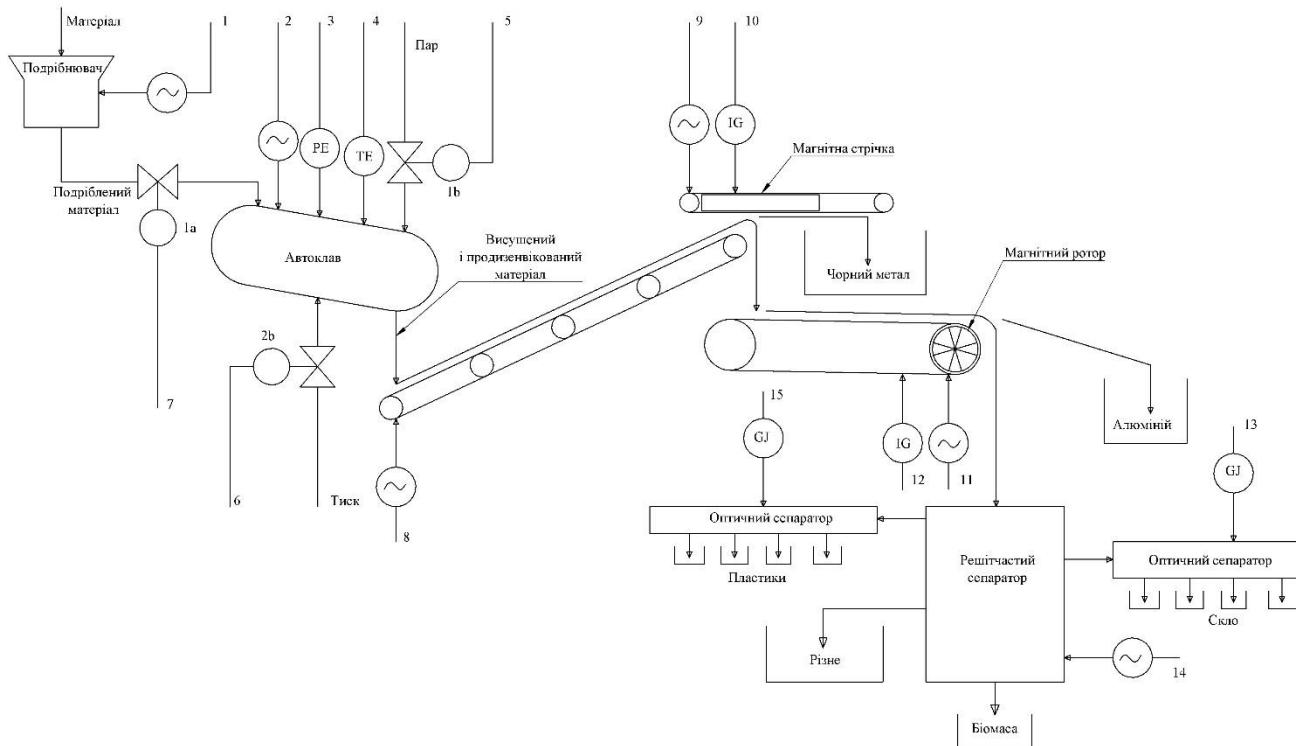


Рис. 1 Схема автоматизації

У повну лінію по сортуванню включаються також повітряні сепаратори, сепаратори для відділення металів, що містять залізо, і не залізних компонентів, «зіркові» сита для сепарації дрібних частин, стрічкові конвеєри, шредери і преси. Використання технології автоматичного сортування дозволяє витягувати до 98% певного виду вторинної сировини.

Функціональна схема переробки побутових відходів:

1. Несортовані відходи автоматично сортуються безпосередньо на заводі. Додатковий розбір сміття перед доставкою на завод не потрібний.

2. Процес переробки починається з дроблення матеріалу на малу фракцію за допомогою шредерів. Подрібнення це ключ для забезпечення повної автоматизації, бо всі вироби стають рівними друг другу і можна виключити брудну людську роботу.

3. Після дроблення суміш поступає до автоклава, де під тиском та при високій температурі проходить процес стерилізації. Пар виконує дуже важливу роль: прибирає запах, стерилізує та відділяє етикетки і залишки їжі з частинок.

4. Після автоклава матеріал потрапляє на конвеєр, де моментально випаровується волога. На невеликій відстані вище конвеєрної стрічки розташовується система, яка “забирає” феромагнетики (залізо, жерсть). Система представляє собою теж конвеєрну стрічку під яку вмонтовано електромагніт.

5. Для відділення залишку інших металів (алюміній, мідь і тд.) потрібно використати індуктивність. Для цього на кінці конвеєра використаємо електромагніт який швидко обертається під стрічкою, в частках кольорових металів будуть виникати індуктивні токи які відштовхнуть їх в контейнер.

6. Залишок потрапляє до механізмів поділу по фізичним властивостям, таких як: густина, розмір, вага, форма і тд. Як приклад такої системи є грохот, що за допомогою вібро-сита ділить потік матеріалу на фракції. Або балістичний сепаратор, який ділить матеріал на: дрібне, плоске(наприклад пластик) і те що має форму (наприклад скло).

7. Пластик сортується за видами - PET, PVC, ABS і т.д. Для сортування використовується сучасні спектрометри в автоматизованому і безперервному режимі. Система запам'ятовує позицію частинки і під час прольоту поряд з соплом зі стиснутим повітрям, частку здмухує у тару. Процес проходить каскадами, тобто з одного конвеєра матеріал потрапляє на такий самий, бо видів пластику є багато і ділити все за один раз не получится.

8. Змішування і пресування: пластики готуються на продаж, з можливим урахуванням вимог покупця.

9. Кольоровий поділ скла: відділене скло розділюється по кольорах за допомогою сканерів.

10. Дрібні залишки паперу, їжі після проходження сита потрапляють до бункеру, де вони підуть на добрива.

ВИСНОВОК

Процеси збору, сортування та переробки сміття можуть бути практично повністю автоматизовані на основі вже наявних технологій. Більш того, автоматична утилізації відходів здатна принести чималий прибуток.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Smart robot for sorting and collecting garbage. - [Електроний ресурс] – Mode of access: <http://robotforum.ru/novosti-texnologij/robotizirovannaya-texnologiya-sortirovki-musora.html>
- [2] Alamgir M. and Ahsan A, Municipal Solid Waste and Recovery Potential: Bangladesh Perspective. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2007, Vol. 4, No. 2, pp 67 – 76. 2007.
- [3] I. Enayetullah, S. S. A. Khan and A. H. Md. M. Sinha, Urban Solid Waste Management. Scenario of Bangladesh: Problems and Prospects, Waste Concern Technical Documentation. 2005.

УДК 621.865.8

О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА

Анотація. В даній статті приведено короткий опис модуля керування EV3, описано програмне середовище, в якому створюється програма керування роботом-маніпулятором та приведений приклад створення однієї з таких програм.

Ключові слова: робот-маніпулятор, сервопривід, модуль EV3, контролер, програмне середовище, блок управління.

ВСТУП

Переважає більшість роботів-маніпуляторів зараз програмується за допомогою контролерів. Контролер - це порівняльний пристрій, який приймає вхідний сигнал, порівнює цей параметр з початковим значенням і визначає відповідну кількість вихідного сигналу, необхідного кінцевому елементу управління для забезпечення корекції дії в ланцюзі керування. Електронний контролер використовує електричні сигнали та цифрові алгоритми для виконання своїх сприйнятливих, порівняльних та коригуючих функцій [1].

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Модуль EV3 – це програмований електронний контролер, за допомогою якого можна управляти сервоприводами та датчиками (рис.1):



Рисунок 1. Модуль EV-3.[6]

Технічні характеристики модуля EV3:

- Операційна система – Linux;
- Контролер ARM9 300 МГц;
- Флеш-пам'ять – 16 МБ;
- Оперативна пам'ять – 64 МБ;
- Роздільна здатність екрану модуля – 178x128 / чорно-білий;
- Зв'язок з головним ПК через шину USB 2.0 – до 480 Мбіт / с;
- Bluetooth 2.1;
- 4 порти на вхід і 4 порти на вихід;
- Живлення – 6 батарей типу АА [2].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Спосіб програмування робота-маніпулятора безпосередньо залежить від його призначення. Розглянемо приклад програмування моделі Lego mindstorms EV3 для робота-маніпулятора.

Для програмування модуля керування EV-3 компанією LEGO було розроблене спеціальне програмне середовище, в якому є все необхідне для створення програми управління роботом-маніпулятором й налаштування її для потреб кожного користувача [3].

Середовище програмування з Lego mindstorms EV3 дозволяє обробляти в програмах різні типи даних, такі як: "Текст", "Числове значення", "Логічне значення", "Числовий масив", "Логічний масив". Тип даних "Числове значення" дозволяє виконувати різні математичні операції над числами. Числа в програмі можуть бути як додатними, так і від'ємними, бути цілими значеннями або містити десяткові дроби [4].

Початок роботи з програмування даного модуля починається зі створення нового проекту на вкладці Файл – Новий проект – Програма.

Після виконання цих команд отримуємо вікно запуску нової програми (рис. 2).

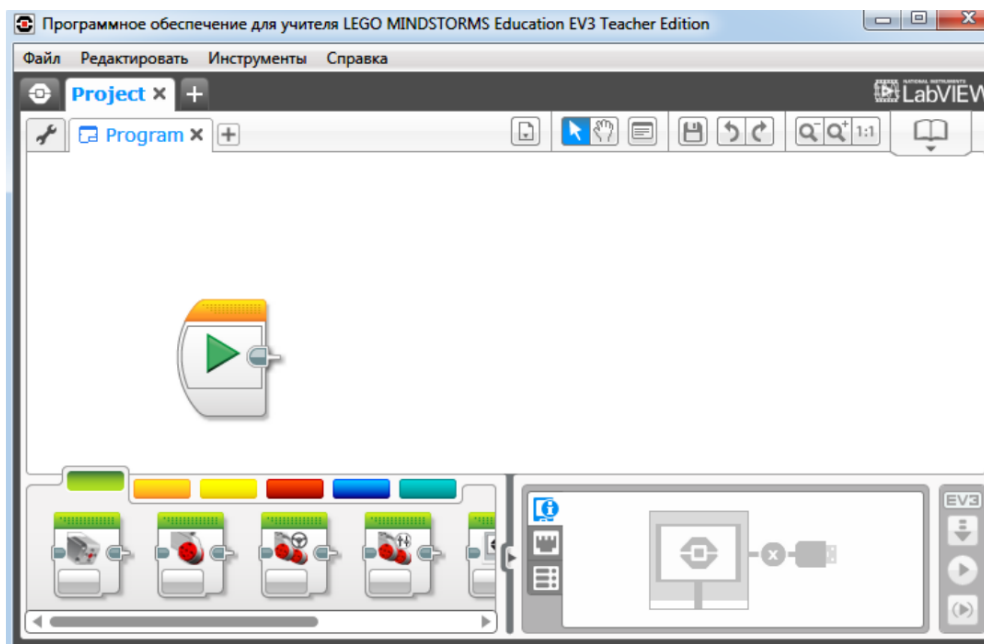


Рисунок 2. Стартове вікно проекту [7].

Далі у зеленій вкладці необхідно вибрати блок "Управління моторами" та підключити цей блок – це стартовий блок, який вже створено автоматично. В конфігурації даного блоку є можливість вибору кількості обертів. Після вибору кількості обертів при натисканні на нього, кількість обертів можна переключити на "Задати кількість градусів". Також робота маніпулятора неможлива без задання потужності. Потужність двигуна задається вручну.

Після здійснення всіх вищесказаних дій, отримуємо готову програму для запуску роботи маніпулятора, яка показана на рис.3.

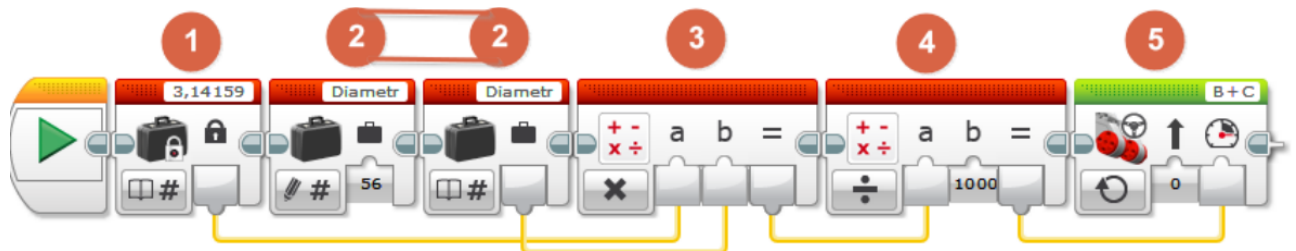


Рисунок 3. Програма для управління роботом-маніпулятором [7].

Однак цих дій недостатньо, щоб почати керувати роботом-маніпулятором. Одним із необхідних кінцевих завдань є перевірка підключення до контролера. Це завдання реалізується за допомогою команди "Port View" на контролері і перевіряє відповідність номерів портів з моторами. Зазвичай мотори підключаються до портів В і С. Якщо після перевірки все підключення виконано правильно, необхідно натиснути "Завантажити і запустити", і рука робота готова виконати задані команди [5].

ВИСНОВОК

У даній статті подано огляд програмного забезпечення для налаштування робота-маніпулятора. Ця тема є актуальною для досліджень, оскільки використання роботизованих маніпуляторів є ключовим способом автоматизації виробничих процесів та їх контролю. Проте використання роботів на підприємствах нашої країни є обмеженим, оскільки переважна більшість з них є закордонними і це зумовлює їх високу вартість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [4] Bishop O. Programming Lego Mindstorms NXT / Owen Bishop. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2008. - 198 p
- [5] Ferrari M. Building Robots with LEGO Mindstorms NXT / Mario Ferrari, Guilio Ferrari, Ralph Hempel. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2007. - 480 p.
- [6] Griffin T. Art of LEGO MINDSTORMS NXT-G Programming / T. Griffin. - San Francisco : No Starch Press, 2010. – 288 p.
- [7] Hestad D. Building LEGO Robots For First LEGO League / D. Hested. – Manchester : INSciTE, 2002. – 91 p
- [8] Жук А.І., Робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробках зі складною геометрією / Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ – 2018 – 96ст.
- [9] Городской методический центр / Wi-Fi на Lego EV-3. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [www.URL:https://mosmethod.ru/metodicheskoe-prostranstvo/robototekhnika/obmen-opytom/lego-konstruirovaniye-i-robototekhnika/wi-fi-na-lego-ev3.html](https://mosmethod.ru/metodicheskoe-prostranstvo/robototekhnika/obmen-opytom/lego-konstruirovaniye-i-robototekhnika/wi-fi-na-lego-ev3.html)
- [10] Б.С. Безпоясний, Особливості вивчення робототехніки Lego Mindstorms EV3., Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради., Черкаси – 2017 – 75ст.

Наук. керівник – к.т.н. Барандич К.С.

УДК 004.031.2

О.В. Кирієнко, студент гр. ПБ-91мп

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВІТРОДВИГУНА

Анотація. У розглянутій у статті проведено аналіз на прикладі системи оперативного моніторингу iRidium Mobile яка використовується для моніторингу стану вітродвигуна. Досліджено необхідність використання даної системи а також виклики та проблеми, з якими стикається вітродвигун під час експлуатації. Сьогодні питання про виробництво та способи отримання альтернативної енергетики займає чільне місце в розвитку енергетичної галузі а також інноваційні підходи до моніторингу та контролю ефективності вітрогенераторів. Інноваційний підхід забезпечує високоефективну роботу вітродвигунів, якісний контроль за його роботою а також оперативне інформування в разі несправності.

Ключові слова: вітродвигун, iRidium Mobile, зелена енергетика, смартфон, «розумний будинок».

ВСТУП

На сьогоднішній день в сучасному світі швидкими темпами розвивається і впроваджуються використання систем «розумний дім» та «зеленої» енергетики для живлення всіх систем дому. В якості основних джерел отримання енергії використовуються сонячні панелі та вітродвигуни. «Розумний дім» (розумний будинок/smart home, digital house) — система домашніх пристроїв, здатних виконувати дії і вирішувати певні повсякденні завдання без участі людини [1]. Функціонально пов'язуються між собою усі електроприлади будівлі, якими можна керувати централізовано — з пульта-дисплею. Прилади можуть бути під'єднані до комп'ютерної мережі, що дозволяє керувати ними за допомогою ПК та надає віддалений доступ до них через Інтернет. Завдяки інтеграції інформаційних технологій у домашніх умовах можна ефективно використовувати роботу малопотужних вітродвигунів що слугують в якості живлення «розумного» дому.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Під час роботи та експлуатації малопотужних вітродвигунів виникають проблеми в роботі при погіршенні погодних умов та зниження їх ефективності. Вітрогенератор (вітрова турбіна) — пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру на електричну, що складається з вітрової турбіни, електрогенератора та допоміжного обладнання [2]. Пориви вітру та неправильний кут розташування відносно повітряного потоку можуть призвести як до виходу установки з роботи так і до зниження ККД всієї установки тому потрібне часткове або повне аварійне відключення установки. Задля вирішення цих проблем було використано систему оперативного моніторингу iRidium Mobile. iRidium - комплекс програм для управління обладнанням домашньої і комерційної автоматизації [3]. Дозволяє працювати з різними обладнанням автоматизації через один призначений для користувача інтерфейс будь-якої складності. Інтерфейс управління можна запустити на iPad, iPhone, Android, Windows, Mac OS X. iRidium mobile перетворює смартфон в пульт дистанційного керування системою автоматизації безпосередньо в своєму будинку.

На даний момент виробники обладнання для «розумного дому» надавали системи і панелі керування (сонячними панелями, вітродвигунами тощо)

власного виробництва, проте, у них є два серйозних недоліки. По-перше, вони дуже громіздкі, по-друге, у них дуже високий цінник. Тобто, в порівнянні зі смартфоном і іншими гаджетами цінник досить великий.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Є три основні моменти, які відрізняють iRidium від інших систем керування та моніторингу. По-перше, надається можливість керувати будь-яким обладнанням. На даний момент підтримується близько 14 протоколів систем автоматизації. На борту є інструмент, який називається iRidium Script. Він дозволяє самостійно створювати драйвери тим, хто знає скрипт-мову і JavaScript. Це зручно тим, у кого в проектах зустрічається обладнання, яке ми ще не підтримуємо, але яким вони хочуть керувати через iRidium. Крім того, є багато виробників, не так поширених на світових ринках, але їх обладнання, тим не менш, використовується в проектах автоматизації.

Ще один момент - це можливість керувати мобільними пристроями, мобільні пристрої стають все більш продуктивними, а комунікаційна інфраструктура (Wi-Fi, 3G, 4G) все більш доступнішою. Зараз власники «розумного будинку» можуть отримувати інформацію про стан дому і мати доступ до управління ним в будь-який час і в будь-якому місці. Завданням даного додатку є візуальний контроль між пристроєм на базі ОС Андроїд і віддаленими малопотужними вітродами.

Третій момент - це створення різних інтерфейсів управління. Тим, що це власний гаджет перетворюється в персональний пульт управління. І те, наскільки якісно і грамотно з точки зору навігації і дизайну він виконаний, впливає на відчуття роботи користувача з «розумним будинком».

Якщо ж говорити про IoT (Internet of Things), то ця тема на даний момент актуальна і використовується всюди, де тільки можна. iRidium теж рухається в цьому напрямку. По суті «інтернет речей» зводиться до того, що клієнт може налаштувати взаємодію з навколишнім середовищем так, як йому захочеться, і тоді, коли він зможе.

Зараз iRidium працює з цільовою аудиторією, так званих, системних інтеграторів, або інсталяторів, які є проміжною ланкою між виробником обладнання і кінцевим користувачем, який хоче отримати «розумний будинок».

Модуль iRidium - це інтерфейс управління + скрипт драйвер на базі "AV & Custom Systems"[3]. Готові модулі підходять для управління системами, які не ввійшли в список готових рішень для автоматизації iRidium. Модуль заздалегідь налаштований для відправки команд і отримання зворотного зв'язку від обладнання. Також представлений ряд модулів, спрямованих на поліпшення зовнішнього вигляду проекту.

На базі iRidium існує дві платформи:

- iRidium pro - система управління (візуалізація + сервер) для великих проектів автоматизації.

- iRidium lite - система управління (візуалізація + сервер) для простих і типових проектів.

ВИСНОВКИ

Отже, використовуючи свій смартфон як пульт дистанційного керування та програму iRidium Mobile ми можемо знизити наші витрати, спростити процес керування, підвищити мобільність та зробити можливим віддалений доступ до керування вітродвигуном та іншими приладами і системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Розумний будинок. Режим доступа:
www.URL:https://www.smarthouse.ua/ua/umnyj_dom.html
- [2] Gregersen E. “Wind power”. – Режим доступа:
www.URL:<https://www.britannica.com/science/wind-power> – 2020.
- [3] iRidium platforms. — Режим доступа:[www.URL:https://dev.iridi.com/](https://dev.iridi.com/) - офіційний сайт додатку Iridium

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

УДК 534

К.В. Крушинських, студент гр ПМ-61, професор Гераїмчук М.Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК (СЛЯБІВ) В МЕТАЛУРГІЇ

Анотація. В даній статі розглянуто процес виробництва слябів в металургії за допомогою машини безперервного лиття заготовок.

Ключові слова: металургія, машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), кристалізатор, заготовка.

ВСТУП

Металургійні підприємства, при виготовленні слябів за допомогою технології неперервного лиття заготовок, використовують машину неперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Однією з найважливіших частин машини є кристалізатор, від якості роботи якого визначається якість заготовки в цілому. Тому для дотримання режимів його роботи, траєкторії руху та покращення якості злитка, такі машини потребують використання систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора.

Користуючись системами контролю параметрів руху кристалізатора ми можемо оцінити правильність налаштування обладнання, перевірити справність ливарного обладнання в надзвичайно короткий термін та запобігти можливим зламам та надзвичайним ситуаціям. Процес лиття заготовок дуже складний та небезпечний, тому працівники підприємства дуже залежать від справності обладнання ливарних установок. При аваріях на МБЛЗ іноді відбуваються людські жертви, підприємство несе значні фінансові втрати через простой виробництва.

МАШИНА БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК (МБЛЗ)

УНРС (установка неперервного розливання сталі) - металургійний агрегат для розливання сталі, перша назва цієї машини, але згодом була витіснена аббревіатурою «МБЛЗ» [1].

МБЛЗ – машина безперервної розливки заготовок.

Даний спосіб виготовлення заготовок було винайдено ще у середині 19 століття Г. Бессемером. Перші спроби виготовлення заготовок таким способом скінчились крахом. Лише в 30-х машини безперервного лиття отримали такий вид як і сьогодні, лиття через кристалізатор, який постійно охолоджувався. Цей спосіб підходить під різні типи металу, заготовки вироблялись як з чорних металів так і з кольорових металів та їх сплавів. Перша установка безперервного лиття заготовок у СРСР була впроваджена у промисловість в 1955 році на заводі «Червоне Сормово» [1].

МБЛЗ вертикального типу найкращим чином забезпечує оптимальні умови кристалізації та витягування злитку, але така установка потребує значної висоти опорних конструкцій, тому зростають капітальні витрати на будівництво.

Висота МБЛЗ з вигином злитка і радіальна менше, ніж вертикальна. Здійснюється вигин злитка, що перекладає його у горизонтальне положення в установці. У машини безперервного лиття заготовок радіального типу сам кристалізатор має форму дуги певного радіуса заокруглення. При виході з

кристалізатора злиток потрапляє в жорсткі кліті вторинного охолодження, складені з роликів секцій, охолоджуваних системою водяних форсунок.

Величина радіусу заокруглення кристалізатора МБЛЗ визначає в основному висоту установки. Радіус заокруглення кристалізатора і клітей вторинного охолодження розраховують таким чином, щоб при виході в горизонтальне положення заготовка повністю затверділа.

Кристалізатор – мідна, порожниста зсередини посудина, певної геометричної форми, яка не має дна. Установка, яка служить для перероблення матеріалу з розплавленого стану у твердий продукт певної форми. Затвердіння розплавленого матеріалу відбувається шляхом його охолодження до температури кристалізації. Кристалізатор МБЛЗ працює як теплообмінник, задачею якого є швидке відведення тепла від сталі, що проходить через нього. Через те, що кристалізатор виконується з міді, яка піддана дифузії, виникає брак – тріщини на поверхні злитку.

Представлений промисловий кристалізатор слябової машини неперервного лиття заготовок (див . рис. 1), сталь в який подається шляхом спеціального розливного ковша.

При контакті розплавленого металу з кристалізатором в області контакту утворюється скоринка, це відбувається за рахунок охолодження металу, адже мідь у кристалізаторі має добру теплопередачу. При процесі формування твердої скоринки можливе прилипання металу на поверхню кристалізатора. Це негативно впливає на якість металу, бо в кінці виникає напруження розтягу, які виникають під час витягування заготовки з кристалізатора.



Рисунок 1. Кристалізатор слябової МНЛЗ

Щоб запобігти прилипанню та подальшому розриву новоутвореної тонкої кірки кристалізатор піддають зворотному поступальному руху вгору-вниз у напрямку ходу заготовки. Цей процес відбувається внаслідок роботи механізму гойдання який приєднано до кристалізатора.

Така технологія розливки сталі для сортових та листових заготовок, виділяється техніко-економічними перевагами в порівнянні з виготовленням заготовок із злитків:

- Поліпшення умов праці для працівників, адже при такому виготовленні зменшується кількість важких робіт.
- Процес підготовки МБЗЛ є механізований та майже автоматизований аж до різання та сортування заготовок.
- Зменшення капітальних та експлуатаційних витрат, адже відсутні обтискні стани.
- За рахунок автоматизації та механізації досягається сталість умов виробництва і підвищується продуктивність праці.

ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА

Процес виробництва заготовок (див. рис. 2), полягає в циклічному процесі розливу, охолодженні та кристалізації, різанню на мірні довжини.

Розглянемо процес отримання заготовки:

Перед початком розливки сталі, в кристалізатор вводиться затравка, яка має однаковий поперечний переріз зі злитком і слугує дном дня перших порцій металу. Далі рідка сталь безперервно виливається з промислового ковша у верхню частину кристалізатора, який охолоджується водою. Рідкий метал постійно стікає у форму, тому злиток збільшується. Для покращення якості поверхні заготовки та стабілізації процесу, рівень металу контролюється та підтримується постійним. У місцях контакту кристалізатора з рідкою сталлю утворюється скоринка, яка не дає металу текти дали, тому кристалізатору надають зворотно-поступальній рух з певною амплітудою [2].

Після отримання заготовкою форми, вона витягується за допомогою роликів які швидко доставляють її до зони вторинного охолодження. У цій зоні за допомогою форсунок проводиться поверхневе охолодження, заготовка твердіє по всьому перетину. Використовуючи такий спосіб, ми можемо отримати заготовки необмеженої довжини. Також такий спосіб дозволяє зменшити витрати металу на 15-20% , шляхом зменшення обрізків кінців заготовок. За допомогою цієї технології досягається рівномірність структури злитка по всій довжині.

Після процесу формування злитка в кристалізаторі та охолодження наступають процесі різання на мірні довжини та сортування.

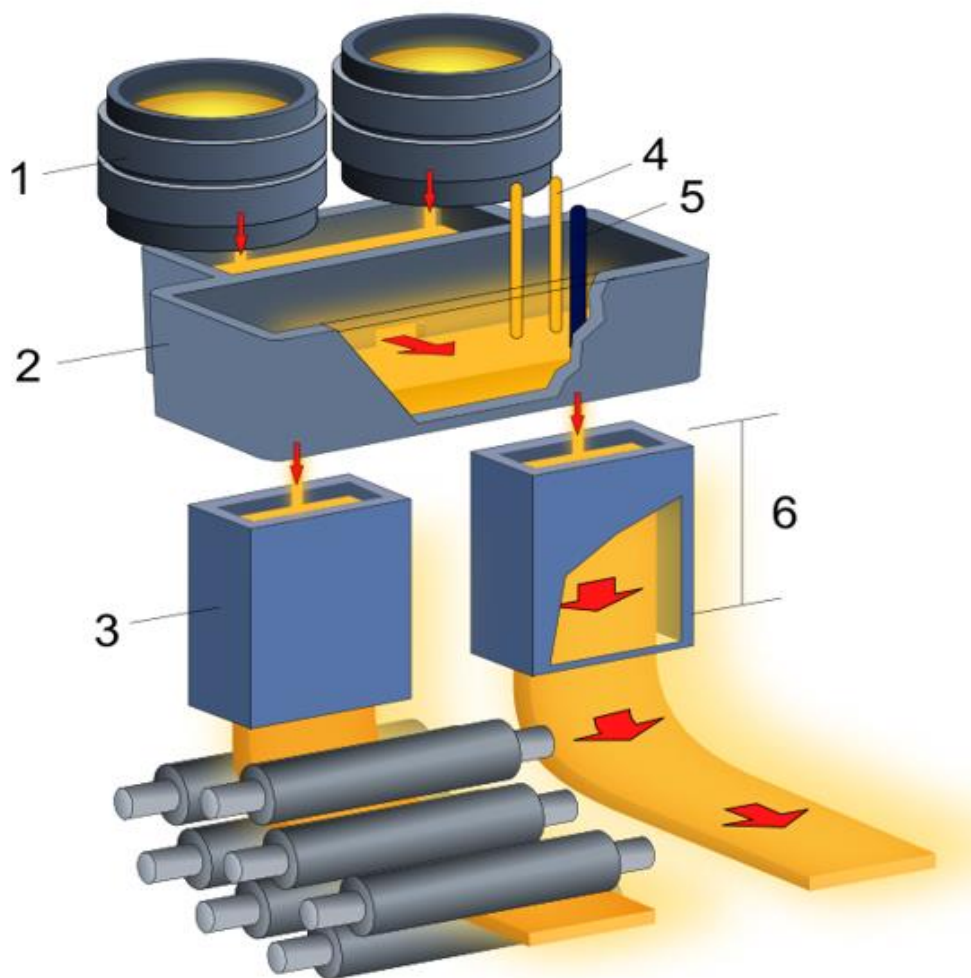


Рис. 2 – Схема безперервного розливання сталі.

1 – Сталерозливна посудина (ківш), 2 – проміжний ківш, 3 – мідний кристалізатор, 4 – Нагрівальний пристрій для підтримки температури, 5 – стопор, 6 - зона первинного охолодження і початку кристалізації.

ВИСНОВКИ

Отже, такі комплекси широко використовуються в Україні та у всьому світі. Ця система не є ідеальною тому дослідження теперішніх та створення нових систем контролю та діагностики є актуальною та необхідною задачею, адже від якості сталі залежить міцність великих установок, транспортних об'єктів, та життя багатьох людей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Машина неперервного лиття заготовок [Електронна адреса]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: [www.URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина_непрерывного_литья_заготовок#CITEREFКудрин1989](https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина_непрерывного_литья_заготовок#CITEREFКудрин1989)
- [2] Кудрин В. А. *Металлургия стали. Учебник для вузов.* – Москва: Метталургия, 1989. – 560 с. - ISBN 5-229-00234-4

Наук. керівник – професор Гераїмчук М.Д.

УДК 621.376

В.Ю. Марченко, студент гр. ПБ-81, к.т.н., ст. викладач Матвієнко С.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Анотація. В даній статті досліджено способи і методи бездротової передачі інформації, їх недоліки та переваги. Проаналізовано існуючі технічні рішення та розглянуто їх застосування у сучасній інженерії.

Ключові слова: цифрова радіопередача сигналів, модуляція радіосигналу, SDR-трансивери.

ВСТУП

Метод бездротової передачі інформації використовується майже у всіх сферах життєдіяльності людини. Даний попит пояснюється відносною простотою і зручністю використання, зменшенням кількості проводів, неможливістю використання твердотільних провідників, тощо. Застосовується у побутовій, військовій, промисловій, медичній сферах, але, не дивлячись на ряд переваг даної технології, існує ряд недоліків. По-перше, існує фізичне обмеження у частоті радіосигналу, що в свою чергу змушує раціонально використовувати радіосигнали. По-друге, захист інформації, що передається в ефір майже не можливий, адже будь-хто може демодулювати сигнал або згенерувати більш потужний сигнал, який може бути використаний для придушення (jamming) або підміни (spoofing) корисного сигналу та зробити неможливим його передачу. Ця проблема особливо актуальна у галузі приладобудування в нових безпроводних сенсорних мережах передачі даних систем IoT (Internet of Things), Smart Grid, Smart City, Smart Home при одержанні даних від багаточисельних сенсорів, розташованих на значній відстані та важкодоступних місцях. Наприклад, робота працівника в приміщенні з високим рівнем шуму може бути здійснена віддалено, що дає можливість уникнути впливу сильного шуму на слуховий апарат людини. Дослідження ефективних методів бездротової передачі інформації є на сьогодні актуальним завданням. Потрібно зазначити, що використання радіоефіру регламентовано постановою кабінету міністрів №1208 від 15 грудня 2005р [1].

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи дослідження аспектів впровадження бездротової передачі інформації для безпроводних сенсорних мереж в галузі приладобудування.

МЕТОДИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Задля аналогової передачі будь-якої інформації існує два основних аналогових методи передачі (модуляції) сигналу: амплітудна та частотна [2].

Найпростішим методом є амплітудна модуляція сигналу. При такому методі радіозв'язку мікрофон перетворює звук в електричні коливання, після чого сигнал підсилюється та передається на модулятор. Частота передачі сигналу задається за допомогою генератора коливань.

Одним з найбільших недоліків амплітудної модуляції є її незахищеність до радіоперешкод. Частотна модуляція заснована на принципі зміни частоти радіопередачі в залежності від звукової частоти. Принципова відмінність частотної модуляції дозволяє суттєво зменшити вплив радіоперешкод, але потребує більших енерговитрат та займає більш широкий канал радіочастот.

Існує велика кількість моделей удосконалених варіантів аналогових модуляторів та демодуляторів сигнал, але питання, яке неможливо вирішити за допомогою аналогової передачі – питання захисту інформації, що передається.

ЦИФРОВА РАДІОПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ

На сьогоднішній день поступово розробляються нові стандарти для радіопередачі. Наразі існують такі стандарти цифрової радіопередачі: DAB+, DMB, DRM, DRM+, CAM-D, HD Radio, FmeXtra. Дані стандарти спрямовані в першу чергу на покращення якості сигналу, зменшення радіочастотної полоси передачі та завадостійкості [1, 2].

Основний принцип цифрової радіопередачі полягає у кодуванні сигналу в послідовність логічних «0» та «1». При передачі сигналу вони відповідають відсутності високого потенціалу або-ж навпаки його наявності. Пристрій-приймач дешифрує отриману послідовність й перетворює її у звуковий сигнал.

Даний вид радіопередач має великий потенціал, оскільки завдяки створенню нових моделей шифрування сигналу його можливо захистити, не втрачаючи при цьому переваг аналогової передачі інформації. Прикладом розробки нового захищеного протоколу обміну даними є протокол каналного рівня LoRa мережі IoT (Internet of Things).

SDR ТРАНСИВЕРИ

Software Defined Radio (далі SDR) має великий попит серед радіоінженерів. Даний пристрій може виконувати широкополосне передавання та приймання радіосигналу в широкому діапазоні частот (від 70 МГц до 6 ГГц) та за допомогою програмного забезпечення кодувати та декодувати сигнал. На рис. 1 представлена блок-схема SDR такого трансивера.

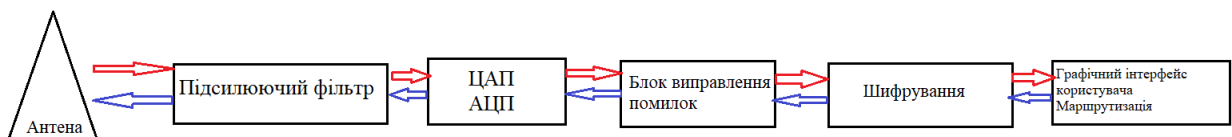


Рис. 1 Блок-схема SDR трансивера для широкополосної передачі та прийому радіосигналу

Даний пристрій поєднує у собі можливість приймати й передавати як аналоговий так і цифровий сигнал, що робить його універсальним для будь-яких задач.

SDR є універсальним пристроєм, структура та функції якого визначаються програмними засобами, такими як Matlab Simulink, MatWiever, GNU Radio, наприклад, модуль програмно конфігурованого радіо USRP B210 USB Software Defined Radio (SDR) компанії Ettus Research [3], зображений на рис. 2.

Ці пристрої за допомогою програмних засобів Matlab Simulink дозволяють не тільки проводити математичне моделювання пристроїв прийому й передачі як аналогових так і цифрових сигналів, а і проводити дослідження по оптимізації параметрів сигналів.

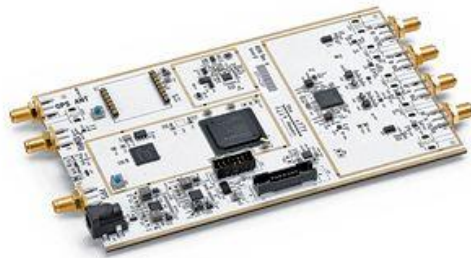


Рис. 2. Модуль Software Defined Radio (SDR) - USRP B210 USB компанії Ettus.

На блок-схемі рис. 3 показано взаємодію блоків Matlab Simulink SDR-передавача і приймача з апаратним інтерфейсом USRP.

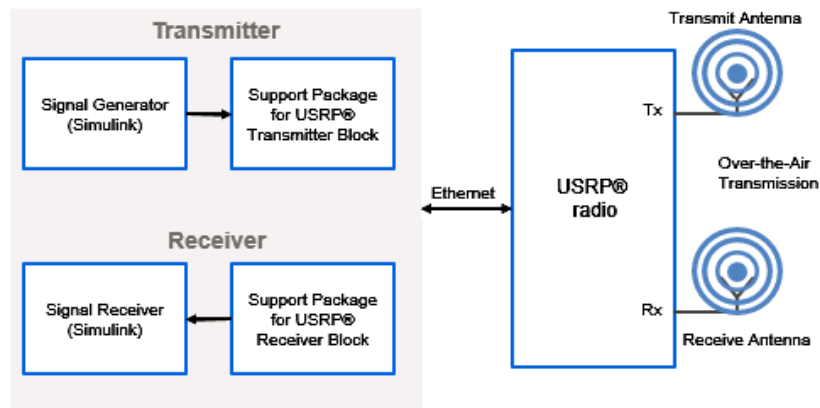


Рис.3. Взаємодія блоків Matlab Simulink SDR-передавача і приймача з апаратним інтерфейсом USRP [4]

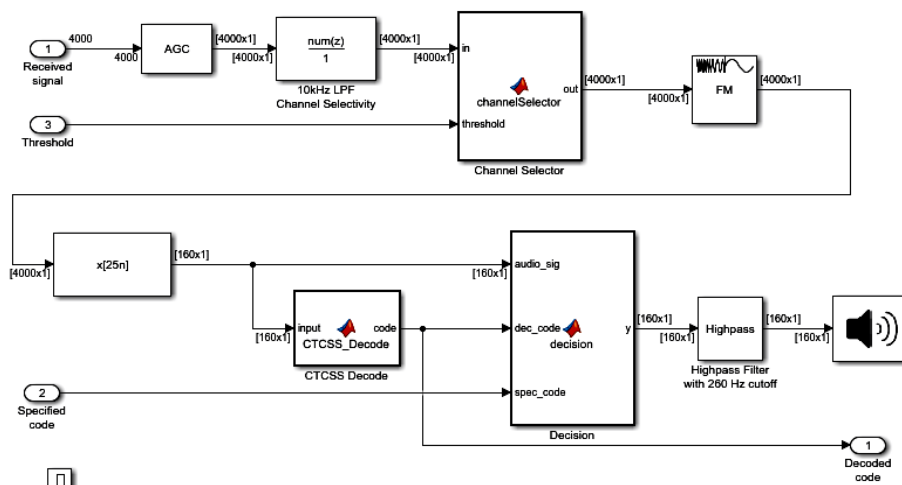


Рис.4. Модель приймача FRS/GMRS системи на SDR в Matlab Simulink [5,6]

За допомогою програмних засобів Matlab Simulink, MatWiever, GNU Radio можна розробити сучасну цифрову систему бездротової передачі інформації,

максимально захищену від навмисних і ненавмисних перешкол на основі сучасних алгоритмів модуляції, шифрування, ідентифікації та аутентифікації. Для прикладу, на рис. 4 приведено модель в Matlab Simulink приймача FRS/GMRS системи на SDR. В Matlab Simulink можна також змоделювати різноманітні сигнали від сенсорних пристроїв, як аналогові, так і цифрові, що значно полегшує моделювання всієї системи в цілому.

ВИСНОВОК

Цифрова радіопередача сигналу у порівнянні з аналоговою має вагомі переваги у використанні. Вона має більшу стійкість до радіоперешкод, більшу пропускну можливість, що дозволяє використовувати сучасні методи кодування, мультиплексування і дає можливість підвищити надійність систем передачі інформації, підвищити захист від вразливості до різного роду навмисних і ненавмисних перешкод. Математичне моделювання SDR дає можливість оптимізувати пристрої і методи цифрової передачі інформації, розробити надійні методи кодування, протоколи обміну даними, вирішити проблему колізії. Розробка нових протоколів, методів кодування і нових ефективних методів модуляції особливо важливе в приладобудуванні в нових безпроводних сенсорних мережах передачі даних систем Smart Grid, Smart City, Smart Home. З недоліків SDR можна відзначити складність реалізації пристроїв та необхідність стандартизації цифрових радіосигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Постанова кабінету міністрів України «Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» від 15 грудня 2005р №1208. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-%D0%BF>
- [2] AM, PM and FM modulation — Режим доступу: <https://www.bharathuniv.ac.in/colleges1/downloads/biomed/AM,%20PM%20and%20FM%20modulation%20-%20Gomathi.pdf>
- [3] Мировой опыт внедрения и развития технологий. цифрового звукового радиовещания стандарта dab и drm — Режим доступу: http://radon.org.ua/index.php?catid=37&id=5203&Itemid=59&option=com_content&view=article
- [4] USRP B210 SDR Kit - Dual Channel Transceiver (70 MHz - 6GHz) — Режим доступу: <https://www.ettus.com/product/details/UB210-KIT>
- [5] Взаємодія блоків Matlab Simulink SDR-передавача і приймача з апаратним інтерфейсом USRP <https://ch.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/ug/sdrureceiver.html>
- [6] FRS/GMRS Walkie-Talkie Receiver with USRP® Hardware — Режим доступу: <https://fr.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/examples/frs-gmrs-walkie-talkie-receiver-with-usrp-r-hardware-1.html>

Наук. керівник – Ст. викладач, к.т.н. Матвієнко С.М.

УДК 629.7

І.В. Масненко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

Анотація. У даній статті розглянуто основні методи оптимізації топології конструкції: ESO (метод еволюційної оптимізації конструкцій), BESO (двобічний метод еволюції оптимізації конструкцій), SIMP (метод пеналізації для твердого ізотропного тіла) Приведені теоретичні основи методологій та області застосування. Виділені їх переваги та недоліки.

Ключові слова: топологічна оптимізація, метод еволюційної оптимізації конструкції, двобічний метод еволюції оптимізації конструкції, метод пеналізації для твердого ізотропного тіла

ВСТУП

Зниження маси і збільшення міцності конструкцій є одним з пріоритетних завдань в сучасному приладобудуванні. Вирішення даної проблеми напряму пов'язано з геометричними формами деталей, що проектуються за допомогою методів топологічної оптимізації. Їхнє застосування дозволяє знайти найкращі параметри конструкції, які задовольняються технічними та фізичними параметрами.

Топологічна оптимізація (ТО) – це розподіл матеріалу в області проектування при впливі на нього заданого навантаження і використанні обмежень різного роду: геометричного, міцнісного, жорсткісного та ін. Методологія включає в себе три тісно зв'язані, але розбіжні за своєю постановкою проблеми та її вирішенням: оптимізація розмірів, форми і топології структур.

Застосування топологічної оптимізації в приладобудівній галузі є відносно новим компонентом процедури проектування та набуло найбільшої популярності зі стрімким розвитком адаптивних технологій, які значно розширюють область конструктивних проектувань однотипних деталей приладів. Основними завданнями є мінімізація об'єму та маси при збереженні функціональних характеристик виробу [1].

У наш час відомі наступні основні методи ТО: SIMP (solid isotropic material with penalisation), ESO (evolutionary structural optimization) та їх різноманітні комбінації. Дані засоби мають свої особливості, але в той же час тісно пов'язані між собою.

Для реалізації методологій в сучасні програмні CAD/CAE – системи містять спеціальні модулі для полегшення виконання завдань оптимізації: OptiStruct від Altair Hyper-Works та SIMULIA Tosca, який застосовується в Abaqus, ANSYS і MSC Nastran.

ESO/BESO - МЕТОД

Еволюційна оптимізація конструкцій (evolutionary structural optimization) і двобічна еволюційна оптимізація конструкцій (bi-directional evolutionary structural optimization) стрімко розвиваються в останні роки. Ці напрямки спрямовані на знаходження найкращого розміщення і проектування геометрії пустот в середні області моделювання. Вони класифікуються, як методи від

супротивного, які інтенсивно видаляють або додають кінцеву кількість матеріалу, використовуючи евристичні критерії, які строго напрямлені на досягнення визначених функціональних параметрів. Спосіб ESO являється простим в реалізації, що є суттєвою перевагою для завдань ТО розподілення конструктивних навантажень.

Основою є концепція видалення матеріалу, відповідно до якої не напружений матеріал може бути видаленим, що дозволяє значно зменшити вагу деталей. Даний цикл кінцевих елементів і їх видалення ітераційно повторюється з використанням одного і того ж порогового кінцевого значення, до досягнення стійного стану, тобто відсутності не напружених елементів. Процес продовжується поки не буде досягнутий бажаний результат (рис. 1).

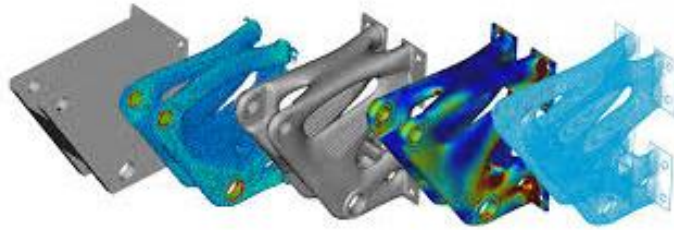


Рис .1. Застосування топологічної оптимізації

Однак видалений матеріал на ранніх ітераціях може бути корисним на наступних, але даний метод не дозволяє відновити його, таким чином в ряді випадків, він не дозволяє отримати бажаний результат. Ці недоліки усуваються в методології BESO.

BESO метод дозволяє одночасно додавати і видаляти матеріал в області проектування. Відмінність від ESO заключається в тому, що індекс чуттєвості в пустотілих елементах визначається шляхом лінійної екстраполяції поля зміщення, який отримуємо в результаті аналізу кінцевих елементів. Після чого заповненні елементи з мінімальним значенням видаляються, а пусті елементи з найбільшими значеннями напруги заповнюються додатковим матеріалом. Даний метод теж являється ітеративним, до досягнення бажаного результату функціоналу [2, 3].

SIMP-МЕТОД

Наступним методом ТО являється SIMP-метод (пеналізації для твердого ізотропного тіла), який базується в створенні поля віртуальної щільності, представляє аналог деякої реальної характеристики об'єкта. Призначення методу полягає в зменшенні піддатливості конструкції внаслідок перерозподілу матеріалу в конструкторському просторі при відомих граничних умовах (рис. 2). Результатом моделювання буде об'єкт, який відповідає рамкам поставлених завдань. Найбільше застосування даний метод отримав в адаптивних технологіях.

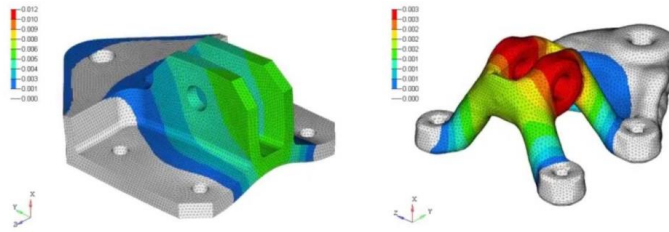


Рис .2. Топологічно оптимізована деталь під впливом методу кінцевого навантаження

SIMP широко застосовується в приладобудуванні та інших галузях. У якості розрахункової змінної розглядається щільність матеріалу. Оптимальна структурна топологія отримується шляхом перерозподілу матеріалу всередині області основі критеріїв оптимальності або методами математичного програмування [4].

ВИСНОВОК

Вище наведені методи мають проблему установлення в тілі конструкції, не зв'язаних між собою об'ємів матеріалів, залежність від розбиття матеріалу та проблему локального мінімуму. Схема оптимізованої моделі має розриви, суцільності і незв'язані «пухирці» матеріалу, дані проблеми вирішуються різноманітними схемами фільтрації.

Залежність від структурного розбиття заключається в тому, що використання різноманітних кінцевих сіток приводить до оптимальних топологій. Ця проблема вирішується з використанням методу керованого периметру і схеми фільтрації напружень. Але в загальному випадку проблема кінцевих елементів розбиття сіток до цього часу не вирішена.

BESO частково вирішує проблеми ТО, даний метод аналізує на кожній ітерації напружений стан кінцевих елементів. У результаті цього відбувається урівноваження наповненості матеріалами конструктивної області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мاستенко І. В., Стельмах Н. В. Застосування топологічної оптимізації при проектуванні деталі типу кронштейн // *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»*, 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019р. – С. 147–150.

[2] Мастенко И. В, Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3d-печатных моделей на их прочностные характеристики / *Новые направления развития приборостроения. Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов.*, БНТУ, Минск. 2019 г. - С. 138.

[3] Sigmund, Ole; Maute, Kurt (2013). "Topology optimization approaches". *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 48 (6): 1031–1055

[4] Meisel N A, Williams C B and Druschitz A 2012 Proc. of the Int. Solid FreeformFabrication Symp pp. 162-176

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

УДК 338.512

В.В. Потієнко студент гр. ПБ-61, асистент Волошко О.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Анотація. В статті наведена методика визначення оптимального набору параметрів, що забезпечують високі прибутки та збереження ресурсів. Значна увага приділяється вирішенні дилеми «ціна – якість». Методика припускає наявність оптимумів серед множини набору параметрів. Вона дозволяє встановити найбільш ефективний варіант проекту виробу або системи виробництва в економічних реаліях. Ефективність виробу або проекту визначається відносно прибутку, яку він може надати.

Ключові слова: система виробництва, виріб, оптимальні параметри, технологія, собівартість, прибуток.

ВСТУП

В умовах сучасної економіки, важливим є забезпечення максимальної економії ресурсів при забезпеченні необхідних параметрів якості виробів. Проте певні типи виробів можуть мати різний економічний ефект. Тобто одні вироби мають нормований термін придатності або швидке моральне старіння, інші можуть працювати до повного зношення. Метою роботи є встановлення параметрів проектування або виготовлення виробу, які дозволять отримати максимальний прибуток за визначений термін.

Основними питаннями кожного сучасного підприємства є забезпечення високих прибутків та збереження ресурсів. Однак при організації виробництва постає проблема вирішення дилеми «ціна – якість». При забезпеченні широкого асортименту виробів іноді важко визначити найбільш ефективний елемент вибору типу виробництва.

Тому метою даних досліджень є вибір методики визначення параметрів, що дозволяють отримати оптимальні параметри виробництва.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для розв'язання поставленої задачі пошуку оптимальний параметрів виробництва розглянемо просту диференціацію.

Нехай при проектуванні та виготовленні виробу є можливість змінювати його параметрів a_1 та a_1 . Як приклад, виберемо двотаврову балку з можливістю змінювати висоту стінки та ширину полки. Для цього вибудовується параметрична модель проекту, де параметрами будуть лише не задані величини [2].

Розглянемо ці параметри як множини з деяким кроком. Тоді для виробу по кожному параметру будемо мати таку залежність:

$$\begin{aligned} a1_i &= a1_{i-1} - h1 \\ a2_i &= a2_{i-1} - h2 \end{aligned} \quad (1)$$

Кінцевим рішенням поставленої задачі є отримання функції, яка реалізує створений виріб. Як приклад, для заданої балки це буде опір згинальному моменту. Отримуємо функцію, аргументами якої можуть бути параметри, що можливо змінити конструкційно або технологічно в заданих межах.

Опис моментів згинання балки представляється в вигляді:

$$F_{ij} = f(a1_i, a2_j) \quad (2)$$

Одним з найпоширеніших видів представлення даних про систему є матриця, рядки якої відповідають окремим об'єктам системи, що описуються набором конкретних значень параметрів, а стовпцями – значення відповідних параметрів цих об'єктів [3]

Тоді параметричну модель виробу (балки) можна надати таким чином:

$$\begin{pmatrix} F_{1.1} & F_{1.2} & F_{1.3} \\ F_{2.1} & F_{2.2} & F_{2.3} \\ F_{3.1} & F_{3.2} & F_{3.3} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Наступний крок розв'язання задачі є порівняння максимально допустимого значення функції з елементами матриці. В результаті цього отримуємо лінію допустимості, вище якої нема сенсу оскільки не відповідають умовам якості.

Нехай значеннями лінії допустимості є $F_{1.2}, F_{2.1}$. В результаті отримуємо матрицю:

$$\begin{pmatrix} 0 & F_{1.2} & F_{1.3} \\ F_{2.1} & F_{2.2} & F_{2.3} \\ F_{3.1} & F_{3.2} & F_{3.3} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Канонічно вважається, що найбільш ефективним варіантом є елемент з найменшою собівартістю і розташований на лінії допустимості. Так в прикладі з балкою таким варіантом є балка з найменшою кількістю використаного матеріалу. Проте це не завжди буде найбільш вигідним варіантом. Нехай існує варіант, котрий не є найбільш дешевий, однак він більш ефективний. У цьому випадку це може бути термін придатності, сумарна вигода якою буде більша за додану собівартість.

Отже прибуток буде складатися з собівартості та частки корисної роботи яку буде давати виріб [4-5]:

$$S_{i,j} = P(a1_i, a2_j) - M(a1_i, a2_j) \quad (5)$$

де $P(a1_i, a2_j)$ загальні витрати в грошовому еквіваленті; $M(a1_i, a2_j)$ - собівартість виробу.

Собівартість $M(a1, a2)$ включає закупівельну (виробничу) вартість, а також витрати на обслуговування.

Складнішим для визначення є $P(a1, a2)$ являє собою сукупність прогнозованих прибутків від виробу.

Основними типами прибутку є статично часовий прибуток та динамічно кількісний прибуток.

Статично часовий прибуток описується простими конструкціями та моделями, які не виконують активного перетворення енергії:

$$P(a1_i, a2_j) = t(a1_i, a2_j) * (U_{заг}) * \nu / 100\% \quad (6)$$

де $t(a1_i, a2_j)$ - термін придатності на котрий впливають вибрані параметри; $(U_{заг})$ - сумарний прибуток всієї системи, в яку входить виріб, за одиницю часу, ν - частка вартості виробу по відношенню до системи.

Динамічно кількісний прибуток використовується в системах, які виконують корисну роботу. Його основна властивість - це перетворення енергії:

$$P(a1_i, a2_j) = n(a1_i, a2_j) * q(a1_i, a2_j) * U_n \quad (7)$$

Основними елементами цих систем є гарантійна кількість роботи $n(a1_i, a2_j)$, що є розмірною або безрозмірною величиною, наприклад, пробіг автомобіля або кількість натискань кнопки; $q(a1_i, a2_j)$ - коефіцієнт корисної дії по відношенню до прибутку і витрат; U_n - прибуток за одиницю кількісного значення.

Таким чином отримуємо матрицю з встановленими значенням прибутків, Для прикладу з балкою має вигляд матриці:

$$\begin{pmatrix} 0 & S_{1.2} & S_{1.3} \\ S_{2.1} & S_{2.2} & S_{2.3} \\ S_{3.1} & S_{3.2} & S_{3.3} \end{pmatrix}$$

з якої ми визначаємо максимальне значення, параметри якого і будуть результатом пошуку[4].

Існують також нормативні або моральні обмеження. Нормативні обмеження - це обмеження встановленні юридично і мають виконуватись в обов'язковому порядку. Моральні обмеження пов'язані з моральним старінням виробу.

Частка роботи за обмеженнями у випадку статистично часового максимального заданого часу робіт t_z визначається як:

$$P(a1_i, a2_j) = t_z * (U_{заг}) * v / 100\% \quad (8)$$

Динамічно кількісний прибуток системи матиме границю виконаних робіт n_z :

$$P(a1_i, a2_j) = n_z * q(a1_i, a2_j) * U_n \quad (9)$$

Таким чином існує такий варіант вибору параметрів, при якому вигода від нього буде більшою від доданої вартості при достатніх якісних параметрах. Основні коефіцієнти при визначенні необхідного варіанту вибираються з технологічних показників, статистичних даних в поточній або прогнозованій ситуації [2].

В якості параметрів використовується геометричні розміри, фізичні властивості, технологічні та виробничі змінні. Границі параметрів вибираються конструктором або технологом з можливістю надати вихідній величині параметру до 10% номінального розміру в обидва напрямки. Але у більше третини випадків відповідне розподілення відбувається в праву сторону. Загальна кількість параметрів може бути і більша двох. В цьому випадку використовується багатовимірні матриці. Тоді обчислення та пошук необхідного результату в цьому виконується на ЕОМ з можливістю пошуку в програмованому режимі. В цьому випадку формула (5) матиме вигляд

$$S_{i1, i2, \dots, in} = P(a1_{i1}, a2_{i2}, \dots, an_{in}) - M(a1_{i1}, a2_{i2}, \dots, an_{in}) \quad (10)$$

при кількості параметрів n . Всім параметрам необхідно мати однакову кількість можливих величин [5].

Пошук параметрів можливий не лише при знаходженні параметрів виробу, що являє собою деталь, вузол, або цілий механізм, а і при проектуванні та організації технологічного процесу. Пошук параметрів виконується аналогічним чином в залежності від типу статично часового або динамічно кількісного прибутку. В результаті цього отримуємо проект найбільш прибуткового виробництва.

Важливим елементом у виконанні подібних досліджень є визначення всіх вагомих змінних, котрі будуть включенні в рівняння (5) і (10). Вибір цих змінних можливий при впливі на кінцевий результат від 0.1-5% в залежності від собівартості, вартості експлуатації та можливого прибутку від виробництва в заданих умовах. Зокрема умови, в яких буде використовуватись виріб теж можуть бути змінними, що вводяться в кінцеве рівняння. Прикладом таких змінних можуть бути температура робочого середовища або вологість повітря. Вони в цілому впливають на продуктивність або на якісні показники [6-7].

ВИСНОВОК

На сьогодні часто виробництво на підприємствах зводиться до вирішення задачі забезпечення необхідних якісних вимог до виробу, зводячи функцію прибутку на маркетинг, а не на реальну продуктивність. Наведена методика вибору визначення оптимального набору параметрів, припускає наявність оптимумів серед множини набору параметрів. Таким чином можна встановити найбільш ефективний варіант проекту виробу або системи виробництва в економічних реаліях. Ефективність виробу або проекту визначається відносно прибутку, яку він може надати.

Основна задача наданої методики є знаходження оптимальних параметрів, які описують проект і можуть змінюватися відносно заданого проекту. Оптимальний набір параметрів спрямований на вирішення дилеми «ціна-якість».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Шкельов, Л. Т. та ін. Опір матеріалів: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Л. Т. Шкельов, А. М. Станкевич, Д. В. Пошивач. — К.: ЗАТ "Віпол", 2011. — 456 с.
- [2] 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
- [3] Волошко О.В. Підвищення якості розв'язання задач технологічної підготовки виробництва / Вислоух С.П. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2016.- 141-142с
- [4] Ю.Д. Амиров Технологичность конструкции изделия: Справочник/Ю.Д.Амиров и др. Подобщ. ред. Ю.Д.Амирова – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
- [5] Літ.: Бройдо В. Д. Достоверность экономической информации в АСУ. Ленинград, 1984; Информатизация: понятийный словарь терминов и аббревиатур. Д., 2006
- [6] Бойчик І.М Економіка підприємства: підручник. / І.М.Бойчик. – К.: Кондор - Видавництво, 2016. – 378 с.
- [7] Економіка підприємства : Навч. посіб. / Н. М. Бондар, В. Є. Во ротін, О. А. Гаєвський та ін.; За заг. ред. А. В. Калини. — К. : МАУП, 2006. — 352 с.

Науковий керівник – асистент Волошко О.В.

УДК 621.865.8 (004.896)

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРАМИ

Анотація. В роботі розглянуто систему керування, якою оснащені всі маніпулятори, в яких переміщення рухомих ланок здійснюються за допомогою різних немеханічних приводів. Такі системи у сучасному маніпуляторі складаються з різних підсистем, що виконують певні керуючі, інформаційні, обмежувальні, захисно-попереджувальні та інші функції.

Ключові слова: управління, робот, траєкторія, простір, маніпулятор.

ВСТУП

На перший погляд задача керування маніпуляторами розв'язується достатньо просто. Так найбільш розповсюджені маніпулятори для завантаження оснащені спеціальними програматорами, які дозволяють задавати послідовність його руху у визначених позиціях. Це досягається завдяки використанню мікро контролерів та спеціальних мов програмування. Тобто можна в системі керування маніпулятором безпосередньо програмувати його рух у робочому просторі, а не рух кожного окремого елемента.

Як правило маніпулятори не створюють для виконання конкретної технологічної операції, навіть у тих випадках, коли вид операції відомий, оскільки необхідно обирати траєкторію руху, можливість орієнтації виробів у просторі, закони руху у просторі тощо. В деяких випадках можуть пред'являтися вимоги до сили затиску, швидкості та прискорення руху маніпулятора. Крім того всі характеристики маніпулятора, нерівномірно розташовані у його робочому просторі, так витягнута рука маніпулятора втримає меншу вагу, ніж зігнута. В зв'язку з цим виникає ряд задач (планування положення, руху, сил та моментів, аналіз динамічної точності тощо), які можна вирішити вибором положення та орієнтації маніпулятора у просторі, оснащенням його додатковими ступенями рухомості, й найголовніше, розробленням системи керування маніпулятором.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

Для розроблення системи керування маніпулятором, необхідно розглянути функціональний опис робототехнічної системи в цілому. Робототехнічна система показана на рисунку 1, містить базовий елемент – маніпулятор, який має декілька ступенів рухомості, та призначений для переміщення об'єктів в робочому просторі [1]. Рух маніпулятора забезпечується за допомогою приводів (двигунів) різного типу, які виконують у вигляді модулю, що містить механізми передачі руху, датчики зворотного зв'язку, сигнали з яких оброблюються мікропроцесорами або аналоговими пристроями.

Виконавча система утворюється за рахунок багатокomпонентного сигналу, який поступає з пристрою керування роботою технічною системою, що на виході перетворюється на механічний рух маніпулятора.

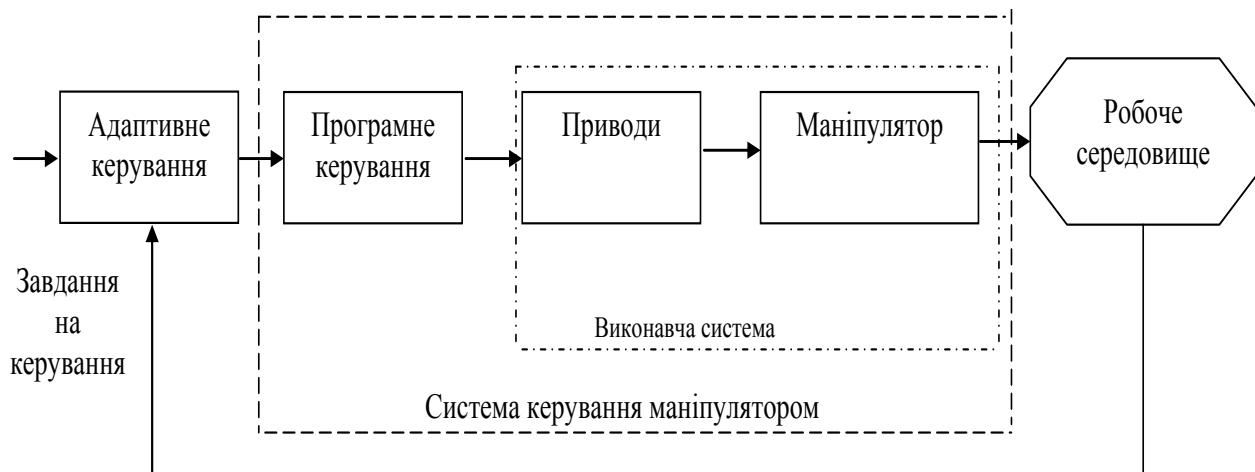


Рис. 1. Функціональна схема робототехнічної системи

Система управління маніпулятором, як правило, може мати кілька рівнів, кожен з яких обслуговується як власною мікропроцесорною системою, або загальною системою керування[2]. Так, на рівні приводу забезпечується управління двигуном, що здійснює рух однієї або декількох ступенів рухливості.

На наступному рівні системи управління маніпулятором за допомогою центрального процесора організовується координувана робота приводів маніпулятора. При цьому вхідною інформацією є траєкторія, тобто послідовність положень захватного пристрою маніпулятора або пов'язаного з ним об'єкта. Дана послідовність перетворюється в керуючі сигнали приводів та записується в пам'ять пристрою керування в вигляді програми роботи приводів, тобто створюється система програмного керування. Послідовність руху маніпулятора можна задати двома способами: безпосереднього завдання від оператора, або за допомогою систем інтелектуального керування.

Планування руху маніпулятора залежить від робочого середовища, тобто пристрій керування повинен спланувати рух таким чином, що би з заданого початкового положення забезпечити досягнення цілі маніпулятором, з врахуванням умов, які накладаються на його переміщення.

Якщо при виконанні технологічної операції необхідно виділити контур предмету або розпізнати об'єкт за характерними ознаками, то в системах керування маніпуляторами, для корекції траєкторії руху, використовують системи технічного зору, тобто утворюється додатковий контур керування, зовнішній по відношенню до маніпулятору [3]. Даний контур системи керування забезпечує її пристосованість до зміни умов роботи. Систему керування маніпулятором з зовнішнім контуром відносять до адаптивних систем.

В системі керування маніпулятором реалізують різні спеціальні алгоритми керування, призначення яких визначається умовами роботи маніпулятора, операціями технологічного процесу тощо [4].

В захоплюючих пристроях часто потрібно силове управління разом з просторовим. Робочий орган пристрою впливає на об'єкти оточуючого середовища [5]. Це може використовуватися за таких технологічних операцій, як: зачистка, шліфування, полірування поверхонь, механічне складання тощо. Для силового управління робочий орган має бути забезпечений сенсорним

виміром векторів сили, що встановлюються, зазвичай, тільки перед робочим органом - як приклад, тензOMETрування. Програмне управління сили як величини полягає у зміні функції від переміщення або, частіше, у підтримці постійного значення. Можливий інший - протилежний варіант керування переміщенням у функції від сили дії, яка розвивається, на саме середовище.

Щоб маніпулятор захопив деталь, у якої вже відомі координати та орієнтація, необхідно, щоб захват робота знаходився, безпосередньо, біля деталі. Якщо обмежень немає, найшвидше буде сполучення початкового та кінцевого положення захвату з рівновеликою зміною орієнтації. Одразу, як захват розмістився над деталлю, маніпулятор його стискає і опускає до тих пір, доки датчик наявності деталі в захваті не спрацює [6]. Як тільки лунає його сигнал - захоплювальний пристрій закриває захват. Наступною дією виконується розрахунок траєкторії переміщення деталі у задану потрібну точку робочої зони пристрою.

ВИСНОВОК

Системи управління маніпуляторами тільки на перший погляд здаються простими за рахунок того, що вони оснащені спеціальними програматорами. Їх не створюють для виконання певного виду операції, але треба враховувати силу затиску, положення руки та рух у просторі - пристрій керування повинен спланувати рух таким чином, щоб від початкового положення була досягнута мета, поставлена перед маніпулятором, з врахуванням умов. Можуть бути використані системи технічного зору, безконтактного вимірювання та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.: ил. (Робототехника / Под. ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко).
- [2] Frank L.Lewis. Robot Manipulator Control Theory and Practice / Frank L.Lewis, Darren M.Dawson, Chaouki T.Abdallah. – New York, 2004. – 607 с. – (Marcel Dekker).
- [3] Greer, R. Advances in Control Systems for Construction Manipulators / Greer, R., Haas, C., Gibson, G.. – Austin, 2014. – 615 с. – (ISARC).
- [4] Силаев, А. А. Автоматизированная система управления роботом-манипулятором РМ-01 на базе программируемого логического контроллера CX9001 фирмы BECKHOFF / А. А. Силаев, А. С. Куликов. — Текст : непосредственный, электронный // Молодой ученый. — 2010. — № 4 (15). — С. 86-89.
- [5] Лисенко, С. М. Напрямки досліджень та розвитку комп'ютерної інженерії/ Лисенко, С. М. — К. : ХНУ, 2015. — 142 с.
- [6] Chia-Sung Liu. Mobile Robot Manipulator System Design for Localization and Mapping in Cluttered Environments / Chia-Sung Liu. – Ontario, 2018. – 107 с.

Наук. керівник – доцент, к.т.н. Філіпова М.В.

УДК 004.896

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО МАНІПУЛЯТОРА

Анотація. У цій роботі розглянуто етапи розробки лабораторного маніпулятора з механічним захватним пристроєм, який приводиться в дію окремими серводвигунами. Маніпулятори такого типу є досить затребуваними для навчання у робототехніці та можуть використовуватися для маніпулювання невеликими об'єктами.

Ключові слова: маніпулятор, робот, arduino , системи автоматизованого проектування.

ВСТУП

Робототехніка стає невід'ємною частиною світової економіки, інновації в області розробки та її застосування впливають на якість, як виробничих процесів, так й життя людини в цілому [1]. Застосування роботів в промисловості дозволяє виключити вплив людського фактору, підвищити точність виконання технологічних операцій, й тим самим покращити якість виробів. Роботи побудовані з різними структурами для виконання конкретного завдання, керовані комп'ютерним програмуванням, для створення різних рухів робота або траєкторій при маніпулюванні продуктами на конвеєрі.

При вивченні передових методик управління роботами, їх планування та взаємодію з людьми важливо бути обізнаним про доступні системи. Це дозволяє розробляти нові технології в контексті існуючих технологій, що дає можливість впроваджувати нові методи в існуючі роботизовано системи.

Можливості маніпуляторів з механічними захватами визначаються точністю руху та сили затиску, кількістю ступенів свободи руки, ступенем керованості захвата, датчиків, а також надійністю контролера. Вхідними даними для розроблення маніпуляторів є місце його роботи, прогнозовані траєкторії руху та зусилля затиску, а також струм та напруга двигуна або гідравлічний або пневматичний тиск [2]. Це допомагає визначати розмір маніпулятора, його структуру та обмеження, необхідні типи пристосувань для розроблення, як конструкції так й системи керування.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним із важливих компонентів гнучких виробничих систем є промислові роботи, адже вони спроможні виконувати у виробничому процесі основні та допоміжні технологічні операції та дозволяють підвищити продуктивність праці [3]. Ідея використання маніпуляторів для автоматизації звичайних виробничих процесів зумовила необхідність вирішення освітніх та навчальних аспектів робототехніки. У закладах вищої освіти, останнім часом, з'явилися дисципліни, що містять елементи робототехніки, механотроніки які стали їх невід'ємною частиною. Використання апаратно-програмних засобів у освітньому процесі зменшує розрив між теоретичними та практичними знаннями, а також підвищує рівень підготовки майбутніх фахівців до роботи в промисловому секторі. Так відкритий код на базі програмно-апаратних платформ (наприклад: Arduino, BeagleBone та RaspberryPi) надає можливість створювати власні альтернативні

недорогі робототехнічні пристрої, реалізовувати створені алгоритми керування, які можуть використовуватися при навчанні [4].

ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО МАНІПУЛЯТОРУ

Розроблення лабораторного маніпулятора містить наступні етапи - це дослідження структури, конструкція та моделювання маніпулятора, вибір компонентів, розроблення системи управління.

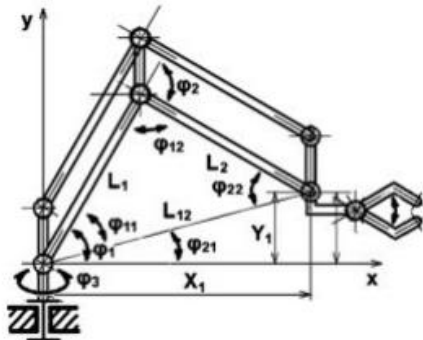


Рисунок 1. Структурна схема маніпулятора.

Оскільки, поставлене завдання - це створення лабораторного маніпулятора з механічним захватом, то спочатку було розглянуто можливі типи та конструкції маніпуляторів. На основі цього вибрано структурну схему, зображену на рисунку 1, яка визначає основні функціональні частини робота, їх взаємозв'язки та призначення. На представленій схемі маніпулятор має два «суглоба», що здатні працювати тільки в одній площині. Рух «суглобів» відбувається шляхом повороту окремих ланок на кути φ_1 та φ_2 . Переміщення у тривимірному просторі здійснюється за рахунок обертання механічної руки на кут φ_3 відносно осі у.

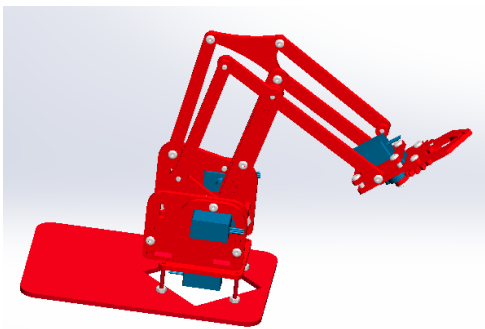


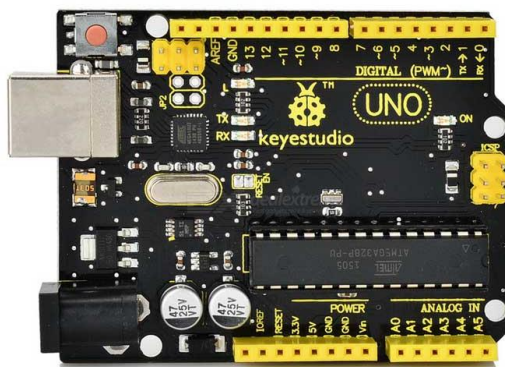
Рисунок 2. 3-D модель маніпулятора.

Для створення 3D-моделі лабораторного маніпулятора (рис. 2.) використано програмний комплекс САПР для автоматизації промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва SolidWorks (Dassault Systemes (Франція)). Даний комплекс дозволяє створити анімацію руху моделі, що в свою чергу надає можливість проаналізувати та виправити недоліки ще на етапі моделювання.

Також на цьому етапі вже можна підібрати всі необхідні кріпильні елементи за допомогою вбудованої в SolidWorks бази стандартних виробів. Всі механічні елементи, окрім кріпильних, моделі лабораторного маніпулятора були роздруковані на 3D-принтері.

Наступним, та одним із головних етапів є вибір компонентів, які будуть приводити маніпулятор у дію. Для розроблюваного маніпулятора було вирішено використовувати такі елементи, як міні сервоприводи MG90S (рис. 3, б), мікроконтролерна плата ArduinoUno R3 (рис. 3, а) та модуль драйверу керування серводвигунами на платі TB6612FNG (рис.3, в). Мікроконтролерна плата Arduino з'єднується з персональним комп'ютером за допомогою USB-кабелю, що надає можливість швидкого програмування плати. Сервопривід містить в собі кілька електронних і механічних елементів: звичайний мініатюрний щітковий двигун, що знижує швидкість та збільшує крутний момент редуктора, датчик положення вала редуктора у вигляді змінного резистора (потенціометра), й крихітної плати з мікросхемою-контролером. Обраний сервопривід має наступні

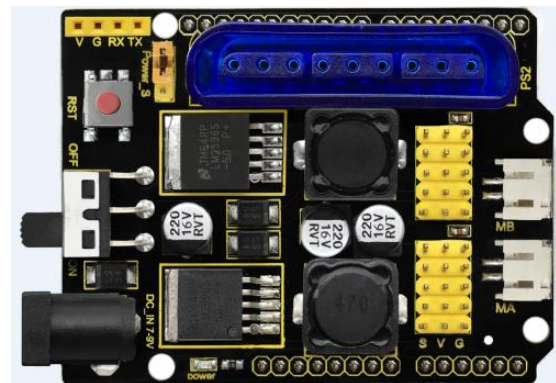
характеристики: розмір 22x12x28мм, живлення 4.8-7.2В, кут повороту 180 °, швидкість повороту 0.1сек / 60 ° - 0.08сек / 60 ° [5]. Модуль контролю серводвигунами має інтерфейс підключення джойстика, що є необхідним для керування маніпулятором. Одним із головних етапів є вибір компонентів, які будуть приводити маніпулятор у дію. Для розроблюваного робота було вирішено використовувати такі елементи, як серводвигуни Ks0194, плата Arduino Uno R3 та модуль контролю серводвигунів ТВ6612FNG (рис.3). Мікроконтролерна плата Arduino з'єднується з персональним комп'ютером за допомогою USB-кабелю, що надає можливість швидкого програмування плати. Діапазон кута повороту серводвигуна знаходиться в межах 0-180 градусів, чого цілком достатньо для лабораторного маніпулятора [5]. Модуль контролю серводвигунами має інтерфейс підключення джойстика, що є необхідним для керування маніпулятором.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Компоненти управління маніпулятора:

а) плата ArduinoUnoR3; б) сервопривід MG90S в) модуль драйверу керування серводвигунами на платі ТВ6612FNG

Система управління розроблюваного робота складається з програми для плати Arduino, написаної мовою програмування C++ у додатку ArduinoIDE, та невеликого джойстика, який підключається до модуля контролю серводвигунів. Програма є досить легкою, адже вона складається із функцій, за допомогою яких виконується зв'язок між серводвигунами та джойстиком управління.

Після завершення всіх етапів розробки та складання маніпулятора (рис. 4) було проведено всі необхідні тестування для відлагодження програми керування.

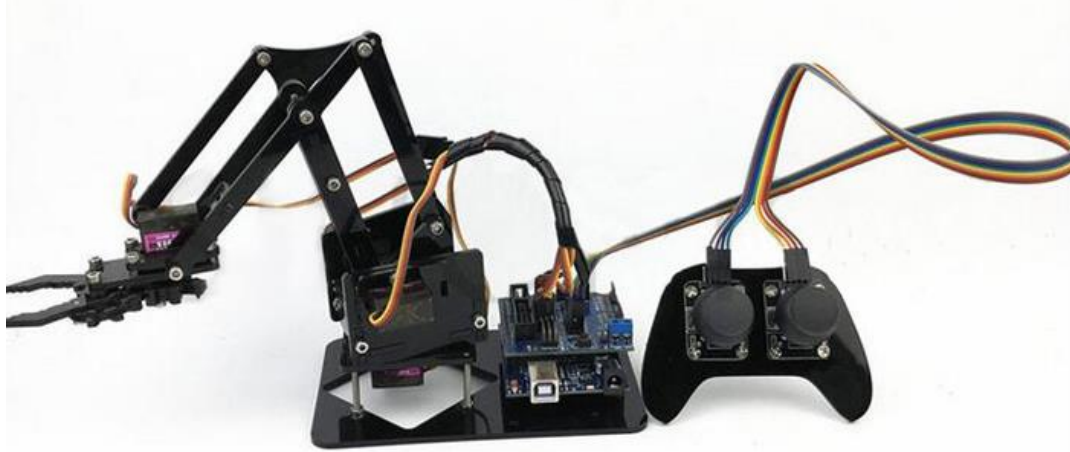


Рисунок 4. Загальний вигляд лабораторного маніпулятора з механічним захватом та модулем керування за допомогою джойстика.

ВИСНОВОК

Був створений простий в освоєнні, з широкими можливостями лабораторний комплекс. Запропонована модель «руки-маніпулятора» є гнучкою. Можлива модуляція необхідних конструкцій за рахунок зміни несучих параметрів, що дозволяє адаптувати маніпулятор для різного роду завдань, з якими можуть зіткнутися користувачі. В майбутньому планується додати управління за допомогою Bluetooth модуля та програми для телефону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник./ Я. І. Проць — Т: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. — 232 с.
- [2] Дудюк Д. Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси: Навч. посібник / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, М. М. Мисик. - Львів: "Магнолія плюс" СПД ФО В. М. Піча, 2005. - 278 с.
- [3] Kim, H.J., Tanaka, Y., Kawamura, A., Kawamura, S. and Nishioka, Y., 2015, August. Development of an inflatable robotic arm system controlled by a joystick. In Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2015 24th IEEE International Symposium on (pp. 664-669). IEEE.
- [4] Siciliano, B., 2009. Robotics. London: Springer
- [5] Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин [Текст]: підручник / Я. Т. Кіницький. — К. :Наукова думка,2002. — 662 с. — ISBN 966-00-0740-X

Наук. керівник – доцент, к.т.н. Філіпова М.В.

УДК 004.94

Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЛЬ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В «РОЗУМНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

Анотація. В статті розглядається питання використання імітаційного моделювання у «розумному виробництві». Розглядається роль імітаційного моделювання у контексті впровадження «розумного виробництва», його можливості та інструменти.

Ключові слова: імітаційне моделювання, «розумне виробництво», виробничий процес, аналіз виробництва.

ВСТУП

Виробничий процес є складною системою, що характеризується великою кількістю параметрів, залежності, якими вона описується процес, є нелінійними. Ця система має якісно різні стани, її безперервні процеси перериваються дискретними переходами. Об'єкт виробничого процесу зазнає значних змін з часом. Крім того, система визначається імовірнісною поведінкою і зворотними зв'язками. Така система, перед запуском нового виробництва, вимагає аналізу та оцінки майбутньої її роботи [1].

Проводити експерименти з використанням реальної моделі процесу виробництва не вигідно тому, що його модель занадто вартісна, а створення його прототипу вимагає значних коштів та тривалого часу. Імітаційне моделювання виробничого процесу дозволяє виконати його аналіз та оцінку всіх ризиків [2].

Моделювання передбачає створення моделі об'єкта та подальше її дослідження з метою визначити поведінку системи, перевірити, як вона поводитиметься при певних умовах, порівнювати різні сценарії і оптимізувати її. Після знаходження оптимального варіанта вирішення системи (процесу, явища) її можна запускати в виробництво. Моделювання дозволяє аналізувати не тільки конкретний процес, а й систему виробництва в цілому, що дає можливість перевірити капіталомісткість тієї чи іншої стратегії управління. Проведення експериментів з використанням моделі позбавляє від необхідності проведення експериментів в реальному житті і не заважає роботі виробництва [3].

«Розумне виробництво» – це таке виробництво, що оснащено високоточним обладнанням, верстатами з ЧПК, роботизованими комплексами, датчиками, сенсорами, автоматизованими системами управління технологічними процесами та системами оперативного управління виробничими процесами на рівні цеху, які дозволяють провести швидко та гнучко переналагодження обладнання. Такий підхід дозволяє підвищити продуктивність, екологічність, енергоефективність виробництва та підняти методи такого виробництва на новий рівень.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Імітаційне моделювання виробничих систем представляються такими характеристиками [4]:

– компактне і наочне (анімаційне) подання інформації про стан і поведінку складної системи будь-якого виду для швидкого аналізу ситуації і прийняття рішень. Функціонування складних виробничих систем може бути представлено

у вигляді наочної та реалістичної картини зміни стану елементів системи та зв'язків між ними;

– керівник може одним поглядом охопити і оцінити інформацію, для аналізу якої в традиційній формі (в вигляді таблиць і графіків) потрібні великі витрати сил і часу. Можна виконати аналіз різних сценаріїв розвитку подій і пошук найкращих рішень, включаючи рішення оптимізаційних задач, для функціонування складних технологічних і процесів будь-якого виду. Завдання сценаріїв і перегляд результатів може виконуватися через Інтернет;

– підтримка координованості та знаходження узгоджених рішень між територіально розподіленими керівниками пов'язаних між собою структур підприємства. Керівники можуть формулювати свої пропозиції у вигляді сценаріїв для моделі, що імітує їх пов'язану систему виробництв, і колективно програвати наслідки від сукупності пропонованих ними дій. Сама модель може бути встановлена в Інтернеті і відкрита як для перегляду результатів її роботи, так і для зміни вхідних даних строго за встановленими правилами;

– порівняння реальних процесів з їх модельним еталоном з метою виявлення причин і джерел порушення нормального функціонування систем. Висока точність модельного відтворення роботи технологічних, організаційних або змішаних систем, яка можлива в сучасному імітаційному моделюванні, дозволяє керівникам відтворювати на моделі ситуації, що прояснюють, які внутрішні та зовнішні чинники насправді привели до порушення нормального функціонування системи;

– анімовані презентації з реалістичним й наочним поданням складних ситуацій і процесів, включаючи можливість програвання різних сценаріїв поведінки демонструють об'єкта в процесі його презентації.

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В «РОЗУМНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

Складна комп'ютерна імітаційна модель такого об'єкту як виробничий процес наочно демонструє функціонування великих та складних організаційних систем, яке практично неможливо уявити традиційними способами. Складний організаційний механізм постає тут у вигляді реалістичної картини зміни стану елементів системи і зв'язків між ними. Керівник подібного процесу може за допомогою моделі проаналізувати фактичні та можливі причини виникнення поломок в обладнанні і імітувати доступні йому варіанти поліпшення ситуації.

При цьому можливий аналіз різних сценаріїв розвитку подій і пошук найкращих рішень (включаючи рішення оптимізаційних задач). Така модель може бути корисним інформаційно-довідковим ресурсом для тих, хто планує запуск подібного виробництва. Тут модель регулярно актуалізується на основі одержуваних від нього реальних даних (зайнятість робочих, довжина черги деталей на конвеєрі та ін.) [5].

За допомогою такої моделі керівник процесу може отримувати прогноз часу очікування деталей в черзі, оцінки загального часу, необхідної їм схеми обслуговування і т.п.

«Розумне виробництво» вимагає широкого залучення комп'ютерних систем, які будуть спрямовані на створення ідеального, наскільки дозволять засоби реалізації виробництва, виробничого процесу. Імітаційна модель такого процесу розкриває різноманітну інформацію про процес та його складові. Таке моделювання задовольняє вимоги «розумного виробництва» про використання сучасних комп'ютерних систем та виконує головне завдання – підвищення ефективності та продуктивності.

ВИСНОВКИ

Методичні та інструментальні досягнення останніх років в комп'ютерному імітаційному моделюванні створюють можливості для опису і вивчення складних виробничих систем без необхідності їх істотного спрощення.

Таким чином навіть найскладніша система з використання імітаційного моделювання може бути проаналізована та «розібрана» на дрібні частини для оцінки впливу кожної з них на процес. «Розумне виробництво» в повному обсязі цього поняття не повністю реалізоване, через різноманітні чинники [6].

При меті реалізації такого виробництва імітаційне моделювання є важливою завершальною частиною, за результатами роботи якої робиться висновок про доцільність впровадження даного виробничого процесу.

Імітаційне моделювання може адаптувати до «розумного виробництва» вже існуючі виробничі процеси шляхом реалізації змін та аналізу функціонування виробничого процесу, враховуючи можливі варіанти його вдосконалення та ризиків, що з цим пов'язані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Програмні пакети для імітаційного моделювання. [Електронний ресурс]. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/172.htm.
- [2] Преимущества и недостатки имитационного моделирования в экономических исследованиях. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=34161>.
- [3] Сорочинський, Д. Д. Підвищення якості приладобудівного виробництва засобами імітаційного моделювання / Д. Д. Сорочинський, С. П. Вислоух // XV Всеукр. науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна: збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ.
- [4] Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем. — Режим доступа: [www.URL:http://simulation.su/uploads/files/default/parinov.pdf](http://simulation.su/uploads/files/default/parinov.pdf).
- [5] Роль и задачи имитационного моделирования на этапе перехода от цифрового производства к «умными фабрикам». — Режим доступа: [www.URL:http://simulation.su/uploads/files/default/2017-immod-219-227.pdf](http://simulation.su/uploads/files/default/2017-immod-219-227.pdf).
- [6] Умное производство. — Режим доступа: [www.URL:https://scienceforum.ru/2018/article/2018004664](https://scienceforum.ru/2018/article/2018004664). [0]

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

УДК 621.865.8 (004.896)

О.В. Третьак, студентка гр. ПБ-61

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИВОДУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

Анотація. Розглянуто чотири типи приводів: всеспрямований, диференційний, синхронний та трицикл. Послідовно показано їх схеми та описано процес роботи кожного. Зроблено висновок, чому краще обрати один із запропонованих з обґрунтуванням незручностей, які можуть виникнути на підприємстві – розміри машини, яка буде встановлена на привід, територія, яку при русі займатиме пристрій

Ключові слова: всеспрямований привід, диференційний привід, синхронний привід, трицикл, привід

ВСТУП

Розвиток промислового виробництва у приладобудуванні, мікроелектроніці та інших галузях обумовлює необхідність більш глибокої автоматизації технологічних процесів, оскільки пред'являються високі вимоги до точності та безвідмовності виробів. При цьому велике різноманіття деталей та виробів, які виготовляються, обумовлює необхідність пристосування автоматики, що використовується, в тому числі промислових роботів та роботизованих платформ, до нових вимог. Так, одним з напрямків автоматизації виробництва, що невпинно розвиваються, є використання роботизованих платформ як для складських робіт, так й для виробничих задач.

ВИДИ ПРИВОДІВ

Практично будь яка сучасна роботизована платформа складається з приводів, які перетворюють електричну енергію у механічну, та відповідно призводять до руху механізми платформи. Вибір того чи іншого приводу обумовлений багатьма критеріями, такими як функціональне призначення, технологічні вимоги, особливості виробництва та умови експлуатації, а також вартістю, складністю обслуговування, наявністю комплектуючих тощо.

Розглянемо види приводів, які використовуються в сучасних роботизованих платформах.

Механічні приводи зі швидкістю, яку можна регулювати, мабуть, були першим типом приводу. Працюють вони за принципом шківів зі змінним кроком. Також використовують приводи постійного струму, що обертаються. Двигун змінного струму з постійною швидкістю змушує генератор постійного струму виробляти енергію постійного струму. Кількість вироблюваної генератором потужності залежить від магнітної сили збудника поля генератора. Використовується і сервопривід як вид механічного приводу з автоматичною корекцією стану через внутрішньо негативний зворотний зв'язок, відповідно до заданих параметрів. Частіше використовуються види приводів, наведені нижче.

Диференційний привід складається з двоколісної системи з незалежними приводами для кожного колеса. Назва походить від того факту, що вектор руху роботи є сумою незалежних рухів колеса, що також вірно для механічного диференціала[1] (проте, ця система приводу не використовує механічний диференціал). Приводні колеса зазвичай розташовуються на кожній стороні робота і у напрямку до передньої частини:

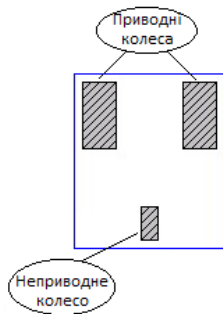


Рисунок 1. Схема диференційного приводу



Рисунок 2. Непривідне колесо у вигляді штативу і ролика

На наведеній вище схемі великі сірі заштриховані прямокутники є провідними колесами. Маленький сірий заштрихований прямокутник являє собою непривідне колесо, яке утворює опорну конструкцію у вигляді штатива для корпусу робота. Часто непривідне колесо являє собою коліщатко-ролик (рис.2), невелике поворотне колесо, яке використовується для офісних меблів[2].

Нажаль, коліщата викликатимуть проблеми, якщо робот змінюватиме напрям. Потім, коли колесо повинно повернутися на 180° і в процесі цього поворотний механізм зсуву може надати роботу небажаному вектору руху. Це може призвести до головної поступальної помилки. Альтернативою колесу є закріплена куля, яка не використовується у поворотному механізмі. Прямолінійний рух досягається обертанням ведучих коліс з однаковою швидкістю в одному напрямку. Поворот на місті здійснюється шляхом повороту ведучих коліс з однаковою швидкістю у протилежних напрямках. Довільні шляхи переміщення можуть бути реалізовані шляхом динамічних змін кутової швидкості та/або напрямку ведучих коліс.

В мобільній платформі з синхронним типом приводу (рис.3) всі колеса приводяться в рух з однаковою швидкістю. Вони обертаються одночасно і завжди паралельні одне одному.

Система синхронного привода являє собою дворухову трьох- або чотирьохколісну конфігурацію приводу, в якій один двигун повертає всі колеса, щоб викликати рух, а інший повертає всі колеса, щоб змінити напрям.

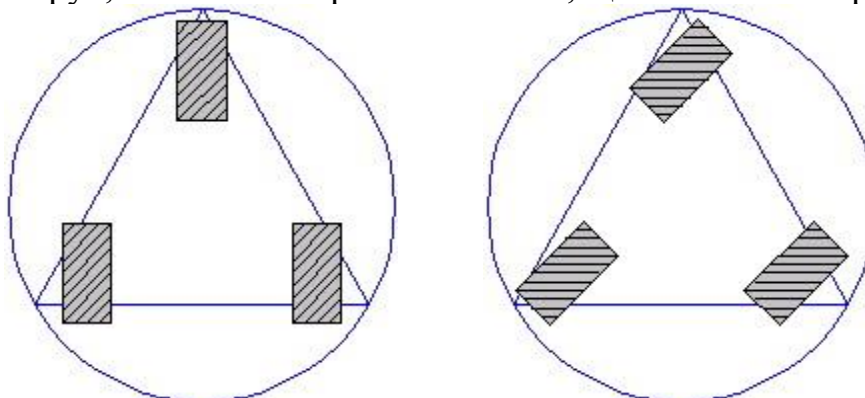


Рисунок 3. Схема синхронного приводу

Зліва показані колеса у положенні 0° – у цьому положенні робот рухатиметься прямо. Справа показано, що колеса повернуті на 45° . Використання окремих двигунів для переміщення і обертання колеса гарантує

прямолінійне переміщення, коли двигун обертання не приводиться в дію. Ця механічна гарантія руху прямою є великою перевагою в порівнянні з методом диференціального приводу, коли два двигуна повинні динамічно управлятися для отримання руху прямою. Довільні траєкторії руху можуть бути виконані шляхом одночасного включення обох двигунів. Вирівнювання коліс має вирішальне значення в цій системі приводу – якщо всі колеса не паралельні, робот не рухатиметься прямою лінією.

Роботизована платформа з приводом трицикл, зображена на рис. 4, має два мотори: один для руху, інший для рulinня. Тільки переднє колесо може повертати. Задні колеса надають руху роботу.

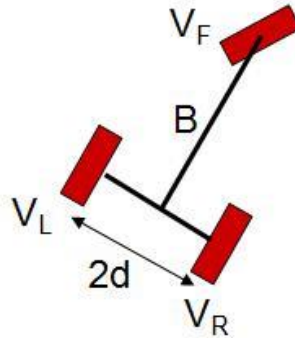


Рисунок 4. Схема приводу трициклу

Всеспрямований привід (рис.4) може рухатися у всіх напрямках від початкової точки. Такі роботи мають спеціальні колеса, до яких кріпляться коліщата у вигляді малих бочок перпендикулярно до основної осі обертання, які дозволяють їм домогтися цього[4].

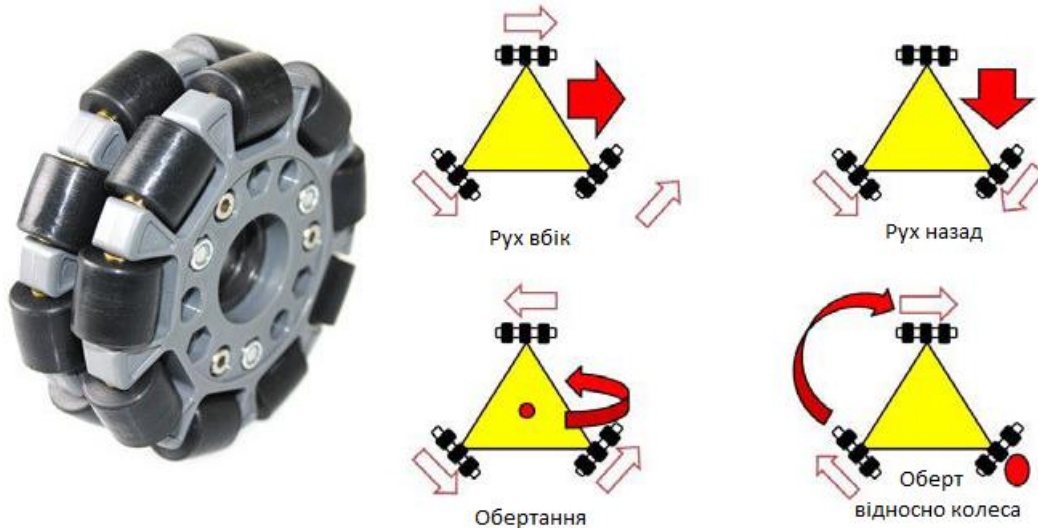


Рисунок 5. Конфігурація пересувань всеспрямованого приводу

Колісна конфігурація мобільного робота визначає характер його пересування. При виборі певного типу приводу для робота необхідно враховувати наступні моменти:

- швидкість або прискорення руху;
- точність позиціонування (повторюваність);
- гнучкість і робастність (надійність) при різних умовах;
- ефективність (низьке енергоспоживання).

Вибір завжди залежить від поверхні, якою буде рухатися робот. Поперечні ролики з м'якого пластику або поліуретану більше підходять для застосування на твердих і гладких поверхнях, наприклад, склі або керамічній плитці. Тверді поперечні ролики краще використовувати для м'яких поверхонь, наприклад, килимів або картону. Ще однією відмінністю різноспрямованих коліс є кількість використовуваних поперечних роликів.

ВИСНОВКИ

З одного боку, здається, що всеспрямований привід буде рішенням для будь-якої задачі. Однак, щоб вибрати його для платформи, необхідно врахувати вищезазначені деталі. Використання трициклу також не буде зручним – повертати може тільки переднє колесо, ведучі задні колеса повинні будуть робити більше коло, можливо, де для цього не вистачатиме місця. Синхронний привід можна обрати, коли на виробництві, де працюватиме роботизована платформа, буде мало місця для розвороту та достатня кількість поворотів, що незручно виконуватиметься іншими типами приводів. Диференційний привід є найоптимальнішим рішенням для виробництва. Поворот здійснюватиметься ведучими колесами, що одночасно обертатимуться у різні сторони – фактично на місці. Його конструкція нескладна, ККД досягає майже 100% та може знайти застосування в усіх галузях промисловості, де є потреба в отриманні безступінчастих змінних крутних моментів і швидкостей обертання вихідних валів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Конрад Райф Традиционные и гибридные приводы / Конрад Райф. – К.: За рулем, 2014. – 434 с.
- [2] В. В. Длоугий Приводы машин: Справочник / В. В. Длоугий, Т. И. Муха, А. П. Цупиков, Б. В. Януш; Под общ. ред. В. В. Длоугого. – 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 383 с.
- [3] Наземцев А.С. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы. Основы. Учебное пособие / А.С. Наземцев, Д.Е. Рыбальченко. – М.: ФОРУМ, 2007 – 304 с.
- [4] A new omnidirectional track drive system for off-road vehicles / Rafael Mortensen Ernits, Nils Hoppe, Ivan Kuznetsov, Claudio Uriarte, Michael Freitag // XXII International conference on "Material handling, constructions and logistics", October 2017, Serbia, Belgrade

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

УДК 681.518.5

О.В. Третьак, студентка гр. ПБ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДАТЧИКИ ВІДСТАНИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В РОБОТОТЕХНИЦІ

Анотація. У даній статті розглянуто різні типи дистанційних датчиків, їх переваги та недоліки, доцільність застосування на підприємствах. Необхідно зрозуміти, як датчики взаємодіють з навколишнім середовищем – отримують з нього інформацію, обробляють її. У висновках є обґрунтування вибору кожного згаданого датчика.

Ключові слова: дистанційні датчики, датчики дистанції.

ВСТУП

Ми, люди, з легкістю можемо відчувати запахи, смаки, бачити перепону на шляху та уникнути її. Про те, штучно створені об'єкти без нейронів мозку – складно створеної програми – не можуть опанувати такі відчуття. Найскладніше роботи відрізняють те, що пов'язано зі смаком або запахом. В першу чергу вони застосовують різноманітні електромеханічні датчики, щоб дослідити і зрозуміти навколишнє середовище для себе.

Відтворити органи чуття живої істоти – дуже складне завдання. Тому розробники роботів намагаються зробити альтернативу біологічним відчуттям. За допомогою камер роботи мають змогу "бачити", але без запрограмованої функції розпізнавання їм складно зрозуміти, що вони бачать. Адже отримав мільйони пікселів не буде зрозуміло, що кожен з них значить.

Існують декілька видів датчиків: контактні, дистанційні, датчики позиціонування, датчики, що реагують на умови оточуючого середовища, ті, що використовують обертання тощо. Які краще використовувати на підприємстві для роботів розглянемо нижче.

ВИДИ ДИСТАНЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ

Дистанційні датчики використовуються для визначення відстані від початкової точки розташування роботу до точки розташування об'єкту. Одним з типів таких дистанційних датчиків є ультразвукові (рис. 1). Вони використовують ультразвукові сигнали для вимірювання проміжку часу між відправкою сигналу та його відлунням [1]. Робота ультразвукових датчиків заснована на принципі сонару, тобто датчик відправляє пучок ультразвуку та отримує його відбиття з затримкою, й таким чином визначає наявність об'єкту та відстань до нього.



Рисунок 1. Ультразвуковий датчик

Ці датчики, в деякому розумінні є універсальним способом вирішення багатьох задач автоматизації технологічних процесів. Головним недоліком ультразвукових датчиків є їх використання для об'єктів, які поглинають звук.

Ультразвукові далекоміри (рис. 2) вимірюють діапазон відстаней, але частіше використовуються в повітрі та залежать від того, як різні матеріали відображають ультразвук. Тож, ними можна виміряти середній діапазон у декілька метрів.

Також у далекомірах може використовуватися інфрачервоний діапазон для вимірювання відстані, який є достатньо надійним і точним. Деякі інфрачервоні датчики вимірюють одну конкретну відстань, інші забезпечують вихідний сигнал, що пропорційний відстані до об'єкту. На противагу ультразвуку, у них більш широкий діапазон, але коштують вони дешевше.

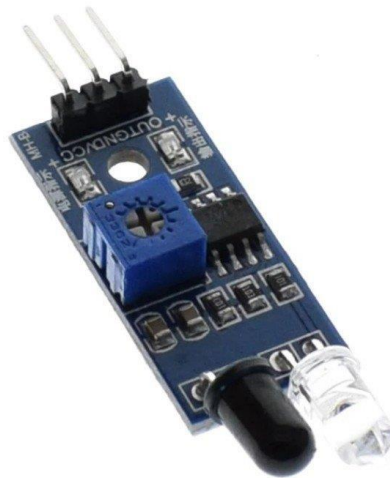


Рисунок 2. Інфрачервоний датчик

Лазери використовуються, коли потребується висока точність і/або існує велика відстань від об'єкта. Скануючі лазерні далекоміри (рис. 3) використовують спін-лазери (тобто, ультрашвидкі) для двовимірного сканування відстані до об'єктів. Але вони набагато дорожчі, ніж інфрачервоні та ультразвукові.



Рисунок 3. Лазерний далекомір

Існує й такий вид датчиків відстані як енкодери (рис. 4). Оптичні енкодери часто використовують пару світлодіод-фотодіод. На валу встановлено диск з отворами, через які сигнал зі світлодіода потрапляє на фотодіод і таким чином зчитується кількість імпульсів [2]. Певна кількість отворів відповідає повному куту, пройденого колесом. Знаючи радіус колеса, можна визначити загальну відстань, пройдену цим колесом. Два енкодери дають відносну відстань в двох вимірах. Якщо немає ковзання, то за допомогою них досягається висока точність вимірювання. Часто енкодери встановлюються на задній вал двигуна для виміру кута повороту. Недоліком є те, що цей пристрій потребує додаткового програмування, більш точні оптичні енкодери можуть дорого коштувати. Використовуються найчастіше у сервоприводах та комп'ютерних мишах.

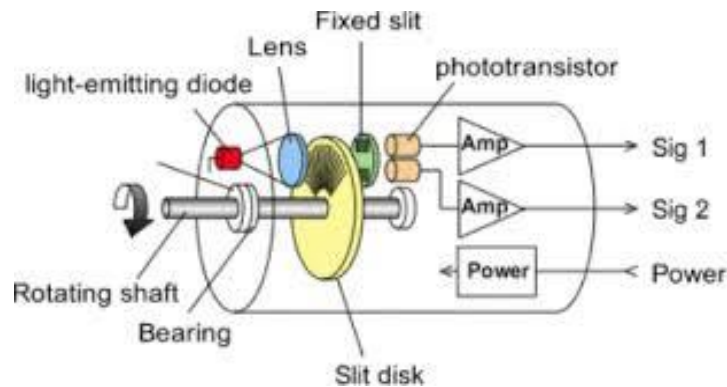


Рисунок 4. Схема енкодера

Також, як один з типів датчиків відстані можна розглянути стереокамеру (рис. 5). Як і людські очі, дві камери, розташовані на відстані одна від одної, можуть надавати інформацію про глибину (стереобачення). Роботи, оснащені камерами, можуть бути одними з найбільш здібних і складних роботів. Камера, в поєднанні з правильним програмним забезпеченням, може забезпечити гарне розпізнавання кольору і об'єктів, тим самим надати докладну інформацію і хороший зворотній зв'язок. Побічним ефектом є складність в програмуванні та у використанні інформації.

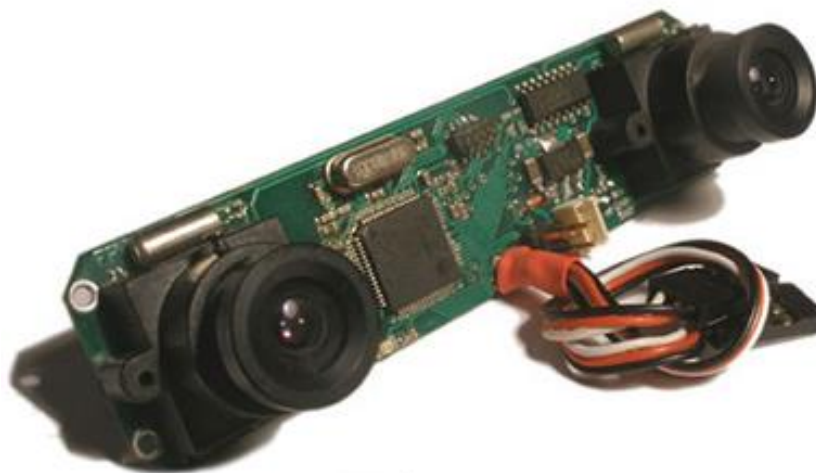


Рисунок 5. Стереокамера

ВИСНОВКИ

Отже, з усіх розглянутих варіантів одразу відразу виключаємо енкодери через високу вартість та складне додаткове програмування, тим більш в оптичних енкодерах. Якщо у виробництві важливими є колір, незвичні нерівності, особливі вигини, то доречно буде застосувати стереокамеру. Однак, якщо вищезгадані характеристики не такі важливі, то такий дистанційний датчик обійдеться дорого. Лазерні вимірювачі доцільно буде використати на контрольному етапі виробництва, для точності центрування вузлів [3], коли дуже важливі геометричні характеристики.

За ціною політикою, вигідніше буде використати ультразвукові та інфрачервоні датчики. Останні охоплюють більший діапазон, але є надійними і точними. Їх можна використати для об'єктів, що рухаються з метою запобігання зіткненню з перепорою на шляху. При використанні ультразвукових дистанційних вимірювачів слід пам'ятати, що на показання впливають поверхні та фактори оточуючого середовища. Через здатність робити заміри на малих відстанях, їх можна використати для зупинки пристрою, де вони використовуються. Наприклад, платформу, яка доставила деталі до конвеєрної лінії або мусить їх звідти забрати, «паркуємо» на відстані 0 – 150 мм від потрібного місця, вписавши відповідний програмний код у контролер, на якому розміщений датчик. Це допоможе уникнути зіткнення з іншою поверхнею та вбереже від пошкодження приладдя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Sensors 3, Ultrasonic Sensors, Edition 2002 (Part. No. 21882 06/02). — Mannheim: Pepperl+Fuchs, 2002.
- [2] Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е издание, переработанное и дополненное.- Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение., 1988.- 304с.: ил.
- [3] Крылов К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 336 с.

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

УДК 681.625.8

*Е.Я. Чонка, магістрант гр. ПБ 81мп, Новаковський О.Г., аспірант
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОСОБЛИВОСТІ НЕПЛАНАРНОГО МЕТОДУ 3D ДРУКУ ПОВЕРХОНЬ

Анотація. В статті розглядаються питання виготовлення деталей шляхом 3D друку. Наведено аналіз реалізації процесу 3D друку методами пошарового наплавлення FDM (Fused Deposition Method) і FFF (Fused Filament Fabrication) отримання прототипів. Показано шляхи вибору ефективної системи переміщення друкуючої головки процесу непланарного методу 3D друку з метою підвищення характеристик якості отриманих деталей.

Ключові слова: 3D друк, непланарне пошарове наплавлення, ступінчастий ефект, контактні поверхні, друкуючі головки.

ВСТУП

У сучасному приладо та машинобудуванні все більш широкого застосування знаходять адитивні технології, технології швидкого прототипування, що складається з великої кількості методів виготовлення [1].

Впровадження адитивних технологій в сучасне виробництво дозволяють отримувати вироби практично будь-якої складності і конфігурації та знайшли широке застосування в приладо- та машинобудуванні, в авіаційній і ракетно-космічній галузях.

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 діючі технології 3D-друку часто не відповідають вимогам до точності виробів в приладо- та машинобудуванні. Це є наслідком недостатнього наукового забезпечення технологій швидкого прототипування, відсутність інформації про методи управління точністю деталей. Не виявлені основні закономірності зміни технологічних параметрів процесу друку і їх зв'язок з параметрами точності виробів, відсутні дані про вплив технологічних параметрів процесу на показники якості поверхні виробів, виготовлених адитивними технологіями [2].

У зв'язку з цим, вивчення зазначених аспектів проблеми підвищення ефективності технологій 3D-друку є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є аналіз сучасних методів пошарового наплавлення виробів складної геометричної поверхні

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОШАРОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Методи пошарового наплавлення FDM (Fused Deposition Method) – метод плавненого осадження або FFF (Fused Filament Fabrication) – метод виготовлення плавненою ниткою у індустрії адитивного виробництва, є найбільш поширеними внаслідок простоти внесення модифікацій в обладнання, невисокої вартості, широкому спектру витратних матеріалів і можливості швидкого навчання [3].

В той же час друк даним методом виробів зі складною геометричною поверхнею має суттєвий недолік, – виникає так називає «ступінчастий ефект», при цьому, чим менший кут нахилу поверхні, тим більшим буде цей ефект (Рис. 1).

Крім проблеми з точки зору естетики, "ефект ступіней" також негативно впливає на механічні властивості виробів, такі як аеродинаміка, опір перпендикулярним навантаженням тощо.

Для усунення подібного явища, можна зменшувати висоту вертикального шару, але такий прихід експоненціально впливає на час друку. Тому пропонується інший підхід, який також представляється одним з перспективних напрямків розвитку FDM друку в цілому, це так званий непланарний 3D друк [4].

На відміну від стандартного планарного підходу, при якому виробництво деталей відбувається шар за шаром, непланарний підхід здатний відійти від ступінчастого ефекту на поверхнях, близьких до горизонтальних, шляхом друку цих областей, суцільними непланарними шарами (Рис. 2).

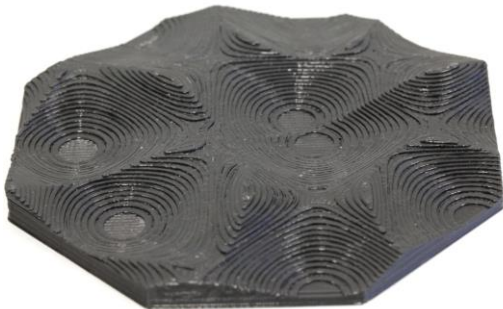


Рис. 1. Виріб з яскраво вираженим "ступінчастим ефектом"



Рис. 2: Виріб з поверхнею зі складною геометрією отриманою непланарним методом.

На жаль запропонований у 2008 році даний метод тривимірного друкування до цього часу не отримав широкого поширення через деякі складності [5].

При використанні друку даним методом необхідно враховувати як геометрію самого виробу, так і друкуючої головки (і безпосередньо сопла) 3D принтера уникаючи можливих колізій (Рис. 3).

Більш того, в даний момент відсутній уніфікований метод розрахунку непланарних поверхонь отриманих 3D друком.

Прийнята схема обмежень Ultimaker (Рис. 3 а) враховує всю друкуючу головку з дозволеним кутом у 8° та максимальною висотою занурення $h_{\max} = 50$ мм, або враховує лише сопло з кутом 45° та максимальною висотою занурення $h_{\max} = 7,5$ мм [4].

Залежно від обраної конфігурації можна друкувати або великі поверхні з малим кутом до 8° , або невеликі поверхні з великим кутом до 45° (Рис. 3 б).

Деталі друковані з використанням непланарного методу FDM є більш жорсткішими, ніж їх повністю планарні аналоги, оскільки різна орієнтація контактних поверхонь між шарами призводить до рівномірного опору на розтяг.

Планарні друковані деталі FDM, менш стійкі до напружень на розрив по осі в напрямку їх побудови, що може призвести до розшарування контактних поверхонь.

Непланарні шари, що перемежуються між собою, розподіляють зусилля на розрив на сили розтягування та зсуву, що призводить до підвищення міцності друкованих деталей методом FDM [6].

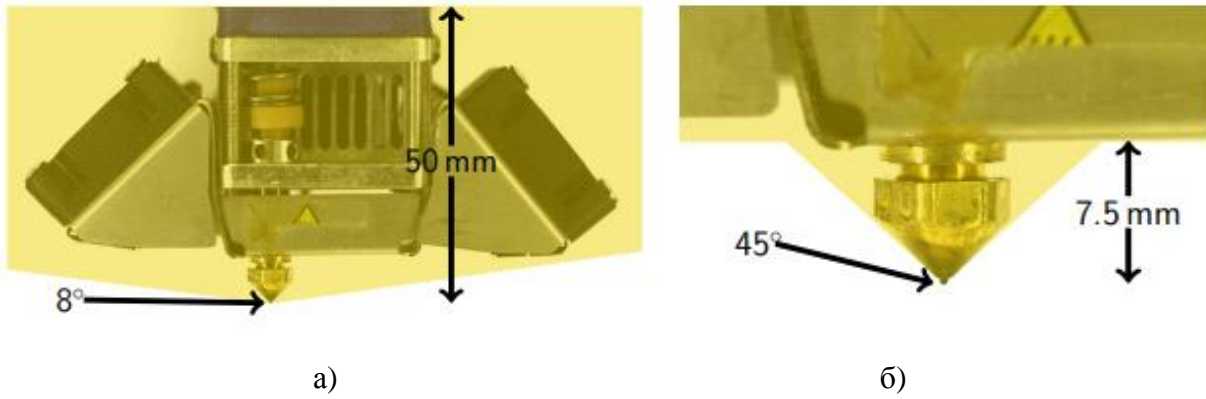


Рис. 3: Схема обмежень при переміщенні друкуючої головки з дозволим кутом 8° та висотою занурення $h_{\max} = 50$ мм (а), також сопла головки з кутом 45° та $h_{\max} = 7,5$ мм (б).

На рисунку 4 показана схема розподілу зусиль на розрив між контактними шарами, n де для планарного друку методом FDM сила розриву F_A між шарами відповідає величині компоненті сили розтягу F_T , тобто $F_T = F_A$, а компонента зсуву $F_S=0$ (Рис. 4 а)

Для непланарного друку методом FDM, при наявності кута нахилу друкуючої головки відбувається зменшення сили розтягу $F_T < F_A$, при цьому для невеликих кутів нахилу сопла друкуючої головки компонента F_T перевищує дотичну компоненту F_S . тобто $F_T > F_S$ (Рис. 4 б), а зі збільшенням кута нахилу сопла друкуючої головки до 45° відбувається перерозподіл і збільшується компонента зсуву $F_T < F_S$ (Рис. 4 в).

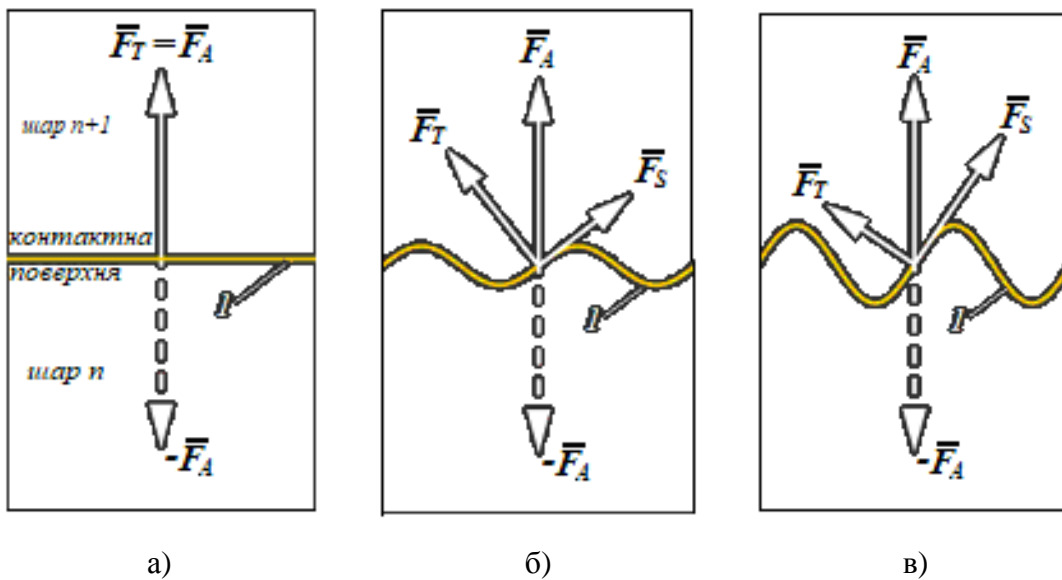


Рис. 4. Схема розподілу зусиль між шарами контактних поверхонь на розрив: планарний FDM при $F_T = F_A$; $F_S=0$ (а); непланарний FDM при $F_T < F_A$; $F_T > F_S$ (б) і непланарний FDM при $F_T < F_A$; $F_T < F_S$ (в).

Як правило, непланарний 3D-друк необхідно виконувати за допомогою подовженого сопла, оскільки плаский зріз форсунки має тенденцію занурюватися в попередньо надрукований шар і може застрягнути в розплавленому матеріалі [7].

Подовжене сопло дозволяє відтворювати більш круті кути друку, хоча завжди необхідно переконуватись, що при цьому ніякі інші частини сопла або друкуючої головки не заважають, особливо це відноситься до кріплення вентиляторів, які схильні стикатися з друкованою деталлю.

На рисунку 5 показана схема формування контактної поверхні форсункою з плоскою насадкою (тип E3Dv6) і з точковою насадкою (тип Мерлін): насадка перпендикулярна до контактної поверхні (Рис. 5 а); нахилена під кутом $> 22,5^\circ$ (Рис. 5 б), а також під кутом 45° (Рис.5 в).

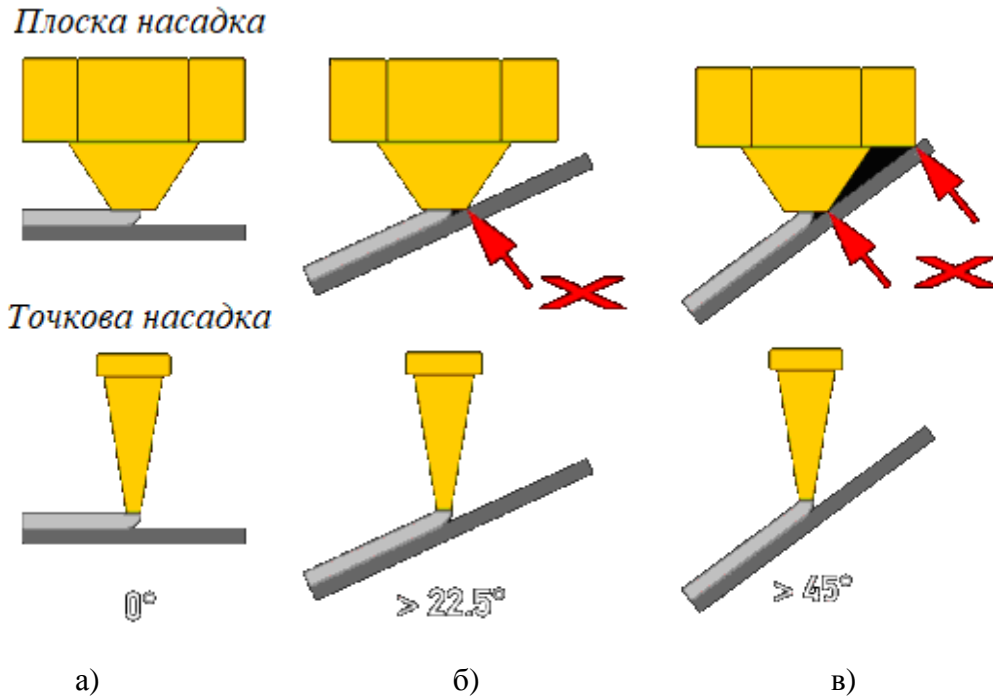


Рис. 5. Схема формування контактної поверхні форсункою з плоскою насадкою і з точковою: при кут нахилу 0° (а); під кутом $> 22,5^\circ$ (б) та під кутом $> 45^\circ$ (в).

При друкуванні виробів часто використовують комбінований метод коли частина виробу під непланарною областю роздруковують традиційним пошаровим методом. Такий підхід дозволяє не тільки позбутися "ступінчастого ефекту", а також отримувати вироби, найбільш близькі за механічними властивостями до прогнозованих моделей.

ВИСНОВОК

Найбільш поширений метод адитивного виробництва – пошарового наплавлення внаслідок друку виробів зі складною геометричною поверхнею має суттєвий недолік, процесі формування виробів виникає, так званий, «ступінчастий ефект».

Для усунення подібного явища пропонується використовувати непланарний 3D друк методом FDM за допомогою подовженого сопла. Такий підхід дозволяє не тільки позбутися "ступінчастого ефекту", а також отримувати вироби, найбільш близькі за механічними властивостями до прогнозованих моделей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Чонка, Е. Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, В. С. Антонюк // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 197–200. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31651>
- [2] Новаковский А.Г., Антонюк В.С. Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству // Республиканский межотраслевой производственно практический журнал. -Минск –No 3(72) –2016.–С. 11 –12
- [3] P. Gupta, C.A. Duarte and A. Dhankhar Accuracy and Robustness of Stress Intensity Factor Extraction Methods for the Generalized/eXtended Finite Element Method // Engineering Fracture Mechanics, march 2017. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2017.03.035
- [4] Daniel Ahlers, Florens Wasserfall, Norman Hendrich and Jianwei Zhang Daniel Ahlers 3D Printing of Nonplanar Layers for Smooth Surface Generation // University of Hamburg. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.34888.26881
- [5] P. M. Bhatt, R. K. Malhan, A. V. Shembekar, Y. J. Yoon, and S.K. Gupta. Expanding capabilities of additive manufacturing through use of robotics: A survey. // Additive Manufacturing. 31:100933, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100933>
- [6] Ben Ezair, Thesis Seminar Advanced Geometric Methods in Machining and Additive Manufacturing, // Technion. Tel-Aviv 2019. <http://www.cs.technion.ac.il/events/2019/3238/>
- [7] Moritz Walter 3D Printering: Non-Planar Layer FDM // July 27, 2016.

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

УДК 681.625.8

В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ПРОТОТИПІВ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D ДРУКУ

Анотація. В статті розглядаються питання виготовлення деталей шляхом 3D друку. Наведено етапи реалізації процесу отримання прототипів. Вказано важливість вибору ефективної системи отримання 3D моделі. Поставлена задача проведення досліджень впливу режимів процесу 3D друку на характеристики якості отриманих деталей.

Ключові слова: 3D друк, етапи процесу друкування, системи моделювання, параметри якості деталей.

ВСТУП

На сьогодні прогресивні технології дозволяють досить швидко і просто виготовляти прототипи деталей та механізмів. Цьому сприяють сучасні засоби моделювання та системи технічної й конструкторської документації. Для виконання проектів та інших професійних робіт доцільно користуватися комплексом доступних технологічних і програмних засобів, що полегшують та пришвидшують виконання цих робіт. Для виготовлення прототипів найбільш популярною є технологія 3D друку. Свою популярність цей метод виготовлення деталей отримав через простоту використання, відносну дешевизну й універсальність, а також можливість його використання в багатьох сферах науки і техніки.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Послідовність процесу виготовлення деталей 3D друку завжди зводиться до наступних кроків: отримання завдання або синтезція власної ідеї; конкретизація цієї ідеї та розробка варіантів реалізації; виготовлення математичної моделі або інший варіант її опису; розробка прототипу; дослідження характеристик математичної моделі прототипу і визначення його слабких місць; внесення правок до конструкції або до принципу роботи прототипу; вибір оптимального варіанту реалізації ідеї та виготовлення прототипу; дослідження основних характеристик прототипу і визначення потенційних слабких місць; за умови, що обраний прототип задовольняє дослідника або замовника за своїми характеристиками і параметрами – розроблення технології виготовлення та впровадження проекту, інакше доопрацювання та перехід до відповідного попереднього пункту. Тому важливими є питання дослідження етапів 3D друкування від розробки прототипу до його виготовлення в приладо- та машинобудуванні.

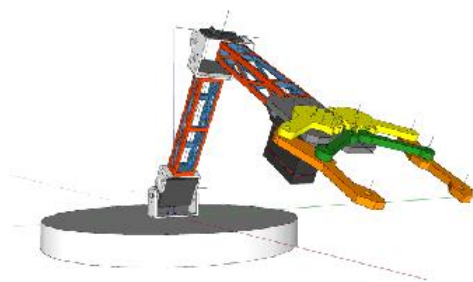


Рис. 1. 3D модель прототипу.

Під прототипом зазвичай розуміють об'єкт що за своїми характеристиками або методом роботи повністю або частково повторює принцип роботи всього механізму або окремої його частини. Таким чином можна виділити декілька видів прототипів: зменшена копія об'єкту в масштабі, що повторює принцип його

роботи (наприклад мініатюрний механічний захват, що зображений на рисунку 1); структурний прототип, що імітує принцип роботи механізму або його частини; чистовий прототип, що зібраний та готовий до використання і конструктивно близький до завершення або завершений об'єкт, який повторює спроектовані розміри, й готовий до польових випробувань.

При виконанні будь-якої наукової або проектної роботи, що пов'язана з моделюванням та подальшим виготовленням прототипу та його дослідженням, одним з найбільш трудомістких та складних етапів є розробка та продумування концепту. Тут перед дослідником постає задача отримання максимально простої деталі або механізму, що виконує поставлену перед нею функцію. Зважаючи на досвід наших попередників можна бачити, що саме цей процес займає левову частку часу від всієї роботи, адже в більшості випадків перевірити основні параметри моделі і виявити непомітні на папері недоліки можливо лише після виготовлення прототипу. Наприклад, дослідження руху деталей у складних механізмах вимагало проведення титанічної роботи. На щастя в реаліях сьогодення, завдяки комп'ютеризації та розповсюдження відносно простого в використанні програмного забезпечення типу САПР, можна досить легко виготовити 3D модель всіх деталей обраного механізму та досить просто виконати дослідження його руху. До такої можна віднести системи SolidWorks та CREOParameetric, набір функцій яких найбільш широко покриває потреби проектувальника. Такий підхід ще на етапі проектування дозволяє визначити недоліки механізму і в короткі строки внести корективи в його креслення. Після цього обирають метод виготовлення прототипу. Сучасні технології 3Dдруку дозволяють швидко, просто, а головне дешево, виготовити складні за конфігурацією деталі (наприклад, косозубі шестерні, черв'ячні вали) з використанням лише одного верстата. При цьому одночасно можна виготовити декілька різних за конфігурацією деталей, або ж взагалі весь механізм, якщо він малих розмірів.

Після виготовлення прототипу необхідно перевірити його характеристики. Для оцінки виконання виготовленою конструкцією поставлених перед нею задач або необхідності усунення недоліків й відповідного покращення використовують різні методи. Проте в більшості випадків обмежуються вимірюванням критичних параметрів механізму та збиранням статистичної інформації про його роботу. Також на цьому етапі можна переглянути та видозмінити конструкцію механізму відносно найбільш невдалих його складових.

Наступним етапом є вибір оптимального варіанту виготовлення виробу. Зазвичай такий вибір є досить складним, адже необхідно виконати аналіз всіх варіантів виготовлення та придбання складових частин приладу або механізму й обрати найбільш дешеві та водночас найбільш якісні варіанти. Також на прототипі можна відпрацювати виготовлення певних складових частин та їх складання для отримання готового механізму.

Для використання в навчальних дослідженнях найбільш доцільно використовувати систему SolidWorks, тому що дана система є простою в опануванні і в більшості випадків інтуїтивно зрозумілою. До її переваг в

порівнянні з аналогами можна віднести можливість експортувати спроектовані деталі в форматі STL, використовуючи при цьому високий ступінь дискретизації. Це позитивно впливає на якість виготовлених деталей з отриманої моделі. За допомогою цієї системи можна розробити 3Dмоделі складових механізму, зібрати їх й виконати дослідження взаємодії та рух цих деталей. Для навчального проектування реалізація прототипу є досить важливим кроком, котрий вимагає добрих вмінь по роботі з різними матеріалами і, відповідно, виготовлення складових частин механізму. Проте, не завжди навички проектувальника дозволяють це зробити, а виготовлення деталей на замовлення займає багато часу і коштів. В більшості випадків, якщо говорити про симуляцію механізму, його можна зібрати в масштабі, та в декілька раз зменшити навантаження на його проблемні точки. В такому випадку найбільш доцільно виготовити деталі прототипу на 3D принтері [2].

Сьогодні технологія 3D друку дозволяє досить швидко і просто виготовити деталі будь-якої конфігурації. За умови відносно низької вартості матеріалів такий спосіб виготовлення є оптимальним для навчальних робіт. В основному недоліки 3D друку пов'язані з неправильним вибором температурних режимів роботи або налаштувань слайсера. Часто для забезпечення правильної роботи механізму або його прототипу важливим є отримання необхідних значень шорсткості поверхонь [3]. З врахуванням принципу 3D друку шорсткість отриманих деталей в різних напрямках вимірювання буде відрізнятися. На рисунку 2 показана структура надрукованої поверхні, а на рисунку 3 – профілограма поверхні.

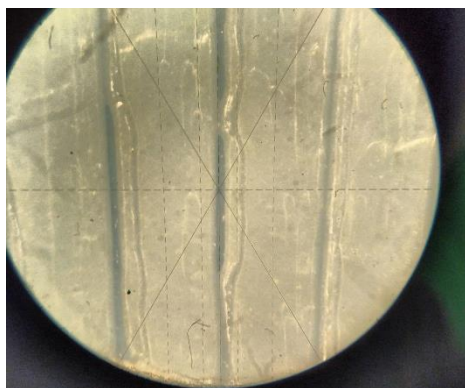


Рис. 2. Структура поверхні що отримана 3Ддруком.

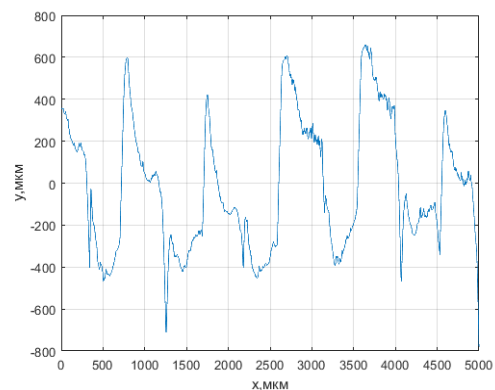


Рис. 3. Профіль поверхні,що отримана 3Ддруком.

Проведені дослідження показали, що найбільше на шорсткість отриманих поверхонь впливає швидкість друку деталі. Це можна пояснити тим, що виплавлена пластикова нитка залишається достатньо розігрітою для до моменту наступного проходу принтера.

Для прототипів виконаних 3D друком важливим етапом отримання якісної деталі є визначення і виправлення недоліків друку шляхом пост оброблення. Це дозволяє виправити основні недоліки поверхонь і допомагає при складанні механізму. Перед складанням виробу доцільно виконати перевірку отриманих

складових виробу, а саме їх розмірних характеристик, шорсткості робочих поверхонь перед заключним складанням прототипу. При складанні прототипів або механізмів малих розмірів слід враховувати крихкість матеріалу, не допускаючи надмірних зусиль при складанні. Перед виконання з'єднання типу «отвір-вал» при перехідних посадках рекомендується оброблювати з'єднувані поверхні наждаком середнього або дрібного зерна. Це полегшує процес їх з'єднання й зменшує можливе пошкодження з'єднаних деталей. При проектуванні таких деталей і підготовки їх до друку необхідно враховувати коефіцієнт усадки використовуваного пластику й виконати відповідні корегування креслень [1].

ВИСНОВКИ

Прототипування дозволяє за короткий час виконати симулювання процесу роботи механізму, виявити суттєві його недоліки, й виправити їх за відносно короткий час. В цьому суттєво допомагає можливість швидко й дешево виготовити прототип, що значно пришвидшує процес роботи над проектом. Цьому сприяють сучасні технології математичного 3D моделювання і 3D проектування, а також прогресивні технології виготовлення деталей в вигляді 3D друк та його різновидів. Важливим при цьому є проведення досліджень з метою визначення впливу параметрів процесу 3D друку на характеристики якості отриманих деталей

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Яригін В.А. Аналіз параметрів, що впливають на якість 3d друку / В.А Яригін., С.П. Вислоух // *Materials of the 20th International Scientific and Technical Seminar "Modern questions of production and repair in industry and in transport"*, March 23-29, 2020, Kosice, Tbilisi, Georgia. – С. 180-183.
- [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. Центр учбової літератури. – 2019. – С. 197-200.
- [3] Яригін В.А. Методологія покращення характеристик міцності деталі, що виготовлена методом 3D друку // В.А Яригін., С.П Вислоух.// *Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент»*, 6–9 листопада 2019 р. –Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка». – С. 209-213.

Секція 4.

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕОРІЯ І
ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ
ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ
ВЕЛИЧИН, МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ.
МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ВИМІРЮВАННЯ МАСИ**

УДК 621.317

В. Нічик, студент; Безвесільна О.М., д.т.н., професор, Нечай С.О., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЄМНІСНИЙ МЕМС ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Анотація. Розроблено новий двоканальний ємнісний МЕМС чутливий елемент автоматизованої системи стабілізації безпілотного літального апарату, в якому точність підвищується за рахунок використання двох каналів та за рахунок фільтрації основної завади - збурюючого вертикального прискорення носія. Збільшується у два рази потужність вихідного сигналу.

Ключові слова: прискорення сили тяжіння, автоматизований гравіметричний комплекс, двоканальний ємнісний чутливий елемент.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) - багатофункціональний літальний апарат із фіксованим крилом, що дозволяє виконати найскладніші завдання у будь-якому середовищі. БПЛА має такі переваги: надає можливість виконання наземних і морських операцій; має малий термін вводу в експлуатацію; має передові технології захисту від перешкод і шифрування; дозволяє здійснювати різні маневри; забезпечує повністю автоматичні зліт та посадку та ін.

До складу БПЛА входить одна (інколи п'ять) гіростабілізована платформа (ГСП) для виконання функції стабілізації чутливих елементів при проведенні розвідки або корекції артилерійського вогню (військова галузь), при проведенні розвідки корисних копалин (авіаційна гравіметрія). Останній напрямок є надзвичайно перспективним як для військової галузі (корекція інерціальних систем навігації рухомих об'єктів), так і в геології та геофізиці (розвідка корисних копалин та ін.). Ефективність виконання функцій БПЛА великим чином залежить від досконалості (зокрема, точності) чутливого елемента системи стабілізації БПЛА.

Автоматизована система стабілізації (СС) зображена на рис.1. [1] На ній встановлюється чутливий елемент (у нашому випадку це прилад для вимірювання прискорення сили тяжіння (ПСТ) або гравіметр). У подальшому будемо називати цей прилад двоканальний ємнісний МЕМС гравіметр (ДЕГ).

СС АГС забезпечує збіг вимірювальної осі ДЕГ із довідковою вертикаллю. ДЕГ встановлюється на горизонтальну стабілізовану платформу, яка складається з двох лінійних акселерометрів та спеціальних двигунів [1]. ГСП орієнтована у географічній системі координат. Осі чутливості акселерометрів спрямовані на північ та на схід. Їх вихідні сигнали f_y , f_x матимуть вигляд [2]:

$$f_x = -(2\dot{r}\dot{\varphi}_c + r\ddot{\varphi}_c) \cos \chi + (\ddot{r} - r\dot{\varphi}_c^2) \sin \chi - 2r\omega_3\dot{\lambda} \cos \varphi_c \sin \varphi - r\dot{\lambda} \cos \varphi_c \sin \varphi + \aleph g; \quad (1)$$

$$f_y = 2r\dot{\varphi}_3\omega_3 \sin \varphi_c + 2r\varphi_c\dot{\lambda} \sin \varphi_c - 2\dot{r}\dot{\lambda} \cos \varphi_c - r\ddot{\lambda} \cos \varphi_c - 2\dot{r}\omega_3 \cos \varphi_c - v g, \quad (2)$$

де \aleph – кут між нормаллями до еліпсоїда у меридіональному перерізі та у площині перерізу, перпендикулярного площині меридіана; v – кут між нормаллями до геоїда у меридіональному перерізі та у площині перерізу, перпендикулярного

площині меридіана; φ – географічна широта; φ_c – геоцентрична широта; χ – відхилення від вертикалі; λ – довгота місця.

Отримані сигнали надходять до блоку керування (БК), де формується керуючі сигнали для двигунів. Вони виставляють ГСП у нульове положення.

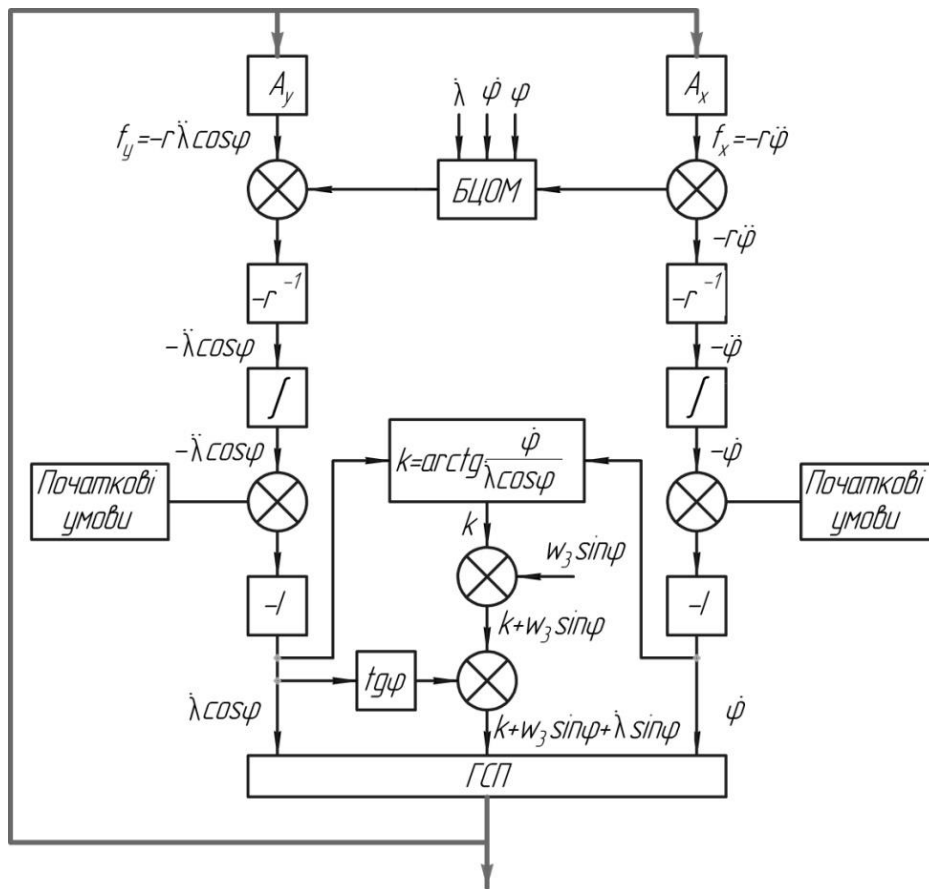


Рис. 1. Блок-схема системи стабілізації

Якщо ГСП виставлена абсолютно точно у положення вертикалі, то горизонтальні компоненти ПСТ дорівнюють нулю. Тоді, враховуючи $\mathcal{N} g = -v g = 0$, БК буде компенсувати такі складові:

$$f_x \Rightarrow 0 = 2r\omega_3 \dot{\lambda} \cos \varphi_c \sin \varphi - r\dot{\lambda} \cos \varphi_c \sin \varphi; \quad (3)$$

$$f_y \Rightarrow 0 = 2r\dot{\varphi}_3 \omega_3 \sin \varphi_c + 2r\varphi_c \dot{\lambda} \sin \varphi_c - 2\dot{r}\dot{\lambda} \cos \varphi_c - 2\dot{r}\omega_3 \cos \varphi_c. \quad (4)$$

Нехтуючи складовими другого порядку та прийнявши відхилення від вертикалі рівним нулю, будемо мати:

$$f_x = -r\ddot{\varphi}_c; \quad (5)$$

$$f_y = -2r\ddot{\lambda} \cos \varphi_c. \quad (6)$$

Після проведення певних математичних операцій (множення на $r-1$, інтегрування і зміни знаку) над сигналами f_y і f_x , на виході відповідних каналів отримаємо $\dot{\varphi}$ та $\dot{\lambda} \cos \varphi$ (рис. 1). Сигнал $\dot{\varphi}$ використовується для керування ГСП відносно осі, спрямованої на північ (x), а сигнал $\dot{\lambda} \cos \varphi$ - для керування відносно осі, спрямованої на схід (y).

Сучасні тенденції зменшення масогабаритних параметрів автоматизованих гравіметричних комплексів (АГК) пов'язані з необхідністю використання в якості носіїв малогабаритних літальних апаратів, зокрема БПЛА. Мікроелектромеханічні системи та технології (МЕМС) поєднують у собі мікроелектронні і мікромеханічні компоненти. У роботі використано чутливий елемент ГСП, що об'єднує електричні та механічні елементи у одну мікромініатюрну систему, має можливість обміну інформацією з іншими приладами та системами АГК через запрограмований комп'ютерний блок керування (БК). Цей прилад – двоканальний ємнісний МЕМС чутливий елемент або ДЄГ. Він має значні переваги перед іншими відомими чутливими елементами АГК [2]: забезпечує високу точність, мале енергоспоживання, малий розмір, функціональність (злагоджена єдина система) і нижчу вартість, ніж у подібних дискретних механічних схем. Компоненти МЕМС, як правило, мало сприйнятливі до зовнішніх агресивних впливів. Конструкції та особливості роботи ємнісних МЕМС акселерометрів, які можна використовувати в якості гравіметрів гравіметричних комплексів, детально описано в [1].

Принцип роботи полягає у тому, що ПСТ перетворюється у зміну зазору між пластинами, а далі – у зміну вихідної напруги. На кафедрі приладобудування КПІ ім. Сікорського розроблено та досліджено двоканальний ємнісний МЕМС гравіметр (ДЄГ) (рис.1.) [1].

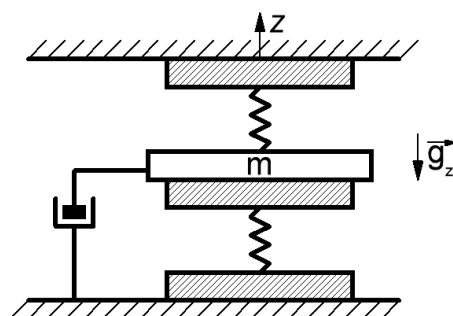


Рис.1. Принципова схема ДЄГ[1]

Чутливий елемент ДЄГ розміщений у герметичному корпусі і виконаний у вигляді верхньої та нижньої металевих обкладинок, розділених діелектриком. Верхня металева обкладка з'єднана з герметичним корпусом, а нижня — через ізолятори із пружною мембраною, до якої прикріплена сейсмична маса. Ці обкладки, розділені діелектриком, утворюють конденсатор зі змінним зазором δ та ємністю q . Під час дії ПСТ g_z на сейсмичну масу виникає сила тяжіння, яка зумовлює її рух [1]. Унаслідок такого руху пружна мембрана починає згинатися, чим змінює зазор δ між верхньою та нижньою металевими обкладинками, розділеними діелектриком, а отже, і ємність q , яка обернено пропорційна прискоренню g_z . Параметри чутливого елемента ДЄГ підібрані так, що частота його власних коливань дорівнює найбільшій частоті ПСТ, яка може бути виміряна на фоні завад. Тобто, чутливий елемент ДЄГ виконує також функції фільтра низьких частот.

Основні переваги ДЄГ: лінійність, малі габарити та вага, висока чутливість, стійкість показань, висока точність [1, 3].

Розглянемо коливальну систему одного ємнісного гравіметра (ЄГ), представлену на рис. 2, де позначено: конденсатор – С, інерційна маса (ІМ), коефіцієнт пружності k та демпфуючий елемент (ДЄ). У якості демпфуючого елемента виступає повітря, що створює опір рухові ІМ. Елемент жорсткості характеризується пружними властивостями ЄГ.

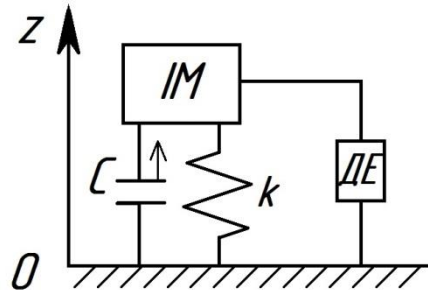


Рис. 2. Коливальна система ЄГ [1]

Запропонована схема є справедливою за наступних умов:

- рух ІМ розглядається в інерціальній системі відліку і відбувається лише в одному напрямку – вздовж осі 0-z, перпендикулярної площині встановлення ЄГ;
- опора, ІМ та інші складові ЄГ є недемпфованими;
- маса пружного елемента набагато менша за ІМ;
- у межах можливих коливань, сила пружності пропорційна деформації пружного елемента.

Під час руху ІМ на неї діють [1] інерційна сила від дії вертикального прискорення БПЛА (F_i), сила опору руху ІМ (F_{op}) та сила пружності (F_{np}):

$$F_i = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (7)$$

$$F_{op} = -n \frac{dx}{dt}, \quad (8)$$

$$F_{np} = -kx, \quad (9)$$

де n – коефіцієнт затухання;

k – коефіцієнт пружності пружного елемента;

x – зміщення ІМ ЄГ відносно положення рівноваги.

Відповідно із другим законом Ньютона, рух ІМ із прискоренням gz забезпечує сила:

$$G = mg_z, \quad (10)$$

де G – сила, яка діє на ІМ; m – величина ІМ.

Кінцеве рівняння руху ЄГ із врахуванням (7) – (10) матиме вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + kx = -mg_z. \quad (11)$$

Зважаючи на інерційність конструкції ЄГ, двома першими складовими у рівнянні (11) будемо нехтувати.

Отримаємо [1]:

$$kx = -mg_z. \quad (12)$$

Отже, рівняння руху одноканального ЄГ в умовах установки на Землі, буде:

$$g_z = -\frac{k}{m}x.$$

Вихідна напруга одноканального ЄГ u_1 буде пропорційна зміщенню ІМ x . Вихідний електричний сигнал одноканального ЄГ буде

$$u_1 = k(mg_z).$$

Для двоканального ємнісного гравіметра або ДЄГ на ємнісні елементи обох каналів діє прискорення сили тяжіння g_z . Для ДЄГ вихідні сигнали двох ЄГ будуть:

$$u_1 = k(mg_z); \quad (13)$$

$$u_2 = k(mg_z), \quad (14)$$

де u_1 – вихідний електричний сигнал ємнісного елементу ЄГ1 одного каналу, u_2 – вихідний електричний сигнал ємнісного елементу ЄГ2 другого каналу, m_i – інерційна маса у кожному каналі.

Вихідні електричні сигнали u_1 та u_2 ємнісних елементів обох каналів сумуються у суматорі, а залишкові похибки компенсуються (так як вони з різними знаками). Отже, додавши (13) та (14), матимемо:

$$u_\Sigma = u_1 + u_2 = 2kmg_z, \quad (15)$$

де u_Σ – вихідний сигнал підсилювача.

Тобто, з врахуванням (15) та (12) для ДЄГ рівняння руху в умовах установки на Землі, буде:

$$kx = -2mg_z. \quad (10)$$

Таким чином, у роботі показано, що, завдяки використанню двоканального ДЄГ, досягнуто посилення вихідного сигналу у 2 рази та підвищення точності шляхом скасування залишкових похибок оскільки вони будуть з різними знаками у виразі (15) [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [4] Безвесільна О. М. Двоканальний МЕМС гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи: монографія / Безвесільна О.М., Хильченко Т.В. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ДП НВЦ «Пріоритети», 2017. – 181 с.
- [5] Безвесільна О. М. Прецизійний приладовий навігаційний комплекс та його чутливі елементи. Монографія / Безвесільна О.М. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ДП НВЦ «Пріоритети», 2019. – 451 с.
- [6] Bezvesilna O. Introducing the principle of constructing an aviation gravimetric system with any type of gravimeter [Text] / O. Bezvesilna, A. Tkachuk, S. Nechai, L. Cheryuk, T. Khylychenko // Eastern-European journal of enterprise technologies 1/7 (85) 2017 P.-45-56.

Наук. керівник: д.т.н., проф. Безвесільна О.М.

УДК 551.46.07

Д.Р. Одайник, студент гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОМОРФНІ ЛІТАЮЧІ ДРОНИ

В даній роботі представлені існуючі біоморфні літаючі роботи (дрони), їх конструкція, технічні характеристики принцип руху. Розглянуті основні переваги та тенденції розвитку біоморфних роботів.

Ключові слова: Festo, робот, дрон, чайка, робот-бабка, пристрій, біоморфний.

ВСТУП

За півстоліття свого існування промислова робототехніка зробила великі успіхи. Але найдосконаліші руки, ноги і крила винайшли не люди, а природа. Тому замість створення роботів «з нуля» чи не варто просто скопіювати тварин?

BIONIC FLYING FOX [1]



Рисунок 1. Bionic Flying Fox

Німецька компанія Festo представила свою нову розробку - летючу лисицю BionicFlyingFox. Прототипом цього роботу стала особлива порода кажанів.

Загальна довжина пристрою становить 87 см, розмах крил - 228 см, загальна вага - 580 г. Крила зроблені з легкого, але дуже міцного, еластичного та зносостійкого матеріалу. Матеріал складається з 2 шарів водонепроникної плівки і 1 середнього шару тканини. Всі три шари скріплені спеціальним зварюванням в 45 точках кріплення. Завдяки багат шаровості, поява навіть мікротріщин на крилах робота практично виключена. Також важливо відзначити, що робот здатний літати і при пошкоджених крилах.

Крила BionicFlyingFox [1] складаються з двох площин, які оснащені окремими моторами і мають окремі центри керування, хоча і пов'язані механікою [5]. Встановлений в корпусі апарату більший і продуктивний двигун забезпечує основну тягу і подає махове зусилля на обидва крила (Рисунок 2).

Робот має власне джерело енергії та майже повністю автономний. Проте, керувати пристроєм може оператор за допомогою вбудованих в корпус камер. У систему також закладена технологія штучного інтелекту і функції самонавчання. Тобто будь-який маневр робот буде виконувати все краще з кожним наступним разом.

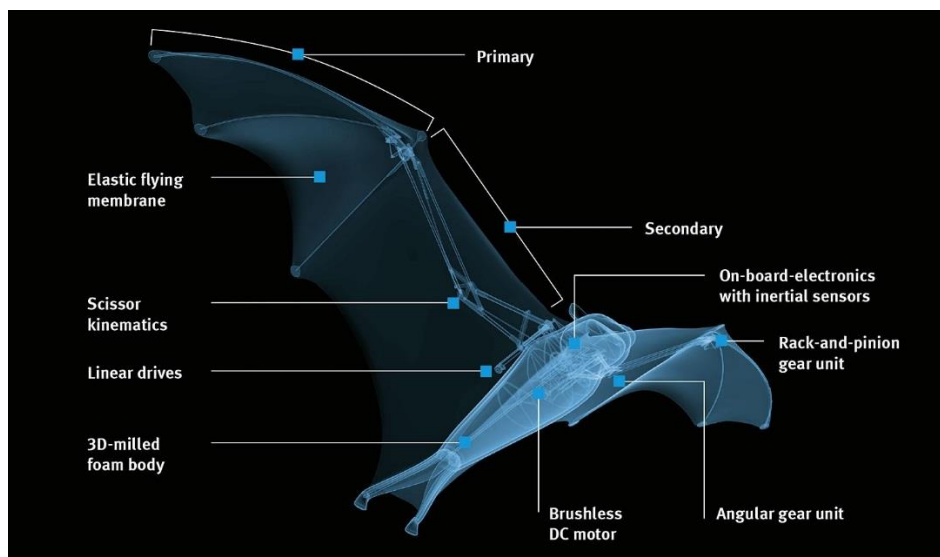


Рисунок 2. Конструкція Bionic Flying Fox

BIONICOPTER



Рисунок 3. Bionicopter

Для створення робота BionicOpter компанія Festo запозичила технічні характеристики польоту у бабки. Як і його біологічний побратим дрон може здійснювати маневри в усіх напрямках, зависати на місці і парити в повітрі, не махаючи крилами.

Кожне з чотирьох крил робота має корпус з вуглецевого волокна [3], покритий поліефірною мембраною, і може розгортатися до 90 градусів по горизонталі. Довжина робота від голови до хвоста становить 44 см. Загальна вага робота становить всього в 175 г. Корпус і механічні системи зроблені з алюмінію, поліаміду і потрійного сополімера (ABS).

В серці дрона знаходиться ARM мікроконтролер, який обчислює всі параметри, пов'язані з механічним регулюванням. Складні послідовності рухів обробляються програмним забезпеченням і електронікою, змушуючи оператора займатися тільки керуванням руху [5]. Модель працює від двох батарей LiPo і може віддалено керуватися за допомогою смартфона або цифрового передавача з частотою бездротового модуля в 2,4 ГГц.

Робот BionicOpter здатний маневрувати вгору і вниз, вперед і назад і в сторони. При пропущенні електричного струму через чотири "м'язи" робота, оператор може рухатися з одного боку в бік, а хвіст може рухатися вгору і вниз. (Рисунок 4) [5].

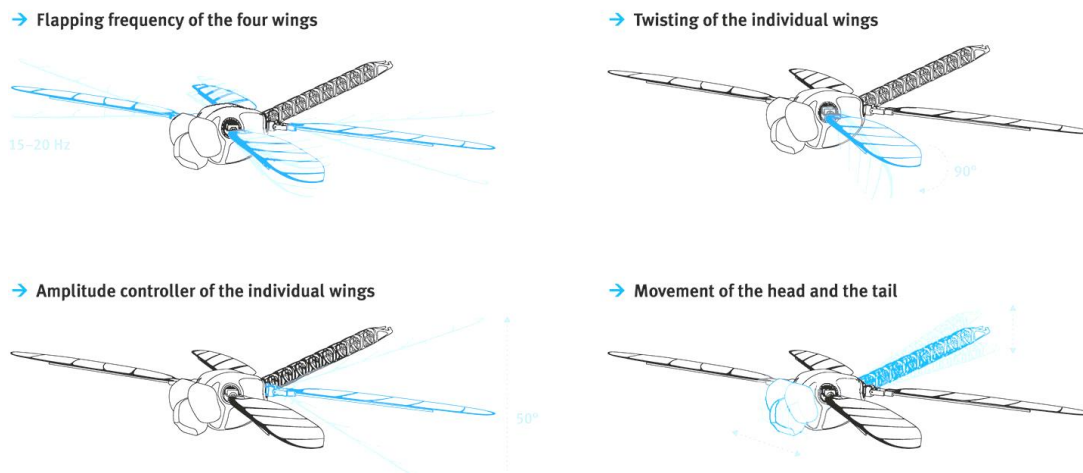


Рисунок 4. Напрямки руху крил

SMARTBIRD



Рисунок 5. Smartbird

Багато роботів здатні літати, але жоден з них не літає, як справжній птах. Так було до тих пір, доки інженер Маркус Фішер і його команда з німецької компанії Festo сконструювали надлегкого робота, який отримав назву SmartBird [4]. Метою було створення надлегких енергоефективних механізмів, вивчення властивостей повітря і повітряних потоків стосовно до таких механізмів [2].

Вага робота становить всього 450 г, розмах крил - 1,96 м. Надлегкий літаючий робот, який отримав назву SmartBird може самостійно злітати, літати і приземлятися без допомоги будь-яких додаткових систем приводу.

Крила робота не тільки б'ються вгору і вниз, за допомогою важільного механізму, що збільшує ступінь відхилення для збільшення від тулуба до кінчика крила, але також і закручуються під певним кутом уздовж їх довжини так само, як це робить справжній птах, так що передній край спрямований вгору під час ходу вгору.

Направлене керування досягається за рахунок протилежного руху голови і тулуба робота, яка синхронізується за допомогою двох електродвигунів і кабелів. Як і в випадку з птахом, хвіст SmartBird забезпечує підйом і дозволяє контролювати напрямок польоту.

Усередині торса SmartBird знаходяться акумулятор, двигун і трансмісія, кривошипно-шатунна трансмісія, електроніка керування і регулювання [5].

Положення крила і крутіння можуть контролюватися за допомогою двостороннього радіозв'язку по протоколу ZigBee і можуть регулюватися і оптимізуватися в реальному часі під час польоту [5].

За словами Festo, розробка SmartBird надала інформацію, яка може допомогти в різних областях. Мінімальне використання матеріалів роботом і легка конструкція допоможуть підвищити ефективність використання ресурсів та енергії [6], в той час як функціональна інтеграція його з'єднаних приводних блоків дала ідеї, які можуть перейти до розробки технології гібридного приводу.

ВИСНОВОК

Природа відкриває перед інженерами і вченими нескінченні можливості по запозиченню технологій та ідей. Раніше люди були не здатні побачити те, що знаходиться у них буквально перед носом, але сучасні технічні засоби і комп'ютерне моделювання допомагає розібратися в тому, як влаштований навколишній світ, і спробувати скопіювати з нього деякі деталі для власних потреб. Запозичені у природи форми, рухи, кінцівки у біоморфних роботах дозволяють їм рухатись з меншими витратами енергії та вписуватись в навколишній світ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Робот-летучая лисица BionicFlyingFox – очередная биовдохновленная разработка от Festo — Режим доступа: https://www.rc-hobby.com.ua/infocenter/novosti-i-sobytiya/robot_letuchaya-lisitsa-bionicflyingfox_-_ocherednaya-biovdokhnovlennaya-razrabotka-ot-festo/
- [2] BionicOpter — Режим доступа: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/248133/Festo_BionicOpter_en.pdf
- [3] Festo демонстрирует BionicOpter – инновационного робота-стрекозу — Режим доступа: https://www.rc-hobby.com.ua/infocenter/novosti-i-sobytiya/robot_letuchaya-lisitsa-bionicflyingfox_-_ocherednaya-biovdokhnovlennaya-razrabotka-ot-festo/
- [4] Festo creates SmartBird flying robotic seagull — Режим доступа: <https://newatlas.com/smartbird-robotic-seagull/18228/>
- [5] Безвесільна О.М. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем (Технологічні вимірювання та прилади): навчальний посібник для студентів приладобудівних спец. ВНЗ / Безвесільна О.М., Киричук Ю.В.; Житомир. держ. технол. ун-т.– Житомир: ЖДТУ, 2008.– 172с. с.
- [6] Безвесільна О.М. Засоби вимірювання екологічних параметрів: підручник /Безвесільна О.М., Войцицький А.П., Сльнікова Т.О., Киричук Ю.В. - Житомир: ЖДТУ, 2009. –508 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Киричук Ю.В.

УДК 621.317

Д.В. Терещенко, студент гр. ПМ-61, д.т.н., проф. Безвесільна О.М.,
к.т.н., асис. Котляр С.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

П'ЕЗОРЕЗИСТИВНИЙ ДАТЧИК ТИСКУ

Анотація. В статті розглянуто принцип дії і конструкцію п'езорезистивного перетворювача, що використовується в якості первинного перетворювача у датчиках тиску – манометрах.

Ключові слова: п'езорезистр, діафрагма, датчик тиску

Найпоширеніші в індустріальній сфері сучасні датчики тиску - п'езорезистивні перетворювачі тиску, що представляють собою кремнієвий чіп з інтегрованою електронікою, що виготовляється з використанням технології ІС (Integrated circuit - інтегральна схема).

П'езорезистивний ефект це залежність опору матеріалу від величини її деформації.

П'езорезистивні перетворювачі складаються з двох компонентів: мембрана або пластина заданої площі S , що піддається дії прикладеної сили F , і детектор або реєстратор, вихідний сигнал якого пропорційний прикладеній силі F (1) [1].

$$U = \frac{kd}{\epsilon S} F, \quad (1)$$

де k – п'езоелектрична стала, для кварцу $k = 2,14 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н;

d - товщина кремнієвої платини, м;

ϵ - діелектрична стала пластини, Ф/м;

S – площа поверхні кремнієвої платини, м²;

F - прикладена сила, Н.

$$\epsilon = \epsilon_k \cdot \epsilon_0;$$

$\epsilon_k = 3,5$ – діелектрична стала для кварцу;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – діелектрична проникність вакууму.

Елементи п'езорезистивних перетворювачів можуть бути виготовлені з кремнію. Датчик тиску складається з самої діафрагми і п'езорезистивних перетворювачів у вигляді резисторів, що імплантуються у кремнієву діафрагму дифузійним методом.

Переваги: монокристалічний кремній характеризується дуже хорошими характеристиками пружності, тому, в датчиках на їх основі, відсутня повзучість і гістерезис навіть при високому тиску. Коефіцієнт тензочутливості кремнію у багато разів перевищує аналогічний коефіцієнт тонкого металевого провідника.

Недоліки: зазвичай тензорезистори включається за мостовою схемою або схемою моста Уінстона. Максимальна вихідна напруга таких датчиків складає декілька сотень мілівольт, тому на виході вони потребують підсилювачів напруги. Кремнієві резистори досить чутливі до температурних дій, тому такі датчики потребують використання ланцюгу температурної компенсації.

Існує декілька методів виготовлення кремнієвих датчиків тиску. У одному із способів використовується підкладка з кремнію n-типу, на якій методом іонної імплантації бору формуються п'езорезистори з поверхневою концентрацією домішок, рівною 3×10^{18} в одному кубічному сантиметрі (рис. 1) [2].

Один з п'єзореzystорів (R_1) імпантується паралельно, а інший (R_2) - перпендикулярно орієнтації діафрагми (рис. 1, в). Одночасно з формуванням п'єзореzystорів виготовляються і інші компоненти схеми датчика: резистори і р-п переходи, що використовуються в ланцюгах компенсації температури і розташовуються в порівняно товстій зоні підкладки навколо діафрагми. У зв'язку з таким розташуванням вони не реагують на тиск, що діє на діафрагму.

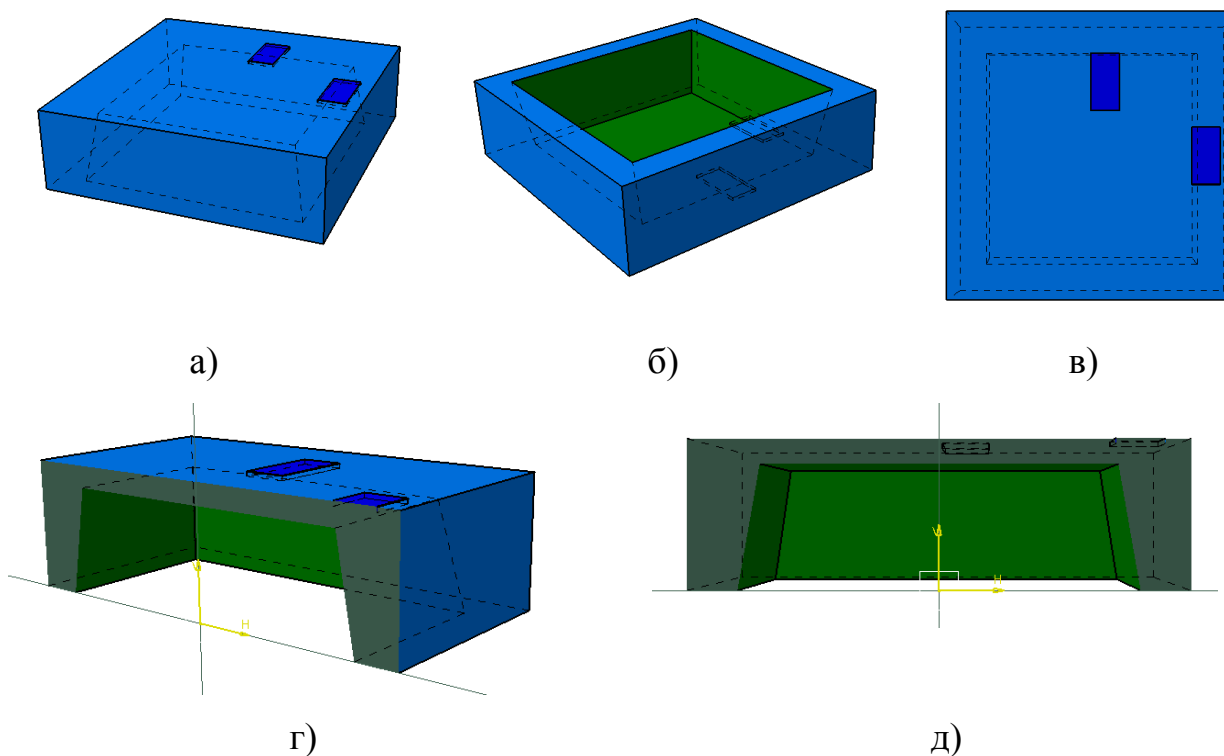


Рис. 1. Кремнієва діафрагма з резисторами

Напівпровідниковий резистор, що має номінал R , за рахунок п'єзореzystивного ефекту, змінює під дією прикладеної механічної напруги (рис. 2) свій електричний опір на величину ΔR :

$$\frac{\Delta R}{R} = n_1 u_1 + n_2 u_2, \quad (2)$$

де n_1, n_2 - п'єзореzystивні коефіцієнти в подовжньому і поперечному напрямках;
 u_1, u_2 - напруга в подовжньому і поперечному напрямках.

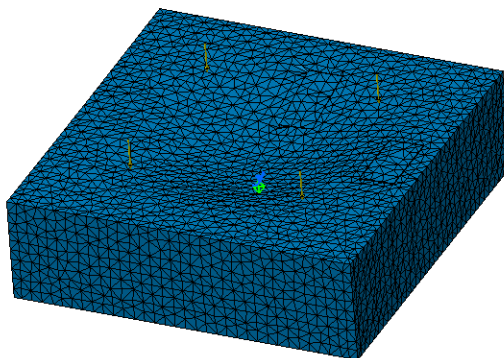
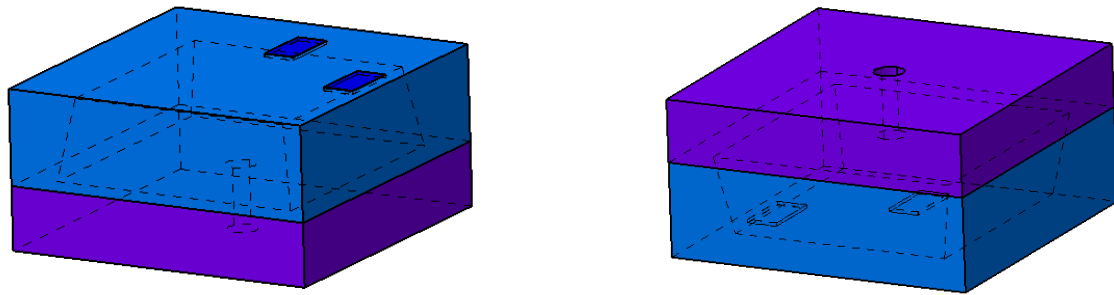


Рис. 2. Діафрагма під дією тиску

Кремнієва діафрагма монтується на підкладці також із кремнію, що має невеликий отвір для вентиляції повітря під час дії тиску (рис. 3).



а) вид зверху

б) вид знизу

Рис. 3. П'єзорезистивний датчик тиску

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Безвесільна О.М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем: підруч. для студ. приладобуд. спец. вищ. навч. закл. / О. М. Безвесільна, Ю. О. Подчашинський; Житомирський держ. технологічний ун-т. - Житомир : ЖДТУ, 2006. - 560 с.: рис. - Бібліогр.: с. 552-558. - ISBN 966-683-085-X.
- [2] Костюк А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф. Костюк. – М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2006. – 96 с., ил. – ISBN 5-256-01782-6.

Наук. керівник – к.т.н., Котляр С.С.

УДК 62-5

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, д.т.н., професор. Гераймчук М.Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АЛГОРИТМ ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ОТРИМАНИХ ДАНИХ

Анотація. В даній статті авторами пропонується алгоритм оновлення програмного забезпечення. Даний алгоритм передбачає особливе розподілення та використання пам'яті мікроконтролера, що передбачає три області пам'яті, кожна з яких несе відповідальність за функціонування системи або приладу, що мають підвищені вимоги до експлуатації та відмовостійкості. За приклад, авторами був взятий мікроконтролер STM32.

Ключові слова: алгоритм, мікроконтролер, програмне забезпечення, STM32, RAM, область пам'яті.

ВСТУП

Запропонований авторами даний алгоритм пропонується використовувати для приладів або систем, які мають підвищені вимоги до експлуатації та відмовостійкості. Даний алгоритм розглянемо на прикладі плати на основі мікроконтролера STM32.



Рисунок 1. Плата розробника на базі мікроконтролера STM32

Даний мікроконтролер має об'єм пам'яті програм 64/128 кбайт та RAM 20 кбайт [1]. Головною ідеєю є умовне поділення пам'яті мікроконтролера на наступні області:

- область контролю (ОК);
- область обчислення (ОО);
- область вільної пам'яті (ОВП).

АЛГОРИТМ ОНОВЛЕННЯ

Розподілення пам'яті, що пропонується авторами, необхідно для виконання конкретних завдань кожною областю пам'яті. Область пам'яті є своєрідним аналогом системи BIOS (Basic Input Output System) у персональних комп'ютерах [2] із розширеними можливостями. Вона необхідна для розміщення мікропрограми типу bootloader, тобто завантажувач операційної системи [3], що забезпечує виконання наступних завдань:

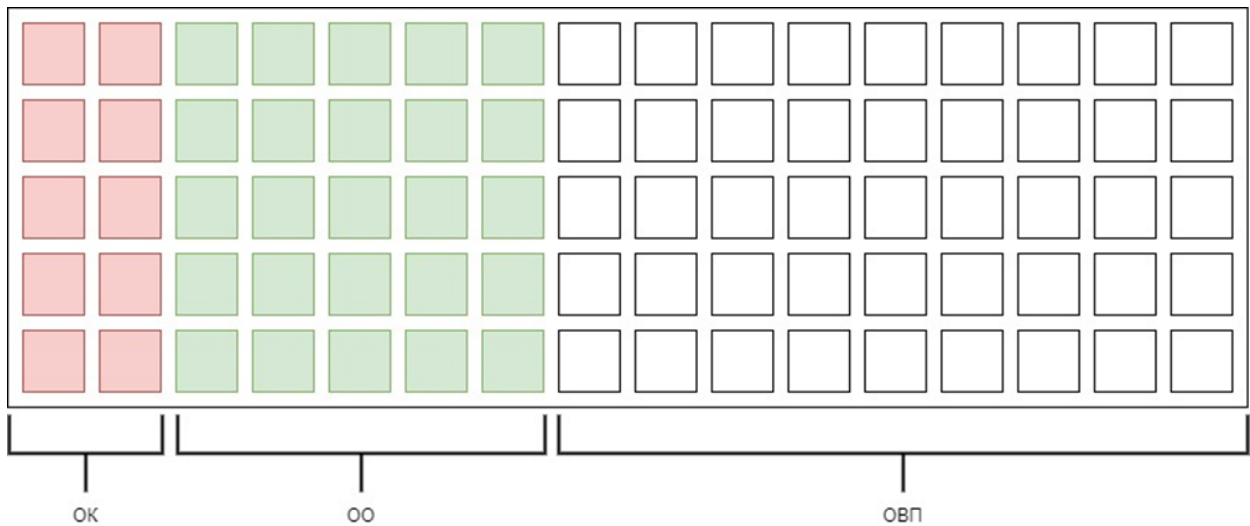


Рисунок 2. Схематичне розподілення пам'яті

- розміщення мікропрограми для роботи типу bootloader;
- запит на сервер для оновлення програмного забезпечення та контроль процесу оновлення;
- створення резервної копії попередньої версії ПЗ;
- перевірка роботи всіх підсистем приладу (проходження ініціалізації);
- вибір часу для оновлення програмного забезпечення;

Область обчислення містить в собі мікроопераційну систему, що забезпечує виконання наступних функцій:

- обробка та надсилання даних;
- архівування обробленої інформації, за можливості передачі на сервер.

Завданням області вільної пам'яті є зберігання обробленої інформації. До даної області може входити:

- RAM за умови не великого об'єму даних, як необхідно тримати в пам'яті;
- постійно запам'ятовуючи пристрій;
- зовнішня пам'ять:
- локальна, тобто жорсткий диск або мікро СД картка або інший фізичний носії інформації;
- хмарне сховище, сервер.

На рисунку 3 зображено роботу оновлення ПЗ мікроконтролера. Завантажувач операційної системи робить запит на сервер для виявлення нової версії мікроопераційної системи (1). За умови наявності нової версії, починається процес резервного копіювання теперішньої версії мікроопераційної системи. Даний архів зберігається в області вільної пам'яті, або пам'ять мікроконтролера або зовнішня локальна пам'ять, у випадку наявності (2). Завершальним кроком є перезапис область обчислення новою версією.

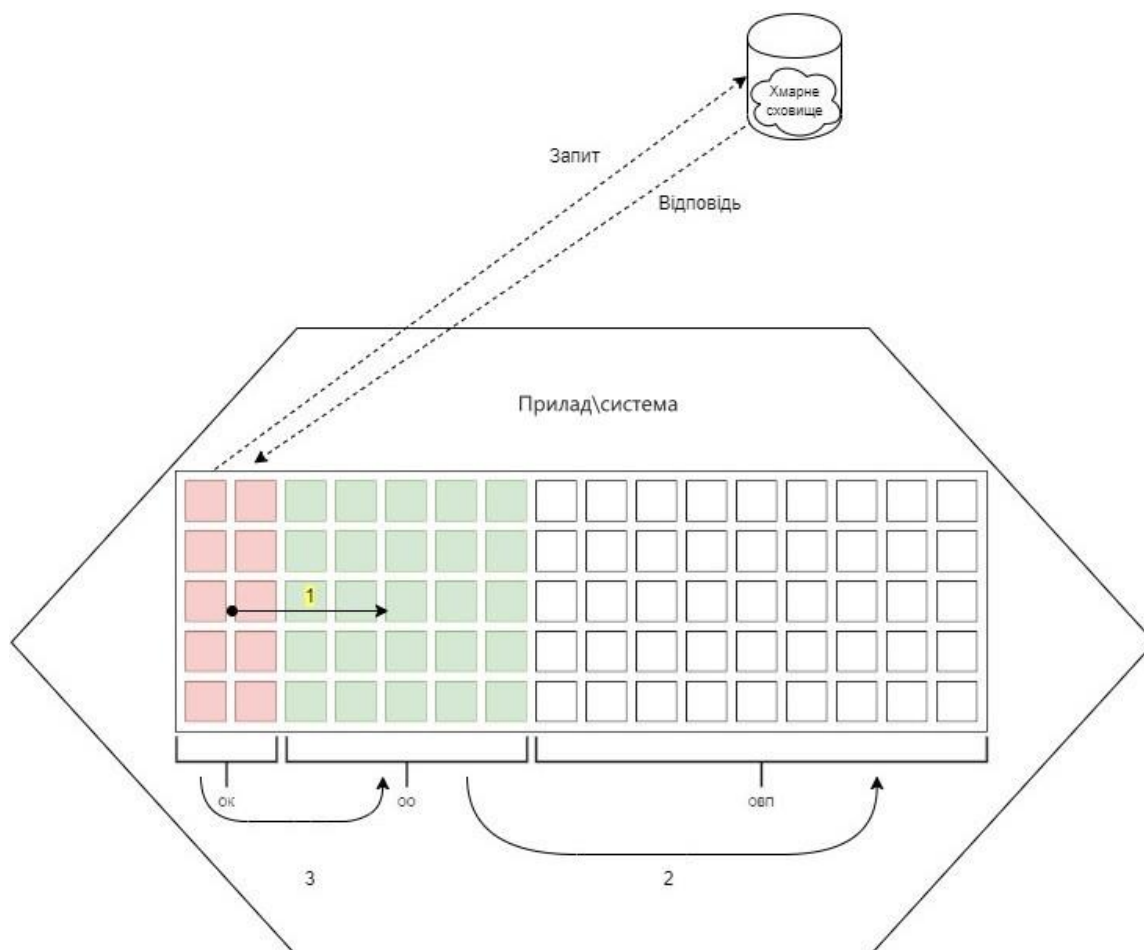


Рисунок 3. Ілюстрація роботи процесу оновлення ПЗ: 1 - процес резервного копіювання, 2 – запис ПЗ у ОВП, 3 – перезапис ОО, новою версією ПЗ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Урок 2. Плата STM32F103C8T6. Загрузка программы во FLASH-память микроконтроллера через системный бутлоадер — Режим доступа: <http://apcr.apmath.spbu.ru/ru/staff/tuzov/onapr.html/http://mypractic.ru/urok-2-plata-stm32f103c8t6-zagruzka-programmy-vo-flash-pamyat-mikrokontrollera-cherez-sistemnyj-butloader.html>
- [2] BIOS — Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/BIOS>
- [3] Завантаження операційної системи — Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%97_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8

Наук. керівник – д.т.н., проф. Гераймчук М.Д.

УДК 62-5

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, д.т.н., професор. Гераймчук М.Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ

Анотація. В даній статті авторами пропонується алгоритм керування системою дронів у кількості двох та більше одиниць. Даний алгоритм передбачає наявність в системі ієрархії та статусу, що забезпечують чотири режими керування та дозволяють спростити керування. Дана система, на думку авторів, може засовуватись в різних сферах.

Ключові слова: алгоритм, ієрархія, статус, дрон, система координат.

ВСТУП

В даній статті пропонується алгоритм для системи керування дронами (далі СКД), що має на меті полегшити керування дронами у кількості від двох та більше одиниць. Рисунок 1 ілюструє структурну схему СКД.

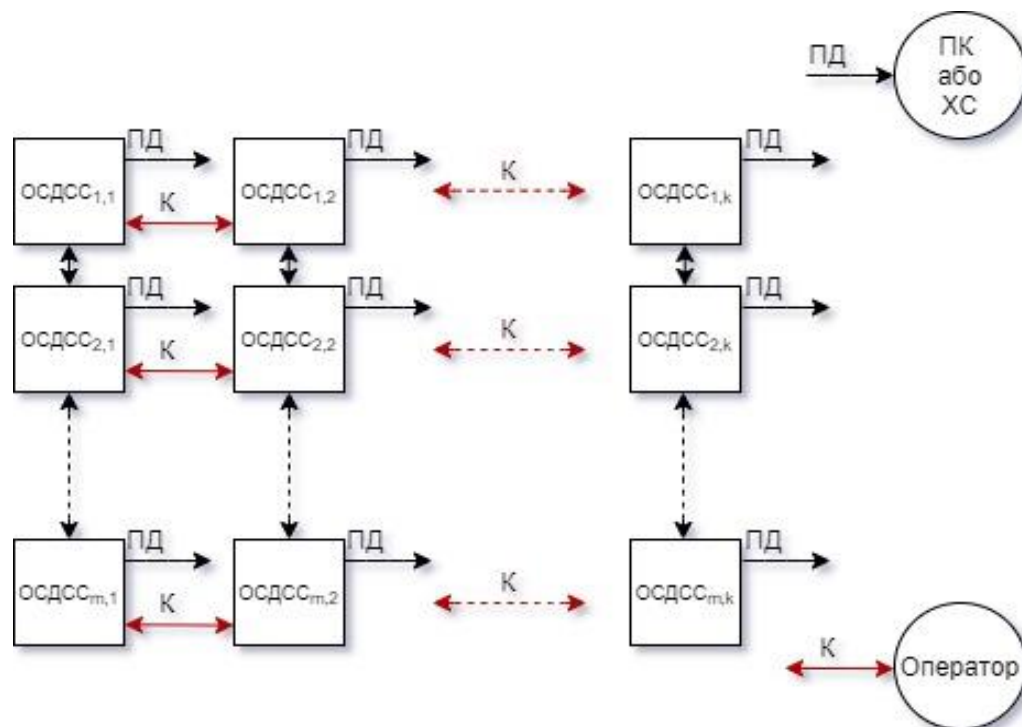


Рисунок 1. Структурна схема системи керування дронами [2]

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ

В даній роботі пропонується алгоритм, пропонує СКД. Кожен окремий дрон представляє собою одиницю (далі ОД) в СКД та займає місце в ієрархії та має статус, рисунок 2 ілюструє будову СКД.

Кожна ОД може займати місце в ієрархії «BASE» або «DEPEND» Поняття «Ієрархія» було введено в СКД, щоб виділи із всієї СКД головну ОД, яка фактично керує всією СКД та грубого керування всією СКД.

Також кожна ОД окрім свого місця в ієрархії може мати один із трьох статусів:

- CONST;
- VARIO;

• FREEZED.

Поняття «Статус» було введено в СКД для точнішого керування всією СКД.

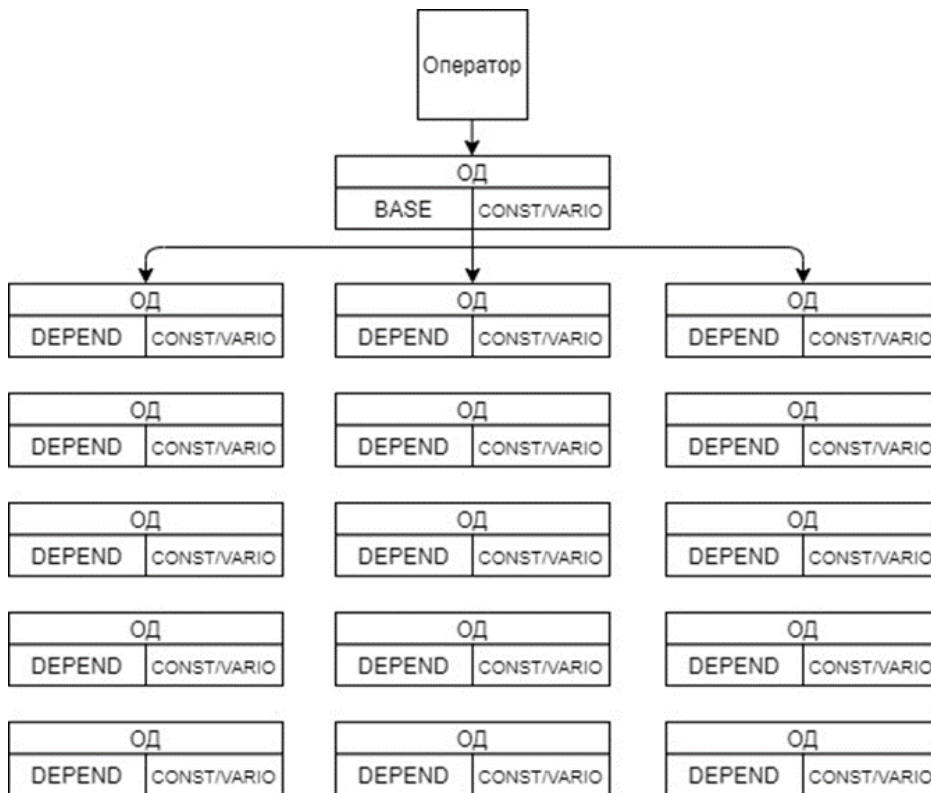


Рисунок 2. Будова системи керування дронами [2]

ОД займає місце в ієрархії «BASE» та статус «VARIO», в подальшому такий запис буде виглядати наступним чином «ОД/BASE/VARIO». Інші ОД відповідно місце в ієрархії DEPEND. А статус CONST, даний запис матиме вигляд «ОД/DEPEND/CONST».

ОД, що займає місце в ієрархії «BASE» стає початком координат в СКД, та представлена у вигляді точки О на рисунку 3. В свою чергу інші ОД, що займають місце в ієрархії DEPEND, мають координати Δx , Δy , Δz , та представлені у вигляді точок А, В, С, D.

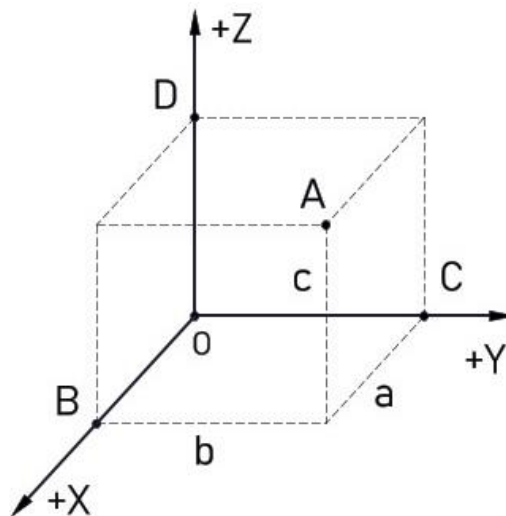


Рисунок 3. Схематичне представлення системи координат в СКД: точка О – початок координат, тобто ОД/BASE, точки А, В, С та D – це ОД/DEPEND із координатами Δx , Δy , Δz

Дана будова передбачає чотири режими роботи.

Перший режим:

Оператор керує всією СКД за рахунок зміни положення в просторі ОД/BASE/VARIO. ОД/DEPEND/CONST зберігають своє положення відносно ОД/BASE/VARIO.

Другий режим:

Оператор керує тільки ОД/BASE/VARIO. ОД/DEPEND змінюють свій статус із «CONST» на «FREEZED» Тобто ОД/DEPEND/FREEZED означає, ОД зберігає своє положення відносно абсолютної системи координат [1];

Третій режим:

Оператор керує тільки конкретною ОД/DEPEND у склад СКД, за рахунок зміни статусу із «CONST» на «VARIO». Даний режим застосовується у випадку точнішого розташування ОД/DEPEND у складі СКД або необхідної зміни положення загалом.

Четвертий режим:

Зміна в ієрархії СКД, тобто певна ОД/DEPEND стає ОД/BASE. Даний режим застосовується:

-Теперішня ОД/BASE вийшла з ладу або була знищена.

-Необхідність керування СКД через складність керування в певній місцевості.

На рисунку 4 представлено алгоритм роботи СКД. Згідно алгоритму представленого вище, оператор проводить ініціалізацію СКД, обирає оптимальний режим роботи, система відпрацьовує дану команду.

Наступним кроком є виконання поставленого завдання, наприклад обприскування поля [3]. У випадку необхідності повторного виконання поставленого завдання, або виконання іншого завдання, наприклад зробити аерофотозйомку обробленого поля, оператор дає відповідну команду.

Дана система може використовуватись:

- у аграрній сфері [3];
- у гасінні пожеж [4];
- у військовій сфері;
- для аерофото- та аеровідеозйомки;
- журналістика;
- наукова сфера;
- навчальна сфера;
- розважальна сфера.

Теоретично кількість ОД в СКД не обмежена, що може скласти конкуренцію таким продуктам як AGRAS MG-1P та FlightHub [3,4].

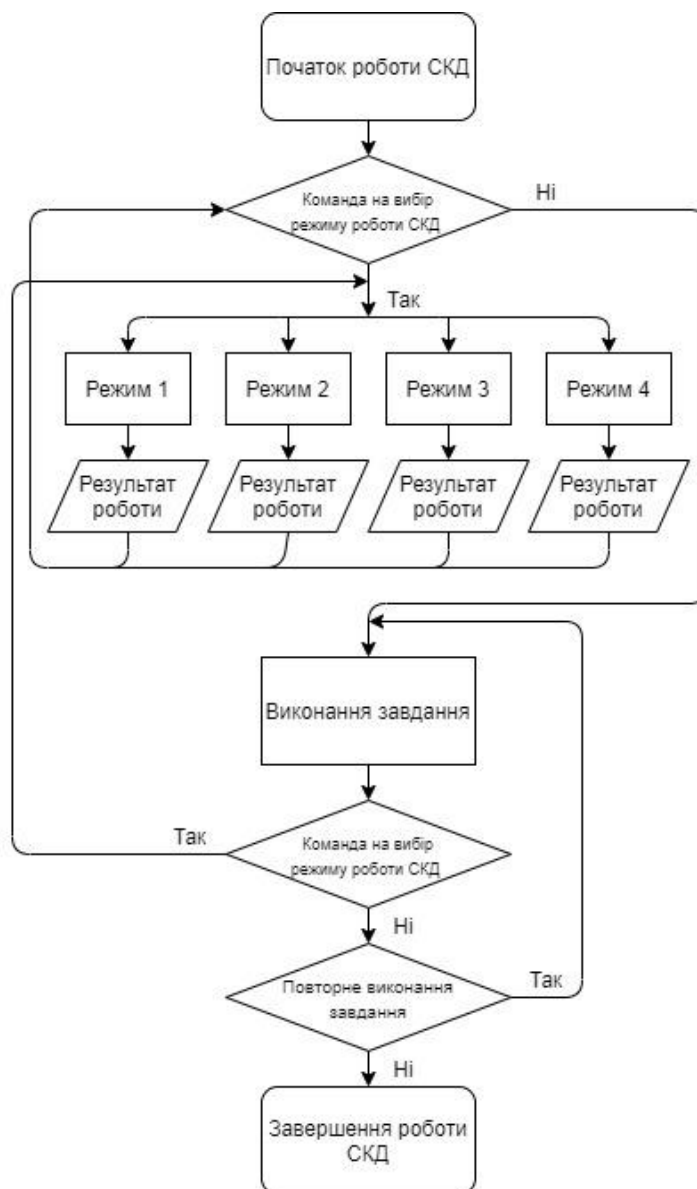


Рисунок 4. Алгоритм роботи СКД

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Нулевой меридиан. – Режим доступу: <http://www.outdoors.ru/orient/orient12.php>
- [2] draw.io. – Режим доступу: <https://www.draw.io/>
- [3] Дрони об'єднуються в рой: беспилотники нового покоління на українських полях – Режим доступу: <http://agroportal.ua/views/blogs/dronu-obedinyayutsya-v-roi-bespilotniki-novogo-pokoleniya-na-ukrainskikh-polyakh/>
- [4] FlightHub — платформа DJI для управління кількома дронами – Режим доступу: <https://theroco.com/2017/11/08/dji-lighthub/>

Наук. керівник – д.т.н., проф. Гераїмчук М.Д.

Секція 5.

ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 677.01

А.А. Авагумян, аспірантка 3 курсу навчання, д.т.н., проф. Зацепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПИЛОПРОНИКНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ШКАЛОЮ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ

Анотація. Удосконалення способів контролю якості матеріалів за допомогою застосування сучасних методів виміральної техніки є шляхом вирішення важливої проблеми захисту людини від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена методика дослідження коефіцієнта пилопроникності матеріалів базується на використанні телевізійної інформаційної виміральної системи (ТІВС).

Проведено аналіз наукових робіт, пов'язаних з дослідженням фізичних властивостей матеріалів. Виконано порівняльний аналіз відомих методів та характеристик засобів вимірювання коефіцієнта пилопроникності. Представлені шляхи підвищення точності вимірювання коефіцієнта пилопроникності за допомогою ТІВС. Проведені експериментальні дослідження визначення форми чарунок зразків текстильних матеріалів на ТІВС. Проведена оцінка невизначеності пилопроникності матеріалів за шкалою з нечіткою і лінгвістичною змінною. Створено програмне забезпечення, яке дозволяє швидко розрахувати невизначеність результатів вимірювання пилопроникності текстильних матеріалів.

Ключові слова: пилопроникність, текстильні матеріали, телевізійна інформаційно-вимірвальна система, невизначеність.

ВСТУП

Текстильні матеріали в процесі носіння виробів здатні пропускати в підодяговий шар і утримувати частинки пилу. Це призводить до забруднення шарів одягу, що розміщуються під ними. Частинки пилу проникають крізь матеріал через наскрізні пори матеріалу.

Гігієнічність одягу залежить від захисних властивостей, що забезпечують комфортні умови для життєдіяльності організму, і як наслідок, зменшується проникнення шкідливих і забруднюючих речовин, пилу і мікроорганізмів під одяг людини.[1]

Актуальність роботи полягає у дослідженні матеріалів на пилопроникність, для створення комфортних умов шкіряного дихання людини. Для забезпечення шкіри в чистоті, матеріали, що становлять пакет одягу, повинні мати максимальні захисні властивості.

МЕТА РОБОТИ

Дія пилу на шкіру та слизові оболонки проявляється в закупорці вивідних протоків сальних і потових залоз, розвитку мацерації шкіри, слизових оболонок, виникненню піодермій, алергії, а ліпотропні складові пилу можуть всмоктуватися, викликаючи загально токсичну дію. Забруднюючи одягу, пил знижує її вентиляючі, паропровідні функції, негативно впливаючи на теплообмін та дихання шкіри.

Метою роботи є підвищення точності визначення коефіцієнта пилопроникності текстильних матеріалів та захисних виробів з них.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті аналізу наукових робіт провідних спеціалістів вважаємо доцільним та актуальним дослідження матеріалів на пилопроникність за допомогою телевізійної інформаційно-виміральної системи, для створення комфортних умов шкіряного дихання людини. Проаналізовано та визначено

основні недоліки методів та засобів визначення пилопроникності текстильних матеріалів – неможливість визначення тривалості та динаміки процесу затримання зразком пилу. Відомі способи не враховують силового впливу повітряного потоку на структуру випробуваного зразка, що є суттєвим для текстильних матеріалів, які легко деформуються, що впливає на об'єктивність результатів. Значна незручність, трудомісткість і тривалість процесу випробувань дають велику похибку вимірювань [2].

Щільність та заповнення тканин впливають на їх товщину, масу, теплозахисні властивості, повітропроникність, пилопроникність, міцність, формостійкість та інші якості. Форма чарунок тканини є одним з основних параметрів, які визначають схожість або відмінність властивостей тканини в долевому та поперечному напрямках. [3,4]

Для визначення розмірів чарунок використовуємо телевізійну інформаційно-вимірювальну систему (ТІВС). ТІВС являє собою сукупність оптичних і електронних засобів, за допомогою яких інформація про структуру, стан та властивості об'єкту, що міститься в його випромінюванні, перетворюється в електричний сигнал.

Основними характеристиками ТІВС є: світлосигнальна характеристика, спектральна характеристика, роздільна здатність [5].

Світлосигнальна характеристика - це відношення сигналу до освітленості пікселя.

Спектральна характеристика - залежність телевізійного сигналу від довжини хвилі діючого на фото чутливу поверхню випромінювання. Вимоги спектральної характеристики перетворювача визначається його конкретним призначенням.

Роздільна здатність - це мінімальна відстань між двома точеними джерелами світла на якій ці джерела сприймаються окремо [6].

Для обчислення невизначеності результатів вимірювань необхідно виконати багаторазові вимірювання величини. При описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин використовується поняття нечіткої і лінгвістичної змінних [7].

Нечітка змінна характеризується трійкою $\langle \alpha, X, A \rangle$, де α - ім'я змінної, X - універсальна множина (область визначення α), A - нечітка множина на X , що описує обмеження (тобто $\mu_A(x)$) на значення нечіткої змінної α .

Лінгвістичною змінною називається набір $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, де β - ім'я лінгвістичної змінної; T - множина його значень (терм-множина), що представляють імена нечітких змінних, областю визначення, яких є множина X ; G - синтаксична процедура, що дозволяє оперувати елементами терм-множини T , зокрема, генерувати нові терми (значення); M - семантична процедура, що дозволяє перетворити нове значення лінгвістичної змінної, утвореної процедурою G , в нечітку змінну, тобто сформувані відповідну нечітку множину [8].

Джерелами невизначеності є випадкова похибка, похибка приладу, похибка відліку, вплив сторонніх чинників, вплив присутності людини.

Для джерел невизначеності випадкового характеру обчислюється стандартна невизначеність за типом А [8]:

$$U_A(E) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E_{cp})^2}{n(n-1)}}. \quad (1)$$

Для джерел невизначеності систематичного характеру (похибка приладу) обчислюється стандартна невизначеність за типом Б:

$$u_B(E) = \frac{\pm \Delta E}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

де $\pm \Delta E$ — межі допустимої похибки приладу, а середнє значення обчислюється з урахуванням похибки 8% приладу.

Обчислюємо сумарну стандартну невизначеність:

$$u_C(E) = \sqrt{u_A^2(E) + u_B^2(E)}. \quad (3)$$

Для довірчої ймовірності $P = 0,95$ задаємо коефіцієнт охоплення $k = 2$ і обчислюємо розширену невизначеність вимірювань:

$$U(E) = k \cdot u_C(E). \quad (4)$$

Для проведення експерименту були обрані спеціально розроблені трикотажні зразки для захисту органів людини від негативного впливу середовища. У результаті для двох трикотажних зразків отримано розширену невизначеність вимірювання відповідно:

$$U(E_1) = k \cdot u_C(E_1) = 140,98 \text{ або } (0,09\%), \quad (5)$$

$$U(E_2) = k \cdot u_C(E_2) = 114,376 \text{ або } (0,09\%). \quad (6)$$

На основі зроблених розрахунків було створено програмне забезпечення на сучасній мові програмування SWIFT 4, яке дозволяє швидко розрахувати невизначеність результатів вимірювання пилопроникності текстильних матеріалів та вивести отримані значення на екрані монітору.

ВИСНОВКИ

У роботі наведено рішення науково-практичної задачі підвищення точності вимірювання пилопроникності текстильних матеріалів за рахунок використання телевізійної інформаційної вимірювальної системи.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень різних матеріалів, які використовуються для захисту людини від забруднень навколишнього середовища визначено, що максимально доцільно використовувати тканини полотняного переплетення з поверхневою щільністю більше 200 г/м^2 , з максимальним відсотком натуральних волокон для запобігання можливих алергічних реакцій.

Проведені експериментальні дослідження визначення форми чарунок зразків текстильних матеріалів на ТІВС. На основі багаторазових вимірювань величини проведено обчислення невизначеності результатів. При описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин використано поняття нечіткої і лінгвістичної змінних.

Створено програмне забезпечення, яке дозволило швидко розрахувати невизначеність результатів вимірювання пилопроникності текстильних матеріалів. Для заданих текстильних матеріалів при дослідженні коефіцієнта пилопроникності за допомогою ТІВС і обробкою результатів методом виявлення невизначеності та авторське програмне забезпечення дозволило зменшити похибку вимірювань порівняно з сучасними відомими методами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Защепкіна, Н. М. Розвиток наукових основ та інженерних методів проектування заданих властивостей текстильних матеріалів : Дис. д-ра. техн. наук: 05.18.19 / Защепкіна Наталія Миколаївна. – Київ, 2011. – 310 с.
- [2] Защепкіна, Н.М. Удосконалення методу визначення пилопроникності матеріалів / Н.М. Защепкіна, А.А. Мелконян, Р.Ю Довгалюк, С.О. Недобойко // Вісник Житомирського державного технічного університету. – № 1(79). – 2017. – С. 52-57.
- [3] Патент України № 98272, 24.04.2015. Двошаровий кулірний трикотаж // Патент України № 98272. 2015. Бюл. №8/ Защепкіна Н. М., Галавська Л. Є., Терентьєва Н. Р.
- [4] Патент України № 8639, 15.08.2005. Спосіб одержання змішаної пряжі // Патент України № 8639. 2005. / Защепкіна Н. М., Шандрівська Л. І., Маташенко О. Ю., Мандрик С. В.
- [5] Порев В.А. Телевизионная пирометрия // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. –№4.
- [6] Порев В. А. Інформаційно-вимірювальні системи та технології екологічного моніторингу (вступ до фаху) : підручник для студ. ВНЗ / В. А. Порев. – К. : НТУУ "КПІ", 2016. – 118 с.
- [7] ДСТУ-Н РМГ 43-2006. Метрологія. Застосування «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях».
- [8] Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань: Технічний звіт EUROLAB № 1/2006//Переклад з англ. та науково-технічне редагування: А. В. Абрамов, А. М. Коцюба, В. М. Новіков. — Київ, Євролаб-Україна, 2008. — 51 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.

УДК 677.01

Артемчук В.І студенти гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ СКЛАДУ АТМОСФЕРИ НА УРОЖАЙНІСТЬ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН

Анотація. У даній статті доведено актуальність контролю повітря в теплиці. для швидкісного інформування про його стан. Удосконалення способів контролю якості матеріалів за допомогою застосування сучасних методів вимірювальної техніки є шляхом вирішення важливої проблеми.

Ключові слова: забрудненість повітря, ґрунтове та атмосферне повітря.

ВСТУП

Забрудненість атмосферного повітря є глобальною проблемою, що негативно впливає на здоров'я людини та знищує флору та фауну планети. Понаднормове збільшення концентрації фізичних, хімічних та біологічних компонентів спричиняє забрудненням атмосферного повітря, що призводить до дисбалансу природної системи.

Швидкий розвиток атмосферного забруднення може призвести до пригнічення або загибель рослин і навіть цілих природних фітоценозів, що призводить до необоротного процесу погіршення стану флори та фауни й людини [1, 2].

Забрудненість повітря спричиняє вразливість рослинності до паразитів, комах, вірусних та грибкових хвороб [3].

Рослини поглинають важкі метали, але зі збільшенням концентрації у ґрунті та повітрі призводить до їх нерівномірного накопичення та негативно впливають на ріст, розвиток, морфологію та фенологічний ритм [4, 5].

Між частинками твердого ґрунту є повітря, яке не заповнила вода в ґрунті. Повітря, також, адсорбоване поверхнею ґрунтових частинок та розчинене в ґрунтових водах. Будова ґрунтового повітря непостійна Ґрунтове і атмосферне повітря має різний хімічний склад.

Через біологічні процеси, процеси окислення та відновлення вміст кисню та вуглекислого газу різний (табл.1). Кисень поглинається виділяється вуглекислий газ при розкладі мікроорганізмами органічної маси і диханні коріння.

Таблиця 1. Склад атмосферного і ґрунтового повітря (за Н.П. Ремезовим), % до об'єму

№ n/n	Повітря	Азот	Кисень	Вуглекислий газ
1	Атмосферне	78,0	21,0	0,03
2	Ґрунтове	78,8	5,20	0,1-15

Склад кисню та вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі залежить від стану ґрунту, складу рослинного покриву, температури, аерації, розташування вод, тиску повітря, дії вітру, внесенням добрив і деякою мірою газообміном.

Найбільший вплив на газообмін у ґрунті має дифузія газів та пора року. Вплив на врожайність сільськогосподарських культур сприяє вміст та склад повітря в ґрунті, як і вміст добрив та вологи.

Внаслідок постійного газообміну між ґрунтовим і атмосферним повітрям відбувається певною мірою поновлення ґрунтового і надземного шару повітря. Газообмін впливає на більшість ґрунтових процесів. Чим активніший біохімічний процес, тим сильніший обмін між ґрунтовим і атмосферним повітрям. Вуглекислий газ та кисень спонукають вивітрюванню й окисленню різних мінералів, створення доступних для живлення рослин сполук. Недостача ґрунтового повітря призводить до домінування відновлювального хімічного процесу, що перешкоджає доступ поживним речовинам до рослин.

Дослідження показали що, корисні мікроорганізми не розвиваються без доступу свіжого повітря в ґрунті, відбувається денітрифікуючий шкідливий процес.

Кореневі системи рослин потребують для дихання, кисень. При недостатці кисню в ґрунтовому повітрі створюються анаеробні процеси з нагромадженням шкідливих органічних сполук, які призупиняють ріст рослин. Це може призвести до зниження продуктивності й загибелі їх. Пониження вмісту кисню в ґрунті до 10 - 15% пригнічує ріст і розвиток коріння різних сільськогосподарських рослин.

За інформацією А. А. Кудрявцевої, добова потреба коріння культурних рослин у кисні для утворення 1г сухої речовини в середньому становить від 0,35мг у кукурудзи до 1,56мг у гороху. В залежності від фази розвитку рослин їх потреба в кисні, найбільше поглинання на етапі проростання насіння, але при пониженні вмісту кисню до 6—7% різко знижується енергія проростання.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Забрудненість повітря впливає на ріст та розвиток рослин. Тому необхідність моніторингу повітря забезпечить стабільний розвиток рослин. В умовах теплиці моніторинг вмісту води, температури повітря, світла та забрудненості повітря є важливим. Повітря яке циркулює забезпечує розвиток рослин. Моніторинг повітря в теплиці є одним із важливих аспектів які приведуть до успішного отримання урожаю.

Тривалий вплив промислових газів викликає значні зміни в анатомічній будові листків та хвоїнок рослин [6].

Різні види рослин по різному реагують на одну й ту ж концентрацію в повітрі токсичних газів [7].

ВИСНОВКИ

Склад повітря певною мірою впливає на ґрунтовий розчин. Ґрунтові колоїди та ґрунтові розчини утворюють складні системи, які відіграють важливу роль у процесі ґрунтоутворення. Зі збільшенням концентрації вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі ґрунтовий розчин стає насиченим, збільшуючи розчинність солі. Це збільшує концентрацію катіонів та аніонів (зміни реакцій ґрунту). Зміни концентрації певних іонів у ґрунтовому розчині неминуче порушують рівновагу між поглинаючим колоїдним комплексом та ґрунтовим розчином [6, 7].

Тому забруднення повітря призводить до фенотипічного порушення, змін у зростанні та розвитку органів рослин та анатомії рослин. Рослинно-органічні процеси: Пригнічення росту та розвитку рослин, включаючи фотосинтез,

дихання, мейоз, мітоз та утворення мікроспори, призводить до поганої рослинності та цілісності екосистем [6, 7].

Отже, моніторинг повітря попередить будь-які зміни в рослинах. Забезпечуючи урожайність культур з мінімальною втратою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Анисимова Г.М., Лянгузова И.В., Шамров И.И. Влияние условий загрязнения окружающей среды на репродукцию растений // Эмбиология цветковых растений. Терминология и концепции. Т.3. / Под ред. Батыгиной Т.Б. – СПб.: Мир и семья, 2000. – С. 532–536.

[2] Дзюба О.Ф., Яковлева Т.Л., Кудрина А.Н., Тарасевич В.Ф. Пыльца как модель для контроля качества мужской генеративной сферы растений, животных и человека в условиях промышленных центров и крупных городов // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: IX Всерос. палинол. конф. – М.: Изд-во ИГиРГИ, 1999. – С. 61–79.

[3] Аугустайтис А.А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: автореф. дисс. канд. биол. наук. – М., 1992. – 22 с.

[4] Каминская Д. Фокус Киотского протокола / Д. Каминская // Обзор украинского рынка. – 2005. – № 4. – С. 25–29.

[5] Manning W.J., Feder W.A. Biomonitoring air pollutants with plants. – London: Applied Sci. Publ. LTD, 1980. – 142 p.

[6] Collectedpapers / Грунтове повітря та його склад – Режим доступа: https://collectedpapers.com.ua/soil_science/gruntove-povitrya-ta-jogo-sklad 2013 – 2020 pp.

[7] Забруднення довкілля / Навчальні матеріали онлайн- Режим доступа: https://pidruchniki.com/68995/ekologiya/zabrudnennya_dovkillya 2010 - 2020 pp.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Зацепкіна Н. М.

УДК 51.76+614.2

Р.О. Ботвінко, студ. гр. ПН-91мп, к.т.н. К.М. Божко, Б.В. Мельничук, студ. гр. ПН-91мп, А.Д. Руденко, студ. гр. ПН-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ПОПУЛЯЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ПІКУ ЗАХВОРЮВАНЬ НА COVID19 В КИЄВІ

Анотація. Математичне моделювання широко використовують для опису процесу розповсюдження епідемій. Автори надають огляд модельного підходу до опису динаміки епідемії в окремій країні чи в окремому місті. Основою моделювання є популяційна модель, а також створена на її основі модель Барояна-Рвачева. В даній роботі автори на основі аналізу доступних наразі статистичних даних про перебіг пандемії COVID19 у різних країнах спробували визначити пікові дні для кількості захворювань корона-вірусом для міста Києва. При цьому задача не може бути вирішена точно, оскільки наразі не вистачає даних для визначення параметрів диференціальних рівнянь моделі. Проте, після закінчення пандемії і отриманні більш повних статистичних даних по COVID19 можна повернутись до цієї задачі і визначити точні терміни проходження піку захворювань для можливої другої хвилі пандемії.

Ключові слова: COVID19, популяційна модель, модель Барояна-Рвачева, пік захворювань, пандемія, логістична крива або S-функція.

ВСТУП

Точне визначення піку захворювань на COVID19 має велике економічне і гуманітарне значення, адже без зайвих матеріальних втрат і з мінімальним ризиком повторного сплеску епідемії воно дозволяє здійснити комплекс поетапних заходів для виходу з карантину. На жаль, наразі не існує методології для вирішення даної проблеми. Пряме застосування існуючих математичних моделей неможливе, оскільки поки що є невідомими точні значення параметрів процесу розповсюдження цього захворювання. Використання вірогідних значень параметрів надає похибку у десятки і сотні відсотків і не може бути прийнятним. Причиною незадовільного стану вирішення зазначеної проблеми є новизна явища, яким є пандемія COVID19 (для окремої території ми будемо також використовувати назву «епідемія»).

Проте, вже існують розроблені моделі для розповсюдження епідемії грипу, основою яких покладено популяційну модель. Крім того, станом на 26 квітня 2020 року ми маємо вже достатньо статистичних даних по більшості країн світу з перебігу процесу поширення захворювання на COVID19. Аналіз моделей та статистики надав можливість авторам з певними обмеженнями виконати прогноз піку захворювань для Києва.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЕПІДЕМІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Перед початком розгляду математичних моделей необхідно з'ясувати, чи підпадає залежність кількості захворювань від часу під логістичну криву (S-функцію)? Для цього наведемо приклад епідемічного стану в Австралії [1], де епідемія станом на 26 квітня 2020 року практично завершилась. На рисунку 1 наведено сумарну кількість захворювань на COVID19 з 10 березня по 26 квітня включно. Графік захворюваності починаємо будувати з точки у 100 інфікованих осіб. Досягнення цієї кількості захворювань свідчить про їх невідповідність на даній території і є ознакою розвитку епідемічного процесу.

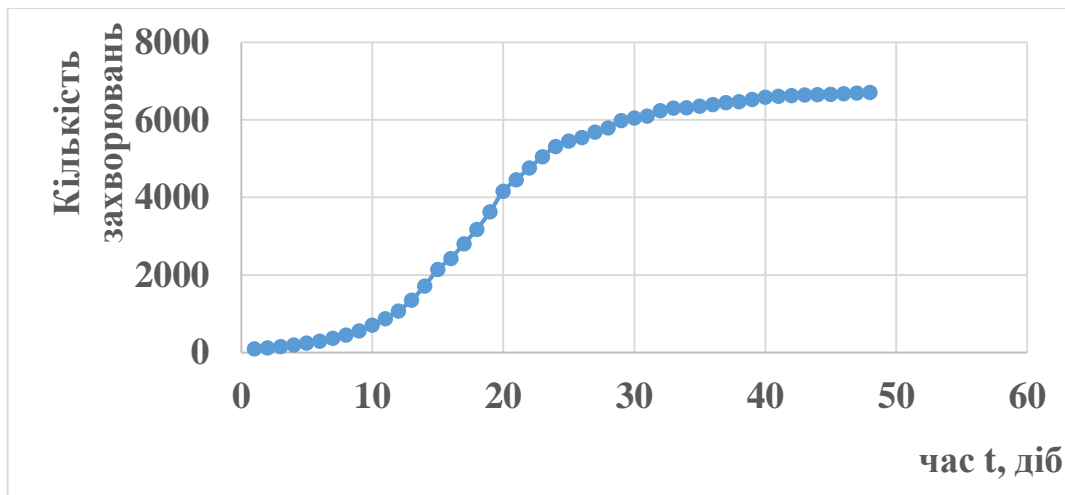


Рисунок 1. Сумарна кількість захворювань на COVID19 в Австралії з 10 березня по 26 квітня 2020 року

Австралійська модель розвитку епідемії COVID19 має вигляд типової закінченої S-функції, точкою перегину якої є половинна кількість захворювань, що і характеризує досягнення піку (дивись рис.1). Розвиток захворюваності тут стрімкий і піку було досягнуто лише через 18 діб після виявлення значимої стартової величини у 100 захворювань, а десятикратне підвищення цієї кількості – на 12-ту добу від старту. При загальній кількості захворювань 6711 [1,2] станом на 26 квітня значима стартова кількість складає 1,5% від загалу.

Із популяційною моделлю в медицині читачі можуть ознайомитись за допомогою відомих джерел, наприклад, [3]. Популяційна модель була вдосконалена і застосована з метою прогнозування епідемій грипу. Вдосконалена епідеміологічна модель отримала назву своїх авторів – Барояна і Рвачева [4]. Сучасні дослідження з математичного моделювання епідемій грипу мають на меті прогноз піку захворювань в межах окремих територій і мегаполісів [5,6]. Підґрунтям цих досліджень є також модель Барояна-Рвачева.

Методологія математичного моделювання епідемій, яка була розроблена академіком Барояном і професором Рвачевим в СРСР у 1960-70 рр., отримала назву ЕПІДДИНАМІКА. Дана методологія заснована на методі наукової аналогії у відображенні епідемічного процесу, суть якого полягає у перенесенні збудника інфекції від хворих до здорових, з перенесенням речовини та енергії в рівняннях математичної фізики. Під час розвитку епідемії серед населення ураженої території формується складний процес перенесення популяції збудника на спільноту чутливих (без виробленого імунітету) людей. Епідемічний процес відображають як в календарному часі t , так і у внутрішньому часі τ , що фіксує розвиток інфекційної хвороби серед множини осіб, які вражені інфекцією.

Епідемічний процес описує система нелінійних рівнянь у часткових похідних з відповідними початковими та граничними умовами. Розробку моделей в парадигмі ЕПІДДИНАМІКИ виконують на основі балансів «потоків» індивідуумів, які проходять основні стадії інфекційного процесу типу SEIR, де S – чутливі до збудника, E – в інкубації, I – інфіковані хворі, R – ті, що перехворіли. Математична модель Барояна-Рвачева епідемії має вигляд системи інтегро-диференціальних рівнянь

$$\frac{dX(t)}{dt} = -\frac{\lambda}{P(t)} X(t) \int Y(\tau, t) d\tau ; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U(\tau, t)}{\partial \tau} + \frac{\partial U(\tau, t)}{\partial t} = -\gamma(\tau) U(\tau, t) ; \quad (2)$$

$$\frac{\partial Y(\tau, t)}{\partial \tau} + \frac{\partial Y(\tau, t)}{\partial t} = \gamma(\tau) U(\tau, t) - \delta(\tau) Y(\tau, t) ; \quad (3)$$

$$\frac{dZ(t)}{dt} = \int \delta(\tau) Y(\tau, t) d\tau ; \quad (4)$$

До системи рівнянь (1) – (4) додають граничні умови у вигляді (5) – (6)

$$U(0, t) = \frac{\lambda}{P(t)} X(t) \int Y(\tau, t) d\tau ; \quad (5)$$

$$Y(0, t) = 0 ; \quad (6)$$

Початкові умови для рівнянь (1) – (4) мають вигляд (7) – (10)

$$X(t_0) = \alpha P(t_0) ; \quad (7)$$

$$Z(t_0) = (1-\alpha) P(t_0) ; \quad (8)$$

$$U(\tau, 0) = U(\tau) \text{ при } 0 < \tau < \tau_u ; \quad (9)$$

$$Y(\tau, 0) = Y(\tau) \text{ при } 0 < \tau < \tau_y ; \quad (10)$$

Де $t > 0$ – календарний час розвитку епідемії (дiб); $\tau > 0$ – внутрішній час розвитку інфекційного процесу; λ – середня частота передачі збудника від інфекційних хворих $Y(t)$ до чутливих до зараження осіб $X(t)$; $\gamma(\tau)$ – функція розвитку інфекційного періоду; P – населення території, яка уражена епідемією (тис. осіб); α – доля чутливих до інфікування осіб серед населення.

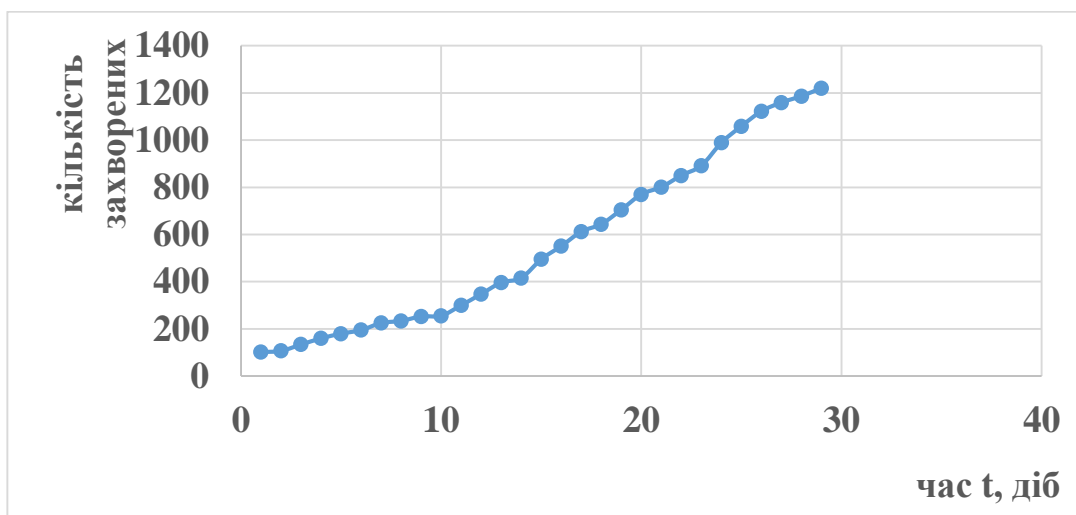
Ефективність моделі Барояна-Рвачева була продемонстрована у 1970-і роки при прогнозуванні більш як 170 епідемій грипу на території більше 100 міст СРСР [4]. Потім було реалізовано математичні моделі для дослідження епідемій і спалахів важливих інфекцій типу SEnImRF, де E_n – “n” стадій інкубаційного періоду; I_m – “m” стадій різних клінічних форм інфекційного захворювання; R – кількість перехворілих; F – кількість смертей [6].

Наразі невідома більшість функцій і параметрів епідемії COVID19 на тільки для Києва, але і будь-де в світі. Тому пряме використання моделі Барояна-Рвачева для прогнозування перебігу інфекції в методології SEIR або SEnImRF до закінчення першої хвилі COVID19 неможливе. Проте, дана модель стає придатною для чисельного експерименту з прогнозування захворюваності при повторному розповсюдженні коронавірусу.

ПРОГНОЗ ПІКУ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ОСНОВІ СТАТИСТИКИ

На думку авторів, для визначення піку захворювань важливим припущенням є логістична форма залежності сумарної кількості захворювань від часу. Території і країни можуть мати різні параметри цієї кривої при однаковому її типі. Пік визначаємо при досягненні половини захворювань від очікуваного максимуму на основі аналогій із іншими країнами, які вже подолали пік. При порівнянні із іншими країнами, для Києва перебіг подій (форма кривої) дещо схожий на британську модель, але більше він схожий на модель Чехії. У Великій Британії пік досягнуто 24 квітня, накопичення суттєвої стартової кількості (100 осіб) відбулось 5 березня. Тривалість циклу досягнення піку склала 50 дiб. В Чехії пік досягнуто на 24 добу, в Австралії – через 18 дiб [2].

Як визначити термін досягнення піку в Києві? Поки що відомий термін 10-кратного збільшення кількості захворювань. Для Києва цей термін дорівнює 24 доби, для Великої Британії – 13 діб, для Австралії – 12 діб, для Чехії – 10 діб. Термін досягнення піку приблизно в 1,5-4 рази довший за термін десятикратного збільшення кількості захворювань. На думку авторів, піку епідемії COVID19 в Києві слід очікувати приблизно на 50 день від стартової позиції на 30 березня. Це має відбутися 18 травня 2020 року. Це є оптимістичний сценарій, що відповідає чеській моделі перебігу епідемії COVID19. Криву захворювань в Києві побудовано за даними мінфіну [1] та наведено на рисунку 2.



Рисункок 2. Захворення у Києві з 30 березня по 27 квітня 2020 року

Таким чином отримано прогноз для піку захворювань на COVID19 в Києві. Похибка прогнозу орієнтовно дорівнює ± 4 доби. В основу прогнозу покладено чеську модель епідемії. На відміну від Чехії процес захворювання у Києві більш повільний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Минфин. Режим доступа: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/geography/australia/>
- [2] Coronavirus. Режим доступа: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- [3] Бейли Н. *Математика в биологии и медицине*/Н.Бейли – М.: Мир, 1970 – 326с.
- [4] Бароян О.В. *Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа для территории СССР* / О.В. Бароян, Л.А. Рвачев, Ю.Г. Иванников. – М.: Издат. ИЭМ. им. Н.Ф. Гамалеи, 1977.– 546 с.
- [5] Леоненко В.Н. *Предсказание пиков эпидемий гриппа в Санкт-Петербурге с помощью популяционных математических моделей* / В.Н. Леоненко, Ю.К. Новоселова, К.М. Онг // Н.-т. вестник ИТМО. 2016. Т.16, № 6. – С. 1145–1148.
- [6] Leonenko V.N. *A computational approach to investigate patterns of acute respiratory illness dynamics in the regions with distinct seasonal climate transitions* / V.N. Leonenko, S.V. Ivanov, Yu.K. Novoselova // Procedia Computer Science. 2016, Vol. 80. – P.2402–2412.

Наук. керівник – к.т.н. Божко К.М.

УДК 621.039.58

*В. І. Фесенко, студентка гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Робота присвячена огляду сучасних існуючих системи радіаційного контролю Існують дозиметри як на основі лічильників Гейгера-Мюллера, так і на основі сцинтилятора, у роботі представлені сучасні детектори обох типів. Показана можливість створення дозиметра на основі платформи Arduino, що дозволяє легко модифікувати алгоритми обробки. Приведені дозиметри, що можуть бути приєднані до смартфона, і мають малі розміри, а також у формі годинника, проте такі пристрої мають низьку чутливість. Приведено найбільш досконалий спектрометр «Exploranium GR-130», проте його вартість не дозволяє використовувати його у якості особистого дозиметра.

Ключові слова: дозиметр, лічильник Гейгера-Мюллера, сцинтиляційний кристал, рентгенівське випромінювання, сектрометр.

ВСТУП

Існує два типи детекторів гамма випромінювання: на основі лічильників Гейгера-Мюллера [1] і кристалічні детектори на основі сцинтиляторів [2]. Кожен з цих детекторів має переваги і недоліки. До недоліків детекторів на основі лічильників Гейгера-Мюллера можна віднести те, що вони реєструють лише бета- і гамма-частинки, тобто вони не здатні реєструвати альфа-частинки.

Детектори на основі сцинтиляційних кристалів реєструють енергію альфа-бета- і гамма-частинки, проте дані детектори значно дорожчі за детектори на основі лічильників Гейгера-Мюллера, мають достатньо великі габарити. При зменшенні габаритів, як правило, суттєво зменшується і чутливість таких сцинтиляторів.

Нині існують безліч систем радіоактивного контролю, що базуються як на лічильниках Гейгера-Мюллера, так і сцинтиляційному кристалі, а використання сучасних мікроконтролерів, зменшує вартість і габарити таких пристроїв, а також дозволяє додати функції бездротової передачі даних, позиціонування та ін.

Отже, мета даної статті — порівняння існуючих пристроїв радіаційного контролю та їх аналіз.

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Для розгляду було обрано наступні існуючі пристрої радіоактивного контролю: «Вимірювач радіоактивності (радіометр) з Глонасс приймачем і передачею даних по Wi-Fi» Сергія Дронського, «Кишеньковий дозиметр нового покоління Atom Fast», Інтелектуальний дозиметр «Smart Geiger PRO» спектрометр «Exploranium GR-130» та годинник-дозиметр СИГ-PM1208M.

Більш детально розглянемо «Вимірювач радіоактивності (радіометр) з Glonass приймачем і передачею даних по Wi-Fi» [3], що показано на рис.1 Зовнішній вигляд радіометра представлено на рис. 1. Даний радіометр побудований на основі лічильників Гейгера-Мюллера БЕТА-2 [4], який чутливий до бета-випромінювання. Принцип роботи даного датчика полягає у іонізації газу в камері при польоті зарядженої частинки і подальшому лавинному пробі, що реєструється мікроконтролером.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд радіометра

Сигнали з датчиків через формуючі захисні ланцюги можна подавати напряму на входи мікроконтролера. В якості обчислювального ядра радіометру було вибрано платформу Arduino Nano. Автор додав додатковий формуючий елемент на здвоєному одновібраторі 564ФГ1. Дані одновібратори формують імпульси, для подачі на світлодіод, довжиною у 50 мкс та 2,5 мс відповідно. Світлодіод виступає індикатором радіоактивного випромінювання, та є резервною схемою сповіщення, при виході основного мікроконтролера з ладу.

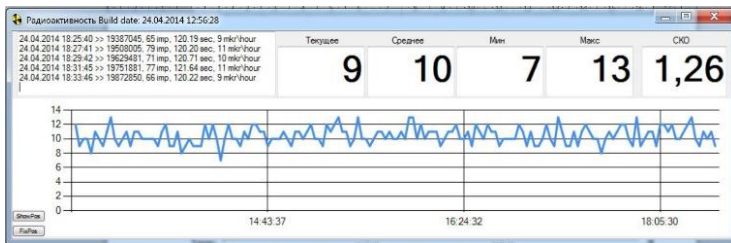


Рисунок 2. Результат роботи дозиметра при вимірюванні фонових значень

Також автор розробив адаптивний алгоритм вимірювання. Для цього в процесі рахунку імпульсів постійно перевіряється вміст лічильника, і якщо число імпульсів більше ніж 100, що відповідає підвищеному фону, лічильник скидається і виводиться відповідний сигнал на екран. Якщо перевищення немає, то вимірювання продовжується виборками по 120 секунд, після чого показання виводяться на вбудований дисплей та передаються у зовнішні системи наприклад на ПК, що показано на рис.2. Із сучасних функцій, розробка має Wi-Fi, що дозволяє приєднуватись до бездротової мережі і передавати отримані дані, та модуль Глонасс для позиціонування.



Рисунок 3. Кишеньковий дозиметр Atom Fast

Далі розглянемо Atom Fast КБ «Радар» [5]. У якості детектора використано сцинтиляційний кристал, що запаковано у непрозору фольгу та підключено до твердотільного фотопомножувача. Дозиметр Atom Fast за формою корпусу нагадує кишеньковий ліхтарик (рис 3), що зручно у якості індивідуального дозиметра. Дані передаються через Bluetooth LE, час роботи в такому режимі близько двох місяців. Крім Bluetooth, в дозиметрі є і вбудований зумер, що дозволяє використовувати його автономно і подає сигнали у разі небезпеки. Розроблене програмне забезпечення для Android-смартфонів дозволяє зберігати в архів всі вимірювання, також у програмі є карта на яку накладаються виміряні покази дозиметру. Якщо поблизу спостерігається збільшення радіаційного фону, то на смартфон приходять оповіщення.



Рисунок 4. Інтелектуальний дозиметр Smart Geiger PRO

На рис. 4. Показано вигляд інтелектуального дозиметра Smart Geiger PRO [6]. Даний дозиметр підключається до смартфона через аудіо роз'єм 3.5мм, та сумісний як з Apple так і з Android. В табл. 1 наведено технічні характеристики дозиметра.

Таблиця 1. Технічні характеристики Smart Geiger PRO

№ п/п	Вимірювані типи випромінювання	Гамма-випромінювання, рентгенівське випромінювання
1.	Діапазон вимірювання	0,05~200 мкЗв/год
2.	Точність вимірювання	$\pm 15\%$ (0.1~200 мкЗв/год)
3.	Тип датчику	напівпровідниковий
4.	Матеріал корпусу	пластик
5.	Лінійність	98% при 30~70% мкЗв/год



Рисунок 5. Годинник-дозиметр СИГ-PM1208М

Ще один дозиметр для індивідуального користування, виконаний у форм факторі наручного годинника СИГ-PM1208М [7] і показаний на рис 5. Використовують у якості ЧЕ лічильник Гейгера-Мюллера, дозволяє зберігати до 500 значень вимірів у енергонезалежній пам'яті та обмінюватись інформацією через вбудований ІЧ порт із ПК. Недоліком такого дозиметру є його низька чутливість, необхідність заміни елемента живлення та висока вартість.

Один із найбільш поширених сучасних систем радіаційного контролю - спектрометр «Exploranium GR-130» [8] (рис. 6). Даний пристрій працює в режимі радіометру, гамма-спектрометру та ідентифікатора ізотопів. Спектр ізотопів, що ідентифікує Exploranium GR-130 доволі великий: Am-241, Cs-137, Co-57, K-40, Ir-192, Ra-226 та Th-232. Спектрометр має можливість дротового підключення до ПК, а програмне забезпечення «Specview», що входить в комплект приладу дозволяє оброблювати отримані сигнали, будувати спектри випромінювання та архівувати отримані дані на жорсткому диску. Портативний спектрометр GR-130 у якості ЧЕ використовує сцинтиляційний детектор йодиду натрію та додатковий трубчастий детектор Гейгера-Мюллера. Отже, даний спектрометр GR-130 поєднує в собі функції чутливого лічильника Гейгера і багатоканального аналізатора.



Рисунок 6. Exploranium GR-130-130

Exploranium GR-130 дозволяє не тільки визначити потужність випромінення радіоактивного джерела, але й ідентифікувати природу випромінення за допомогою вбудованих бібліотек нуклідів і програмного забезпечення для аналізу. Додаткова трубка Гейгера-Мюллера розширює дальність дії приладу, дозволяючи значно збільшити швидкість аналізу.

ВИСНОВКИ

У даній статті проведено аналіз дозиметрів, що базуються як на лічильниках Гейгера-Мюллера, так і на сцинтиляційному кристалі. Зазначено їх основні переваги та недоліки, основною закономірністю, що була виявлена – при зменшенні сцинтиляційного кристалу, значно зменшується чутливість. Проте такі дозиметри підходять для використання у побуті і можуть повідомити про наявні потужні джерела випромінювання.

З розглянутих систем радіаційного контролю, найбільш досконалим є спектрометр «Exploranium GR-130», поєднуючи два типи чутливих елементів сцинтиляційний та Гейгера-Мюллера він виконує функції радіометру, гамма-спектрометру та може виявляти певні типи ізотопів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Акимов Ю.К. Газовые детекторы ядерных излучений. Дубна: Изд-во ОИЯИ, 2011. 243 с.
- [2] Болоздыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы применения. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 208 с.
- [3] Измеритель радиоактивности (радиометр) с Глонасс приемником и передачей данных по Wi-Fi. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/222891/>
- [4] Счетчик альфа-бета-гамма излучений БЕТА-2. [Електронний ресурс]– Режим доступа: <https://consensus-group.ru/katalog/alfa-beta-gamma-counters/33-beta-2>
- [5] Atom Fast. Дозиметр радиации для смартфона/планшета. Режим доступа: <https://atom-shop.ga/models/fast>
- [6] Smart Geiger Pro Режим доступа: <http://allsmartlab.com/eng/smart-geiger-pro/>
- [7] Дозиметр индивидуальный СИГ-PM1208M [Електронний ресурс]– Режим доступа: <https://nerkon.ru/catalog/dosimeters/byitovyie-dozimetryi/individualnyy-sig-rm1208m-indikator-gi-cl-radiometr.html>
- [8] Как выбрать дозиметр? [Електронний ресурс]– Режим доступа: <https://mydozimetr.ru/blog/stati/kak-vybrat-dozimetr/>

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

Секція 6.

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ МЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

UDC 611.127

V.Y. Pavlyk, student gr. PB-p72, senior lecturer, PhD, Matvienko S.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ANALYSIS OF THE CONDITION OF CONNECTING ELECTRODES TO THE BODY OF THE PATIENT WITH THE APPLICATION OF A DEFIBRATOR

Abstract. The application of defibrillators in medical practice is considered in the paper. It is shown that for automated defibrillators there is a problem of analyzing the wall of electrode connection to the patient's body during automatic defibrillator operation.

Keywords: defibrillator, electrode condition, capacitive resistance.

INTRODUCTION

Medical technology for diagnosis, treatment and resuscitation is used everywhere. Medical equipment companies are developing more and more new devices, and to date, many medical devices include a large number of different devices. Pulse devices are one such example of medical technology.

Pulse devices, namely defibrillators, are devices that restore the normal heartbeat by sending an electrical impulse to the heart. They are used to prevent or correct arrhythmias, irregular or too slow or rapid heartbeats. Defibrillators can also restore the heartbeat if the heart suddenly stops, namely to prevent dysrhythmias of the heart muscle, after which the body's natural pacemaker at the sinoatrial nodule of the heart is able to restore the normal sinus rhythm. [1]

THE GOAL OF THE WORK

The purpose of this work is to analyze the connection of contact electrodes to the human body and the method of their use of universal defibrillator in emergency situations.

TYPES OF DEFIBRATORS

Different types of defibrillators work differently. Defibrillators can prevent sudden death among people who are at high risk of life-threatening arrhythmia. These include implantable cardioverter defibrillators that are surgically placed inside your body, and portable cardioverter defibrillators that rest on your body.

Manual external defibrillators require the knowledge of a healthcare professional. They are used in conjunction with an electrocardiogram, which may be separate or embedded. The healthcare provider first diagnoses the heart rhythm and then manually determines the voltage and timing of the electric shock. These units are primarily located in hospitals and some ambulances. [2,3] Manual internal defibrillators deliver a blow through a contact group of electrodes placed directly on the heart. [2,3] They are mainly used in the operating room and, in some cases, in the emergency department during the open heart procedure.

Automated External Defibrillators (AEDs), which are found in many public spaces, have been designed to save the lives of people who have a sudden cardiac arrest. Automated external defibrillators (Fig. 1) are designed for use by unprepared or briefly trained non-professionals. AEDs contain heart rate analysis technology. As a result, it does not require the presence of qualified medical personnel. [2]

AEDs can be fully automatic or semi-automatic. [3] A semi-automatic AED automatically diagnoses heart rhythms and determines whether a shock is required. If shock is recommended, the user must press the button to control the shock. Fully automated AED automatically diagnoses heart rate and advises the user to wait for the process to complete. Some types of AEDs come with advanced features such as "manual rework" or display.

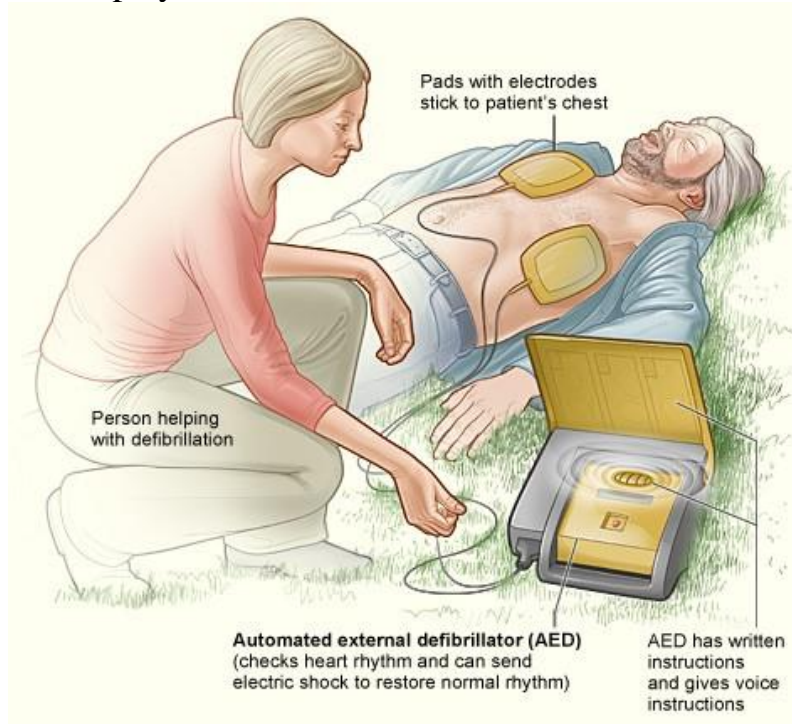


Figure 1. AED defibrillator when used [3].

It is also worth noting that widely used implantable cardioverter defibrillators, which are devices - implants similar to pacemakers (Fig. 2), and some of them can play its role. They constantly monitor the patient's heart rhythm and automatically introduce shocks for various life-threatening arrhythmias, according to the device's programming.

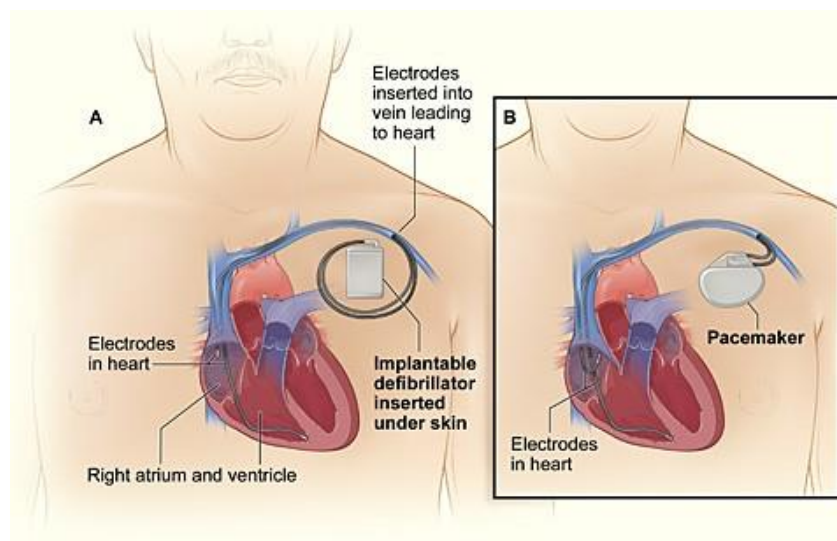


Figure 2. Comparison of implanted cardioverter defibrillator and pacemaker.

Many modern devices can distinguish between ventricular fibrillation, ventricular tachycardia, and more benign arrhythmias, such as supraventricular tachycardia and atrial fibrillation. When life-threatening arrhythmia is ventricular fibrillation, the instrument is programmed to immediately go into unshipped shock.

ANALYSIS OF CONNECTING ELECTRODES TO THE BODY OF THE PATIENT

Some defibrillators actively monitor the electrode connections and are able to recognize when the electrodes are applied to the patient, and immediately start electrocardiographic (ECG) monitoring. Such defibrillators / cardio monitors are capable of measuring the impedance of the combination due to the cable-electrode-patient matching system connected to the defibrillator. When controlling only the matching cable and the electrodes, the defibrillator reads only the capacitive resistance of these components, and the measurement of the capacitance must be extremely small. Under these conditions, the defibrillator / cardio monitor will display a straight line on the ECG, since the resistance of the capacitance indicates that the electrodes have not been added to the patient's body. When the electrodes are applied to the patient's body, the capacitive resistance increases above the threshold, the patient's ECG signal is received, and the display is activated to display the ECG signal. The doctor or defibrillator (in automatic mode) can then assess the patient's condition and begin treatment.

However, when pre-connecting the electrodes with the help of a matching cable, a capacitive impedance that exceeds the threshold value can be created, even if it is minimal. The defibrillator / cardio monitor only then activates the display, replacing the straight line with the signals supplied by the electrodes. However, if the electrodes are not connected to the patient's body, the defibrillator will perceive the resulting low noise as an asystole state. This may result in an alarm for the healthcare provider. These unjustified alarms can create destabilization in situations where the patient's life is at risk. Accordingly, the ability of the defibrillator to recognize the combination of the matching cable and the electrodes as a patient's asystole state during pre-attachment should be prevented before the electrodes are connected to the patient's body.

An opportunity to avoid such a situation where the patient's life could be significantly endangered is to control the capacity of the combination of the matching cable and the electrodes, which are pre-attached to the defibrillator created by the bag or package in which the electrodes are housed. In order to provide a sealed, high strength electrode housing, a bag or bag containing electrodes is typically made of a multilayer metal foil. Since capacitive resistance can be created between the electrodes and the metal of the foil package, such capacitive resistance will be added to the capacitive resistance of those matching cables and electrode cables used in defibrillation. This capacitive resistance is reduced by the use of material with high dielectric constant on the sides of the electrodes, which are opposite the walls of the bag or package of foil, thereby preventing the recognition of a defibrillator of excess capacity, which can be misinterpreted as a state of asystole.

CONCLUSION

Cardiovascular disease is the leading cause of mortality on Earth. According to WHO (World Health Organization), approximately 17 million people die from heart disease annually in the world, accounting for about 29 percent of all deaths. This indicates that the use of defibrillators is very relevant, but there is a problem of analyzing the state of electrode connection to the patient's body in the automatic mode of the defibrillator.

REFERENCES

- [1] Adler, Arnon; Halkin, Amir; Viskin, Sami (2013-02-19). "Wearable Cardioverter-Defibrillators". *Circulation*. 127 (7): 854–860.
- [2] P. M. Zoll et al., Termination of ventricular fibrillation in man by externally applied electric countershock, *NEJM*, 254(16), 1956, pp. 727—732
- [3] Jolley, Matthew; Stinstra, Jeroen; Pieper, Steve; MacLeod, Rob; Brooks, Dana; Cecchin, Frank; Triedman, John (2008). "A Computer Modeling Tool for Comparing Novel ICD Electrode Orientations in Children and Adults". *Hearth Rhythm*. 5 (4): 565–572.

Science. head - Senior Lecturer, c.t.s. Matvienko S. M.

УДК 535.2:616-71

Д. В. Бондарєв, студент гр. ПБ-82мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ЕТАЛОННИХ ВИМІРЮВАНЬ БІОМЕДИЧНОГО ФОТОМЕТРУ

Анотація У даній роботі розглядається залежність розсіяння від товщини оптично мутного тіла при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами. У якості зразка обрано безбарвну поліетиленову плівку товщиною 0,1 мм. Використано лазерний діод з довжиною хвилі 650 нм та потужністю 5 мВт та фотометричну систему. Наведено вигляд системи та принцип її роботи. Описано залежності яскравості розсіяного світла за отриманими результатами.

Ключові слова: еліпсоїдальний рефлектор, фотометрія, лазер, оптично мутне середовище

ВСТУП

Сьогодні найбільш поширеними методами для проведення діагностики людського організму є ультразвукова діагностика, магнітно-резонансна томографія та комп'ютерна томографія. Ці методи хоч і надають необхідну інформацію про стан організму, але водночас завдають шкоди. Тому широкої популярності набирає оптична діагностика.

Для масового використання фотометричних діагностичних приладів необхідно мати базу даних з результатами дослідів різних біологічних тканин. Для цього перш за все потрібно створити систему еталонних вимірювань.

Одними з основних показників біологічної тканини при взаємодії зі світловим випромінюванням є коефіцієнти заломлення та пропускання. Для визначення коефіцієнта дифузного відбивання потрібно реєструвати суму всіх світлових потоків, які розповсюджуються після відбивання за всіма напрямками в межах тілесного кута 2π . [1] Найчастіше дану умову виконують за допомогою використання інтегруючої сфери або системи дзеркал. У нашому випадку ми будемо використовувати еліпсоїдні рефлектори.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є підвищення точності визначення показників розсіяння для фотометрії біологічних тканин, за допомогою використання еліпсоїдного рефлектора.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1 зображена система для отримання еталонних вимірювань біоідемічного фотометру за допомогою дослідження відбитого та пропущеного лазерного випромінювання еліпсоїдальними рефлекторами.

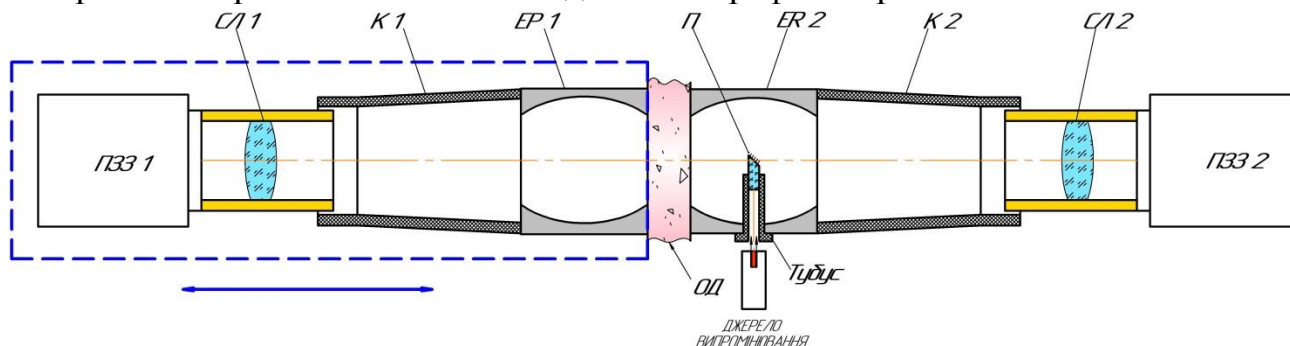


Рисунок 1. Схема досліджувачої системи

Вона складається з двох фотокамер на основі ПЗЗ матриць (ПЗЗ 1, ПЗЗ 2) та системи лінз (СЛ 1, СЛ 2), лазерного джерела випромінювання довжиною хвилі $\lambda=650$ нм з максимальною вихідною потужністю $P_B=5$ мВт.; джерела живлення – 5 В; 0,9 А (USB3.0). Установка має систему еліпсоїдальних рефлекторів [2] (ЕР 1, ЕР 2), та конусів (К 1, К 2).

Лазерне випромінювання проходить через тубус та призму (П) потрапляє на зразок який досліджується, в результаті світло розсіюється. Для точної реєстрації розсіяного випромінювання використовуємо еліпсоїди обертання [3-4]. За допомогою камер які під'єднані до ноутбуку з програмним забезпеченням ми робимо одночасно знімки пройденого та заломленого розсіяного світла.

Приклади отриманих фотометричних знімків наведені на рис. 2 та 3. В ролі досліджуваного об'єкту виступає прозора безбарвна поліетиленова плівка. Вона як і біологічні тканини є оптично мутним середовищем. Тому може використовуватися для отримання базових характеристик взаємодії оптично мутного середовища зі світлом.

Дослідження проводилися для отримання показників розсіяння в залежності від товщини зразка. В нашому випадку ми маємо результати від 0,1 мм до 10 мм.

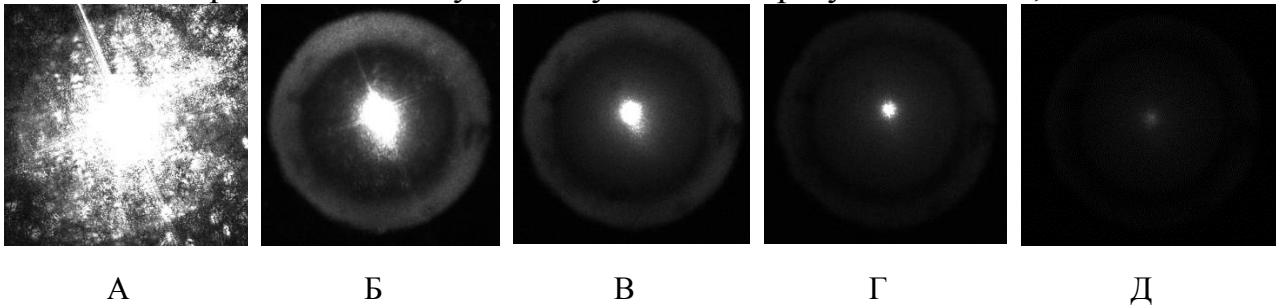


Рисунок 2. Фотометричні знімки на пропускання: А) 0,1 мм, Б) 2,5 мм, В) 5мм, Г)7,5 мм Д) 10 мм

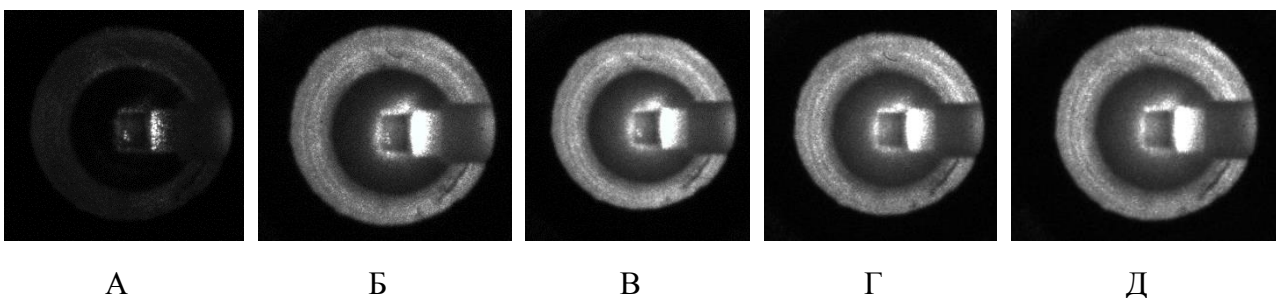


Рисунок 3. Фотометричні знімки на відбивання: А) 0,1 мм, Б) 2,5 мм, В) 5мм, Г)7,5 мм Д) 10 мм

З рис. 2 А помітно що використання даного джерела світла призвело до засвічування камери при малих товщинах. Розглядаючи інші фотометричні знімки помітно, що яскравість на рис 2 змінюється більш помітно ніж на рис. 3 при зміні товщини зразка.

Для якісної обробки знімків використовуємо зонний аналіз. Основним критерієм оцінки буде яскравість. Результати обрахунків та їх характеристики наведені на рис. 4.

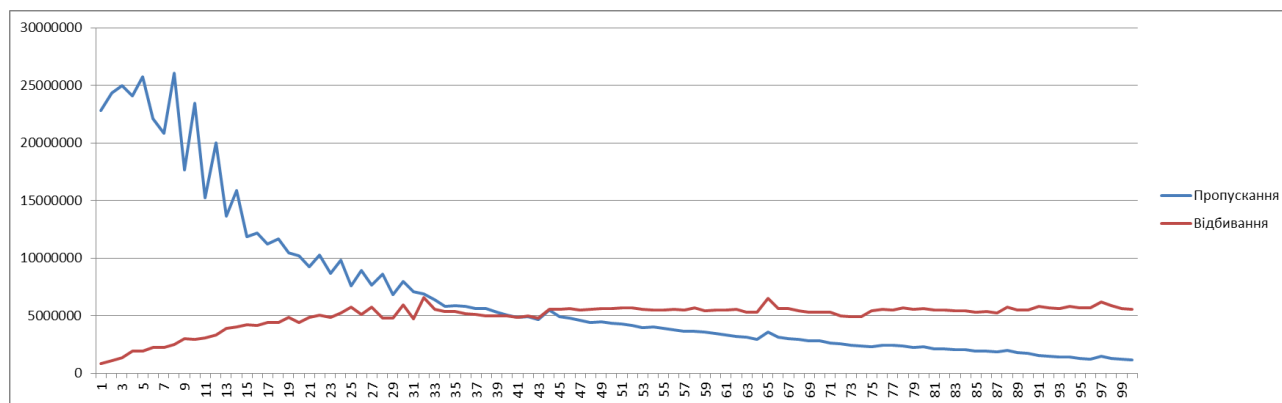


Рисунок 4. Залежність яскравості від товщини зразка

Розглянувши графіки слід звернути увагу на наступні моменти: сумарна яскравість при пропусканні та відбиванні не є сталою, значення яскравість при пропусканні та відбиванні є близьким за товщини зразка від 4 мм до 4,2 мм.

ВИСНОВОК

Дане дослідження надає нам побачити базові характеристики взаємодії когерентного випромінювання з оптично мутним середовищем. Залежність яскравості від товщини об'єкта не лінійна. Яскравість при пропусканні має більш стрімке падіння при збільшенні товщини до 3 мм а при подальшому потовщенні графік набуває більш пологого вигляду. Водночас яскравість відбитого світла збільшується менш стрімко та при збільшенні товщини зразка від 4,5 мм збільшення яскравості є незначним. Для більш точних показників необхідно провести дослідження використовуючи джерела когерентного випромінювання з іншими частотами та різною потужністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности / Арккадий Сергеевич Топорец. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 191 с.
- [2]М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and A.I. Nagorny, «Control of optical clearing of biological tissue by ellipsoidal reflectors method», *Microsystems. Electronics and Acoustics*, vol.24, no.2, pp. 6 – 13, 2019.
- [3]М.А. 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.
- [4]М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych, «Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method», *Devices and Methods of Measurements*, vol.10, no. 2, pp. 160 – 168, 2019.

Наук. керівник – к.т.н., доцент, Безуглий М.О.

УДК 615.8

П.В. Білецький, студент гр. ПБ-92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНТЕГРОВАНА СТИМУЛЯЦІЯ ІМУНІТЕТУ ПАЦІЄНТА ПРИ ЗНИЖЕНИХ ФУНКЦІЯХ ОРГАНІЗМУ

Анотація. В роботі йдеться про можливість покращення загального стану та підвищення ефективності лікування, методом впливу інтегрованим електромагнітним світловим випромінюванням на біологічні організми.
Ключові слова: імунітет, лазерна акупунктура, електромагнітне випромінювання, живі організми, лікування

ВСТУП

Зараз дуже поширене застосування лазерної акупунктури, що представляє собою вплив лазерного випромінювання на точки та зони акупунктури. [1-2] Підсилюючи ефект, лазерну акупунктуру застосовують з спільно з медикаментозним лікуванням та іншими лазерними методами. Вибираючи різні режимів опромінювання, можемо покращити ефективність лікування. Тому можемо побачити необхідність у розробці нових та більш впливових методів лазерної акупунктури на активні зони та точки, суть яких полягає в нових комбінаціях довжини хвилі та різного випромінювання і відповідно до цих методів маємо рекомендації щодо створення відповідної апаратури. До лазерного випромінювання можемо додавати електромагнітне, акустичне, магнітне та інші випромінювання. В роботі [4] показані результати експериментального дослідження впливу низько енергетичного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону на загальний стан таких біологічних об'єктів, як корови. В дослідженні використовували лазерну акупунктуру з вищезгаданим випромінюванням.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В лазерній акупунктурі можна використовувати неперервне випромінювання, проте ефективнішим є імпульсне або модульоване, де частота залежить від типу патології. В біологічному організмі всі елементи взаємопов'язані, це означає що кожен з них змінює свій стан змінивши інший елемент та систему в цілому. При оптимальних дозах впливу низько енергетичне лазерне випромінювання здійснює енергетичну стимуляцію, що викликає процеси активізації саморегуляції. Слід зауважити, що когерентне випромінювання по-особливому впливає на біологічні структури дефектованих клітин та майже не впливає на нормальні, здорові клітини.[3]

В даному дослідженні опромінювали тварин по основних біологічно активних зон (БАЗ), що відповідають загальному стану, імунітету біологічного організму. Використовували когерентне електромагнітне випромінювання що мало довжину хвилі 0,650 мкм та некогерентне що мало довжину хвилі 0,510 мкм. Випромінювання здійснювали з частотою модуляції 10 Гц. Вплив на БАЗ здійснювався за часом експозиції 3 хв, що розраховано виходячи з того, що в даних зонах у тварин товстий шар шкіри, через який повинно проникнути випромінювання. Таким чином використовуючи когерентне монохроматичне випромінювання з одночасним впливом шумових компонентів випромінювання

отримано вплив на кровоносну систему, оскільки після проникнення через шкіру електромагнітне випромінювання досягає кровоносної системи. Як відомо одним з показників імунітету є показник к-сті гемоглобіну. На таблицях нижче представлені результати експерименту на двох об'єктах, коровах семи та дев'яти років.

Таблиця 1- Показники крові при опромінюванні БАЗ [4] Об'єкт №1.
Корова, 7 років

<i>Найменування показників</i>		<i>Результат по впливу</i>	<i>Результат після впливу</i>	<i>Норма</i>
Гемоглобін		84 г/л	94 г/л	99-129 г/л
Еритроцити		$4,25 \cdot 10^{12}/\text{л}$	$4,72 \cdot 10^{12}/\text{л}$	$5,0-7,5 \cdot 10^{12}/\text{л}$
Лейкоцити		$5,81 \cdot 10^9/\text{л}$	$5,97 \cdot 10^9/\text{л}$	$4,5-12,0 \cdot 10^9/\text{л}$
Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)		1,9 мм/год	1,9 мм/год	0,5-1,5
Нейтрофіли	Міелоцити	-	-	-
	Метаміелоцити	-	-	0-1
	Паличкоядерні	2	2	2-5
	Сегментоядерні	16	23	20-35
Еозинофіли		34	23	5-8
Базофіли		0	1	0-2
Лімфоцити		47	52	40-65
Моноцити		2	0	2-7

Таблиця 2- Показники крові при опромінюванні БАЗ [4] Об'єкт №2.
Корова, 9 років

<i>Найменування показників</i>		<i>Результат по впливу</i>	<i>Результат після впливу</i>	<i>Норма</i>
Гемоглобін		89 г/л	101 г/л	99-129 г/л
Еритроцити		$4,42 \cdot 10^{12}/\text{л}$	$6,91 \cdot 10^{12}/\text{л}$	$5,0-7,5 \cdot 10^{12}/\text{л}$
Лейкоцити		$5,8 \cdot 10^9/\text{л}$	$6,12 \cdot 10^9/\text{л}$	$4,5-12,0 \cdot 10^9/\text{л}$
Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)		1,8 мм/год	1,9 мм/год	0,5-1,5
Нейтрофіли	Міелоцити	-	-	-
	Метаміелоцити	-	-	-
	Паличкоядерні	2	-	-
	Сегментоядерні	23	22	20-35
Еозинофіли		16	13	5-8
Базофіли		0	-	0-2
Лімфоцити		63	63	40-65
Моноцити		0	1	2-7

Вплив випромінювання здійснювався безконтактно на відстані 2 см від поверхні шкіри тварини, площа впливу становила $S = 0,6 \text{ см}^2$, цього достатньо для опромінювання БАЗ. Враховуючи вищенаведені показники, розрахована доза опромінювання становила 0,82 Дж/см². Використані в даному методі режими опромінювання можуть стати основою нових технічних рішень при розробці нового обладнання для фізіотерапевтичного лікування.

Тому, на підставі проведеного аналізу теретичних та експериментальних досліджень можна запропонувати метод інтегрованого впливу на організм світловим випромінюванням когерентної та некогерентної змішаної структури із застосуванням магнітних полів та гідропотоків різної швидкості руху. Такий метод надає можливості підвищити ефективність лікування досить поширених захворювань.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження довели високу ефективність впливу низько енергетичного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону на підвищення імунітету живих організмів. Покращило їх клінічний стан та привело його до стабільності. Отримані позитивні результати спрямовують подальші дослідження на розробку відповідних терапевтичних та діагностичних приладів та систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Гримблатов В.М. Современная аппаратура и проблемы низкоинтенсивной лазерной терапии // Сб. Применение лазеров в биологии и медицине. – К.: 1996. - С. 123-127.
- [2] Илларионов В.Е. Техника и методики процедур лазерной терапии: Справочник. - М., 1994. – 120 с.
- [3] Чжу Лянь. Руководство по современной чжень-цзютерапии. Под ред.. проф. И.Кочергина. Пер. с кит. – М.: Медгиз, 1959. - 272 с.
- [4] Дастжерді А.Х.М., Клочко Т.Р., Голопура С.І., Колесник В.Я., Тимчик Г.С., Дослідження стимуляції захисних функцій організму інтегрованим електромагнітним випромінюванням, Вісник НТУУ „КПІ”. Серія приладобудування. – 2008. – Вип.35. – с. 154-160
- [5] А.Х.М. Дастжерді, В.І. Скицюк, Т.Р. Клочко, С.І. Голопура, Стимуляція регенерації біологічних структур випромінюванням фізіотерапевтичних приладів серії «ПРОМІНЬ», Фотобіологія та фотомедицина, № 3(4), с. 102-105, 2010
- [6] Дастжерді А.Х.М., Клочко Т.Р., Коваленко Є.О., Карпова І.С., Гетьман К.І., Сащук О.В., Підгорський В.С., Вплив режимів світлового електромагнетного випромінювання на еритроцити барана, Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2008. – Вип.36. – С.143-150.

Наук. керівник – к.т.н., доц. каф. виробництва приладів, с.н.с. Клочко Т.Р.

УДК 616-71

І.Є. Гребень, студент гр. ПБ-п72
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА БІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗАБОРУ КРОВІ

Анотація В даній роботі проведено аналіз біометричних методів для ідентифікації особистості, розглянуто їх основні недоліки та переваги. Запропоновано використання методу фотоплетизмографії дослідження об'єму крові для ідентифікації людини в автоматизованій системі для забору крові. Розроблено структурно-функціональну схему автоматизованої біометричної системи перфорації шкіри з забором крові та описано її роботу, яка забезпечить високий рівень якісного аналізу зразка та дозволить мінімізувати затрати на проведення аналізу.

Ключові слова: біометрична ідентифікація, автоматична система, динамічні методи, фотоплетизмограма, забір крові, перфорація, класифікація методів, структурно-функціональна схема.

ВСТУП

При встановленні діагнозу хворому, моніторингу лікування, проведенні діагностики організму, проходження профілактичних медичних оглядів для моніторингу стану здоров'я використовуються клінічні аналізи капілярної крові. Значну загрозу безпеці пацієнтів в лікарнях та інших медичних установах становлять помилки при автентифікації та ідентифікації, що виникають на етапах відбору зразка, оформлення відповідної документації та при оголошенні готового результату, що пов'язані з людським фактором. На жаль велика кількість таких помилок можуть бути фатальними для пацієнта. Наприклад, дослідження, які проводились у Великобританії [1], зафіксували 3273 випадки неправильного лікування за 13 років (введення пацієнту непоказаних лікарських препаратів або проведення непризначених йому процедур), пов'язаних з неправильною ідентифікацією пацієнта. Також, велика кількість таких помилок залишається нерозпізнаною. В одному з досліджень [2] медичним сестрам і лаборантам пропонували провести звичайні для них маніпуляції на манекенах, в процесі яких спостерігали за правильністю дій медичного персоналу з проведення ідентифікації пацієнта. Дослідження проводилося на трьох манекенах, один з яких мав невідповідність за датою народження і номером картки між інформацією на ідентифікаційному браслеті і на напрямку, виданому медичній сестрі. Учасники дослідження не знали, що воно присвячене правильної ідентифікації пацієнта. Тільки 61% медичних працівників виявили помилку, а 39% виконали маніпуляції не тому пацієнтові, з них 15% так і не зрозуміли, у чому була їх помилка.

На жаль, інформації про поширеність таких помилок в Україні немає, проте можна вважати, що вони трапляються не рідше, ніж в інших країнах світу.

Основна причина неправильної ідентифікації пацієнта - людський фактор (цілеспрямований чи випадковий). На сьогоднішній день в умовах сучасної проблеми COVID-19 інтенсивний темп роботи лікарів і медичного персоналу, паніка серед населення, одночасне надходження запитів від тисячі пацієнтів, надходження пацієнтів з однаковими прізвищами, близнюків, госпіталізація іноземців з іменами, які важко вимовляються і погано запам'ятовуються, призводять до того, що пацієнтам проводять не ті обстеження, встановлюють хибні діагнози, що призводить до не правильних дій та медичних рішень.

Метою розробки автоматизованої системи для забору крові стала біометрична ідентифікація пацієнта одночасно зі взяттям аналізу, що дозволить прибрати людський фактор, тим самим мінімізувати помилки встановлення особистості пацієнта та відповідності результатів досліджень аналізу.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАЦІЄНТА

Для використання в автоматизованій системі для забору крові ідентифікації пацієнта був проведений аналіз існуючих методів [3] та розроблено класифікацію систем ідентифікації людини, яка показана на рисунку 1. З усіх існуючих методів біометрична система має суттєву перевагу над іншими, оскільки забезпечує контроль доступу, автентифікацію користувача та ідентифікацію.

На сьогоднішній день існуючі методи та технології біометричної ідентифікації можна розділити на основні дві групи:

- статичні, що використовують унікальні статичні фізіологічні параметри людини (ДНК, форма рогики ока, візерунки вен та інші)
- динамічні, що засновані на динаміці поведінки у процесі будь-якої дії.

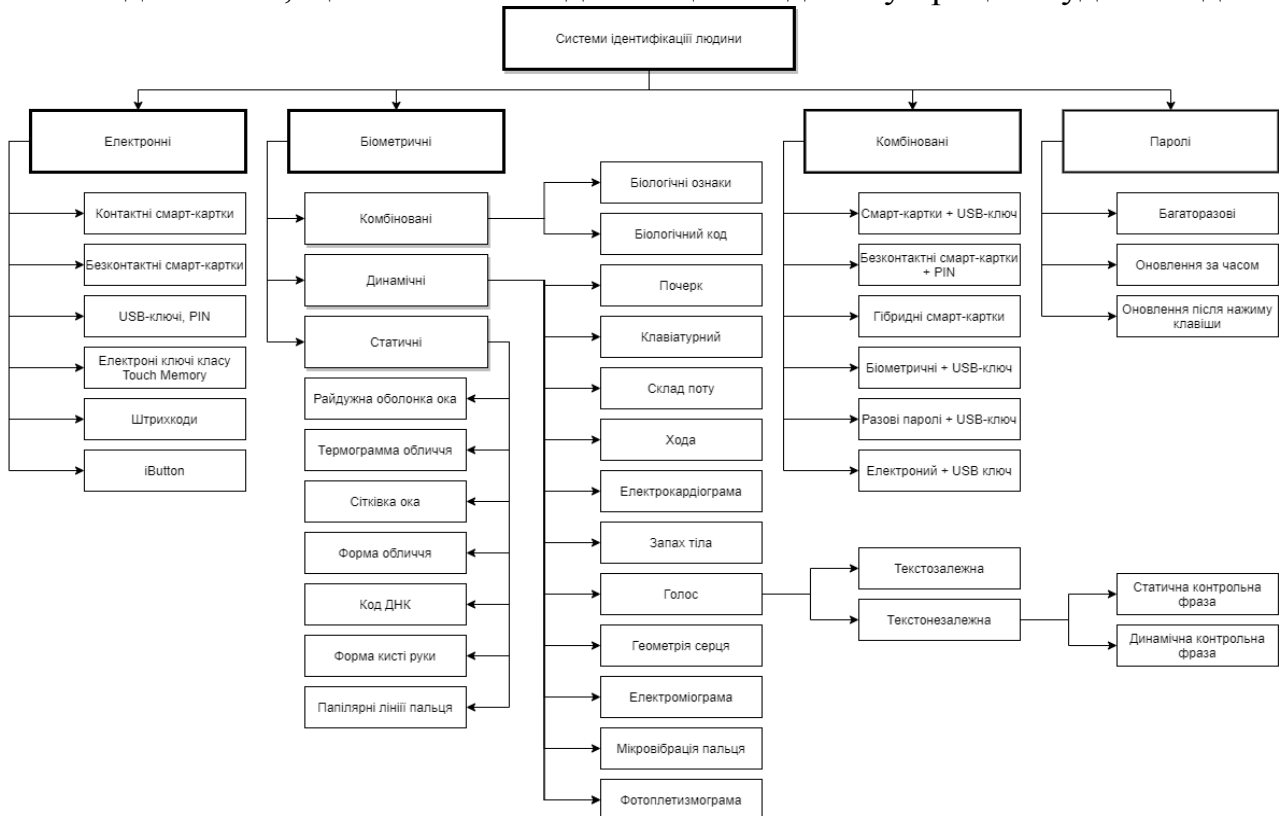


Рисунок 1. Класифікація методів ідентифікації пацієнта

Серед усіх існуючих методів для реалізації в автоматизованій системі забору крові найкраще підходить метод розпізнавання фотоплетизмограми, так як дозволить забезпечити:

- Захист від навмисної підміни особи (страхові випадки, та інше).
- Велику точність ідентифікації.
- Високу швидкість проведення ідентифікації.
- Легкість проведення аналізу, що забезпечується малою конструкцією датчику, що легко встановлюється.

- Індивідуальність (не можливість імітувати чи підробляти)
- Стабільність (фотоплетизмограма незмінна протягом життя людини)
- Унікальність (фотоплетизмограма досить різна для кожної людини).

Основною перевагою біометричних систем є складний процес фальсифікації даних для отримання інформації та контролю. Тому запропонований метод, що використовує сигнал реєстрації кров'яного потоку через палець людини має високий ступень захисту.

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЛОК-СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБОРУ КРОВІ

Запропонована автоматизована система для забору крові [5] з біометричною ідентифікацією особи дозволить забезпечити захист від помилок: прізвище особи пацієнта з метою використання результатів дослідження іншою особою, взяття крові іншої особи після запису та маркування пробірки; заміна досліджуваної речовини в пробірках, що маркуються. Дана система використовує біометричну ідентифікацію пацієнта за допомогою розпізнавання за фотоплетизмограмою.

На даному етапі було запропоновано розробку блок-схеми для забору крові з ідентифікацією пацієнта, яка показана на рисунку 2.

Система працює наступним чином. Кисть пацієнта фіксується за допомогою модуля фіксації кисті. Даний модуль забезпечує фіксоване положення руки під час аналізу для більш точного детектування капіляру системою позиціонування голки та безболісного взяття зразка крові.

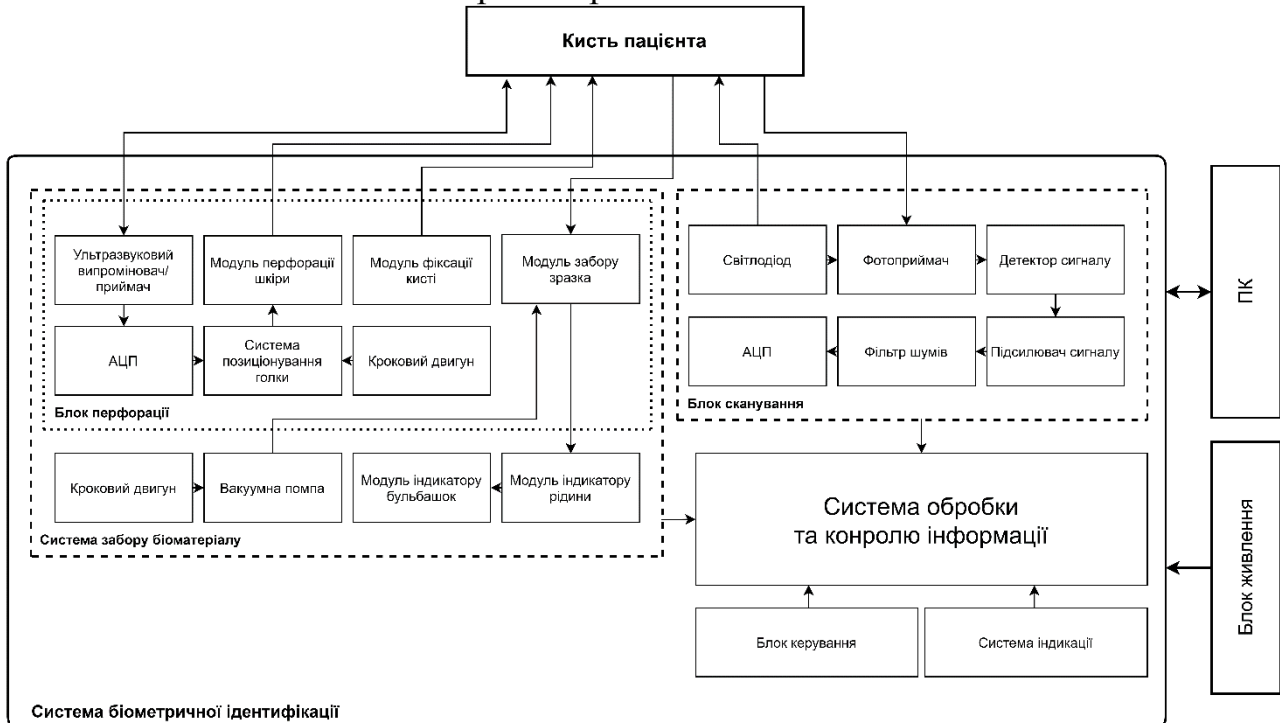


Рисунок 2. Структурна схема автоматизованої системи для забору крові

Система позиціонування голки у свою чергу приймає інформацію про капілярну сітку від ультразвукового приймача, після якого сигнал перетворюється у цифровий за допомогою АЦП. Кроковий двигун забезпечує рух модулю перфорації шкіри, за допомогою системи позиціонування голки,

який перфорує шкіру кисті пацієнта. Модуль забору зразка приймає кров за допомогою вакуумної помпи, яка наповнює необхідний об'єм крові у модулі забору зразка. Рух помпи забезпечується кроковим двигуном. Індикатор рідини встановлює наявність біоматеріалу у системі, та від нього кров проходить до модулю індикатору бульбашок, який оцінює наявність бульбашок повітря в отриманому зразку. Якщо зразок був взятий правильно, інформація надходить до системи обробки та контролю інформації

Для ідентифікації використовується світлодіод, який просвітлює шкіру кисті. Світло від неї надходить до фотоприймача, який генерує аналоговий сигнал. Детектування сигналу відбувається за допомогою детектору сигналу. Далі сигнал від детектору надходить до підсилювача, де через підсилення сигналу виникають зайві шуми, які прибирає фільтр шумів. Далі сигнал надходить до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), і від нього вже оцифрований сигнал надходить до системи обробки і контролю інформації.

ВИСНОВКИ

Запропонована розробка біометричної ідентифікації для автоматизованої системи аналізу крові дозволить використовувати її в якості альтернативи існуючих засобів та забезпечити високий захист від навмисної підміни результатів дослідження та виникнення появи помилок від людського фактору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Seiden S.C., Barach P. Wrong-side/wrong-site, wrong-procedure, and wrong-patient adverse events: are they preventable? Arch. Surg. 2006; 14 (1): 931—9.
- [2] Henneman Ph.L., Fisher D.L. et al. Patient identification errors are common in a simulated setting. Ann. Emerg. Med. 2010; 55 (6): 503—9.
- [3] Яковенко І. О., Рудий О. Д., Турчина М. О. IMPROVEMENT OF THE CREDIBILITY OF ANALYSIS OF ELECTROCARDIOGRAMS FOR BIOMETRIC PERSONAL IDENTIFICATION //Перспективні технології та прилади. – 2019. – №. 15. – С. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-18>
- [4] Яковенко І. О. и др. BIOMETRICAL IDENTIFICATION ON THE BASIS OF PHOTOPLETHYSMOGRAM FOR AUTOMATED MEDICAL SYSTEMS //Перспективні технології та прилади. – 2019. – №. 15. – С. 120-124. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-17>
- [5] Макарова Т.Д. Автоматизована система перфорації шкіри та забору крові / Т.Д. Макарова, І.О. Яковенко // XV Міжнародна науково-технічна конференція «XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018.-С.291-293.
- [6] <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26353>

Наук. керівник – асистент Яковенко І.О.

УДК 615.47

А.Г. Карпушева, студентка гр. ПБ-92мп., к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ

Анотація. Проведено огляд та критичний аналіз сучасного стану апаратів лазерної терапії, які використовуються в медицині. Досліджені тенденції розвитку та приведена їх класифікація. Запропонована ефективна структурна схема та новий принцип побудови автоматизованої системи лазерної терапії (АСЛТ).

Ключові слова: автоматизована система, лазерна терапія, біологічна тканина.

ВСТУП

На сьогоднішній день широкого розповсюдження набули медичні та косметологічні прилади, терапевтична дія яких заснована на впливі лазерним та поліхроматичним випромінюванням. Ці апарати показали високу ефективність при лікуванні досить широкого спектру захворювань, як при комбінованому впливі декількома впливаючими факторами, так і при окремому застосуванні дії оптичного та лазерного випромінювання [1].

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЛАЗЕРОТЕРАПЕВТИЧНИХ АПАРАТІВ

Лазерне випромінювання генерується та використовує різні активних середовищах: газоподібне, рідке або тверде. Хвильовий діапазон лежить від 1,2 мкм (інфрачервоне випромінювання). Лазеротерапевтичні апарати (ЛТА) можуть працювати як в безперервному, так і в імпульсному режимах випромінювання в дуже широкому діапазоні довжин λ хвиль від 100 нм (ультрафіолетове світло) до 1,2 мкм (інфрачервоне випромінювання) [2].

Сучасні лазерні терапевтичні апарати повинні відповідати багатьом часто суперечливим вимогам. Різноманітні методики і застосування ЛТА, як у медицині, так і в косметології, охоплюють максимальну універсальність пристроїв, що використовуються для досягнення найбільш ефективних методів лікувального впливу, які, у свою чергу, забезпечують наступні напрями [3]:

- робота в модульованих, не модульованих і імпульсних режимах;
- зовнішня модуляція випромінювання;
- дія декількох довжин хвиль;
- оптимальне просторове поширення лазерного випромінювання;
- надійний і постійний моніторинг параметрів випромінювання [4].

Лазерні терапевтичні апарати можна класифікувати (рис.1) по

- характерному ефекту впливу на тканини;
- області використання;
- принципу дії;
- типу активного середовища;
- режиму генерації;
- довжині хвилі;



Рисунок1. Класифікація лазерних терапевтичних апаратів

Найбільш ефективними, з нашої точки зору, є автоматизованої системи лазерної терапії (АСЛТ) універсальної дії з можливістю комплексного використання діючих факторів та полів [5,6]. Яскравим прикладом лінійки продукції даної технології може слугувати лазерний терапевтичний апарат "Лика-терапевт М", що здатен працювати в безперервному режимі випромінювання з наступними параметрами $\lambda=660$ нм, щільність потужності 50 мВт.

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ

Нами спільно з компанією «Фотоніка плюс» була випробувана перспективна структурна схема автоматизованої системи лазерної терапії зображена на рис.2.

Її перевагами є забезпечення підтримання нормованих значень потужності лазерного випромінювання на протязі всієї процедури і при перевищенні допустимих меж відбувається її коригування.

Приведений варіант реалізації автоматизованої системи лазерної терапії на основі використання потужних фабричних лазерних діодів та мікроконтролерів з додатковим контролем по оптичній потужності та температурі [7].

В Flash-пам'ять програм прописуються команди, управляючі функціонуванням мікроконтролера. Постійний записуючий пристрій використовується для зберігання даних, в процесі виконання команд (наприклад, наробіток годин апаратом). В якості тактового генератора використовується внутрішній генератор з зовнішнім кварцевим резонатором.

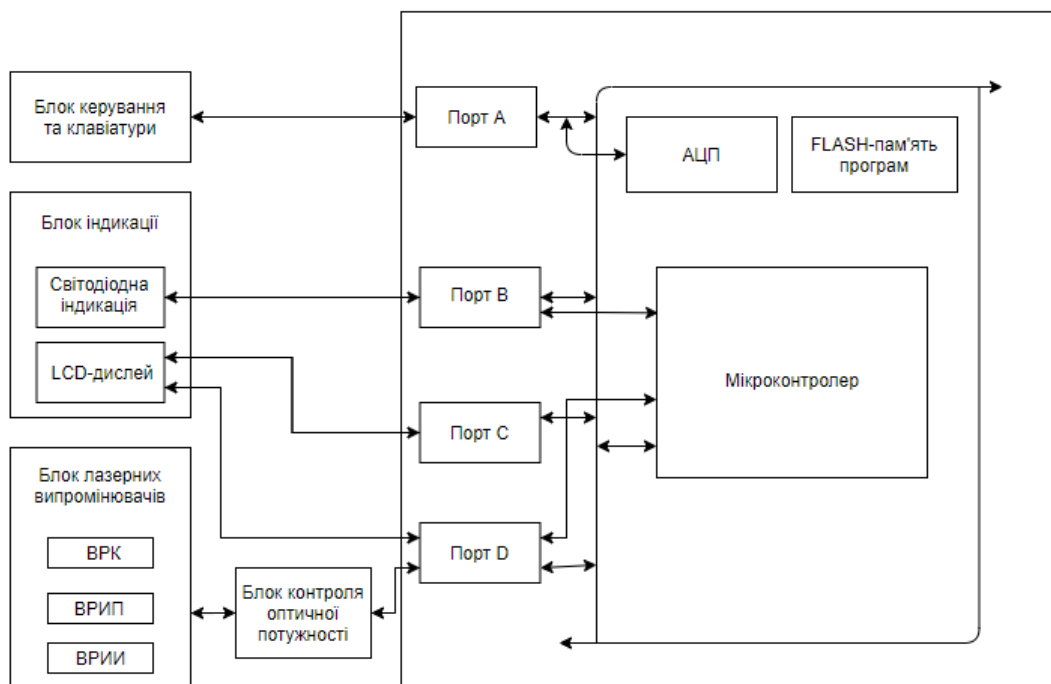


Рис.2 Структурна схема автоматизованої системи лазерної терапії

Її перевагами є забезпечення підтримання нормованих значень потужності лазерного випромінювання на протязі всієї процедури і при перевищенні допустимих меж відбувається її юстирування.

На рис. 2 приведено варіант реалізації автоматизованої системи лазерної терапії на основі використання фабричних лазерних діодів та мікроконтролерів.

В Flash-пам'ять програм прописуються команди, управляючі функціонуванням мікроконтролера. Постійний записуючий пристрій використовується для зберігання даних, в процесі виконання команд (наприклад, наробіток годин апаратом). В якості тактового генератора використовується внутрішній генератор з зовнішнім кварцевим резонатором.

Генератор створює тактовий сигнал, на базі якого формуються додаткові сигнали, які використовуються для тактування різноманітних модулів і блоків мікроконтролеру. За допомогою сигналів з широко-імпульсною модуляцією регулюються потужності випромінювання та модуляції, а за рахунок зміни потужності здійснюється контроль дози лазерного випромінювання.

Автоматизована система лазерної терапії працює наступним чином: Генерація лазерного випромінювання за вищеописаним принципом здійснюється за допомогою напівпровідникових лазерних модулів розміщених в змінних рукоятках типу «ВРВ 50» з можливістю генерації випромінювання з потужністю до 50 мВт та змінна рукоятка типу «ВРВ 250М» з можливістю генерації — до 250 мВт. В свою чергу контроль параметрів потужності випромінювання забезпечується блоком контролю оптичної потужності .

ВИСНОВКИ

Таким чином, для вирішення проблем автоматизації цілого спектру медичних процедур, особливо в лазерній терапії та хірургії, розроблений новий

принцип та структурна схема автоматизованої система лазерної терапії, яка включає і контроль температурних параметрів зони впливу лазерного випромінювання. Основною перевагою є блок контролю оптичної потужності, що запобігає людському фактору, адже обладнаний оптичними датчиками та блоки скринінгу температур. Розвиток напрямку автоматизації допоможе мінімізувати дію людського фактор під час проведення медичних процедурах та маніпуляцій, що на даний момент є , на жаль, вагомою причиною суттєвої кількості невдалих операцій, а також лікарських травм спричиненими невдалим медичним втручанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена // *Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування.* - 2014. - Вип. 47. - С. 156-162.
- [2]Терещенко М. Ф. Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням / М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський. // *Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування.* – 2012. – №44. – С. 90–97.
- [3]Тимчик Г. С. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко // *Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування.* - 2015. - Вип. 49. - С. 153-158.
- [4]Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - К. : *КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»*, 2019.- 288 с. ISBN 978-966-622-952-9 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [5]В. Ю. Рудик Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури /В. Ю. Рудик, М. Ф.Терещенко // *XI Міжнар. науково-техн. конф. «Приладобудування 2012: стан і перспективи»*, 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. с. 193 – 194.
- [6]Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - К.: *КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»*, 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
- [7]Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - К: *КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»*, 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 616-073.65

К. В. Корнієнко, студент гр. ПБ-п72
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕРМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ

Анотація. В роботі представлено аналітичний огляд термографії, як методу ранньої діагностики стану людини. Зокрема, розглянуто основи функціонування методу, його обмеження і переваги у практичному застосуванні. Охарактеризовано основні фактори, що впливають на точність проведення термографічних досліджень, а також два основних підходи до виконання термографічних вимірювань.

Ключові слова: термографія, неінвазивні методи діагностики, скринінг, новоутворення.

ВСТУП

Термографія це сучасний метод діагностики стану пацієнтів, що набуває все більшої популярності у медичній практиці, внаслідок повної неінвазивності його застосування. Зокрема, цей метод діагностики може використовуватись при вирішенні наступних завдань:

- визначення патологічних змін в організмі людини;
- діагностики ймовірних новоутворень;
- спостереження за ефективністю процесу лікування і реабілітації пацієнта.

Суть методу полягає в тому, що при проведенні термографії визначається теплова картина всіх частин тіла пацієнта. При цьому, в нормі більш висока температура реєструється в зоні великих кровоносних судин (сонної артерії, підключичної артерії, тощо), а також навколо очей та ротової порожнини. В свою чергу, температура поверхні обличчя, вушної раковини, надбрівної області та частини голови із волосяним покривом є значно нижчою за температуру інших частин тіла.

Як наслідок, у випадку реєстрації відхилень від нормального розподілу температур, що спостерігаються у пацієнтів при діагностиці, можливо робити і висновки про наявність патологічних змін в організмі людини. [1]

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у огляді основних особливостей проведення термографії, визначенні обмежень її застосування у сфері медицини та порівнянні перспектив її використання сумісно з існуючими методами діагностики.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно інформації наведеної в джерелах [2] існує два підходи до термодіагностики, які відрізняються як за методикою проведення обстеження, так і за часом, протягом якого оцінюють зміни в отриманій тепловій картині:

Перший підхід полягає у тому, що декілька термографічних досліджень проводяться протягом тривалого часу із визначеним інтервалом. При цьому, часовий інтервал таких досліджень може складати як декілька годин, так і добу, місяць і навіть декілька років (рис.1).

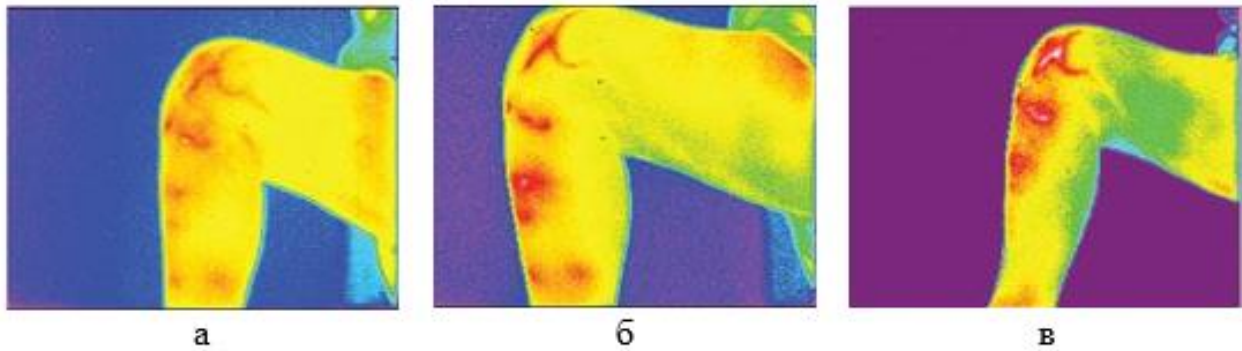


Рис. 1. Термографія колінного суглоба: а) після зняття гіпсової пов'язки; б) на 6-й день після зняття гіпсової пов'язки; в) на 10-й день після зняття гіпсової пов'язки. [1]

Другий підхід передбачає динамічну реєстрацію, при якій здійснюється вплив на тіло людини інфрачервоним випромінюванням, що піддається швидким змінам. Як наслідок, такий процес безпосередньо підсилює навантаження на місцеві або загальні механізми терморегуляції, та викликає комплекс вегетативно-судинних реакцій (рис.2), різних за вираженістю і швидкістю повернення до початкового рівня (після припинення впливу). [2]

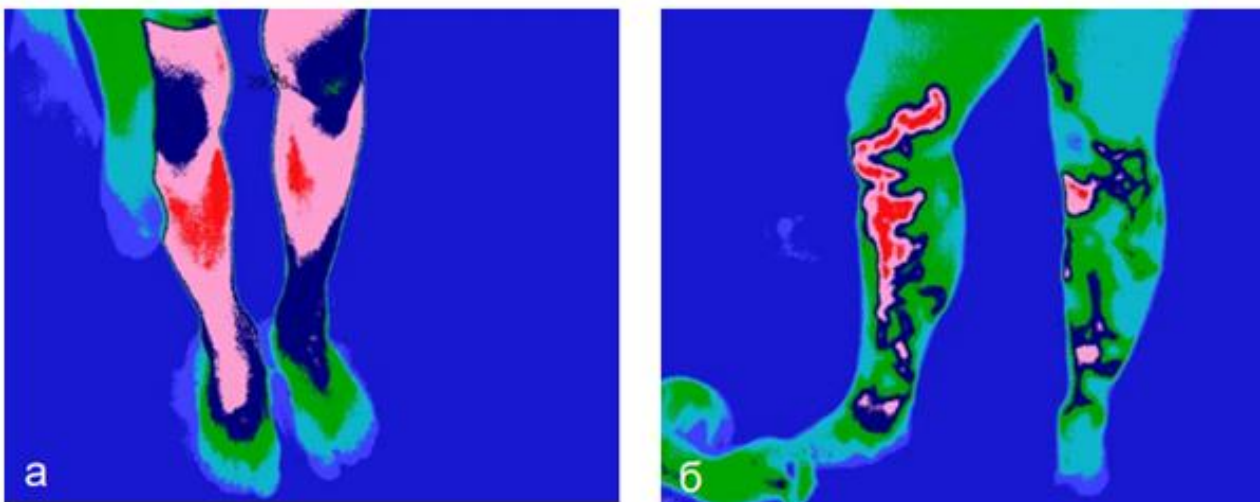


Рис.2. Приклад термографічної діагностики захворювання судин: а) облітеруючий атеросклероз судин нижніх кінцівок; б) варикозне розширення вен нижніх кінцівок. [1]

Як було зазначено раніше, зображення розподілу температур тіла при проведенні обстеження формується завдяки фізичним та фізіологічним чинникам. При цьому, на формування термографічної картини впливають [3]:

- конвекція (величина, яка визначається тепловтратами при швидкості повітря 1 м/с);
- число Грасгофа (параметр, який зв'язує швидкість та масу потоку повітря із температурою шкіри, кінематичною в'язкістю повітря). У процесі термографічних досліджень рекомендується дотримуватись показників мінімальної конвекції (при швидкості повітря 0,1 м/с);
- випаровування (втрата тепла, що визначається ступенем вологості шкіри, тиском насичених парів при визначеній температурі шкіри і тиском парів води в навколишньому повітрі);

• випромінювання (енергія, що пропорційна випромінювальній здатності шкіри та четвертому ступеню її абсолютної температури).

Варто зазначити, що термографія хоч і відноситься до методу променевої діагностики, однак на відміну від рентгенографії та комп'ютерної томографії не несе променевого навантаження. Найбільш широко цей метод застосовується у онкології, гінекології, патологій судин і травматології. [4] Більше того, згідно інформації наведеної у статті [5], такий метод досліджень є безпечним не лише при одноразовому і короткочасному використанні, а і при постійному його застосуванні, зокрема і під час вагітності та діагностики стану здоров'я у дітей.

Основними перевагами інфрачервоної термографії над іншими методами діагностики є:

- простота застосування і реалізації вимірювальної апаратури;
- повна неінвазивність методу, що запобігає виникненню дискомфорту пацієнта при проведенні досліджень;
- можливість подальшої класифікації отриманих зображень за допомогою методів машинного навчання, що застосовуються в інших напрямках біомедичних досліджень. [7, 8]

ВИСНОВОК

В роботі було проведено представлено аналітичний огляд термографії, як методу ранньої діагностики стану людини. Зокрема, розглянуто основи функціонування методу та охарактеризовано основні фактори, що впливають на точність виконання термографічних досліджень і формування результируючої термографічної картини розподілу температур тіла людини. Описано два основних підходи до виконання термографії тіла людини, що застосовуються у сучасній медичній практиці.

Окрім того, наведено основні переваги термографії, як методу діагностики стану людини, що дозволяє проводити моніторинг лікувальних процедур, а також діагностику патологій навіть у вагітних та дітей. Виявлено, що термографічні дослідження дають можливість діагностувати зміни та деформацію органів людини, або їх окремі патології ще до прояву перших симптомів. А також дають одночасне представлення про анатомічні і функціональні зміни в уражених зонах як до так, і після лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Хижняк Л.М., Хижняк Е.П., Іваницький Г.Р. Діагностичні можливості матричної інфрачервоної термографії. Проблеми і перспективи. Укр. нових мед. технол. 2012; 19 (4): 170-176. [Khizhnyak L.N., Khizhnyak E.P., Ivanitskiy G.R. The viagnostic opportunities of infrared thermography. Problems and perspectives. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012; 19 (4): 170-176. (In Ukr.)]
- [2] Андреев Р.С., Кальонов Ю.М., Якушкін А.В. та ін. Можливості інфрачервоної термографії з виявлення морфофункціональних характеристик людини (дітей і дорослих). Укр. московського ун-ту. Серія 23: антропологія. 2016 року; (3): 49-58. [Andreev R.S., Kalenov Yu.N., Yakushkin A.V. etal. Capabilities of infrared

thermography for detection of morphofunctional human characteristics (of children and adults). Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 23: antropologiya. 2016 року; (3): 49-58. (In Ukr.)]

- [3] Андреев Р.С., Кальонов Ю.М., Якушкін А.В. та ін. Можливості інфрачервої термографії з виявлення морфофункціональних характеристик людини (дітей і дорослих). Укр. московського ун-ту. Серія 23: антропология. 2016 року; (3): 49-58. [Andreev R.S., Kalenov Yu.N., Yakushkin A.V. et al. Capabilities of infrared thermography for detection of morphofunctional human characteristics (of children and adults). Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 23: antropologiya. 2016 року; (3): 49-58. (In Ukr.)]
- [4] Потехіна Ю.П., Курники Г.Ю., Голованова М.В., Ткаченко Ю.А. Можливості нової технології інфрачервої термографії в диференціальній діагностики меланоцитарних утворень шкіри. Укр. естетичної мед. 2012; (2): 83-88. [Potekhina Yu.P., Kurnikov G.Yu., Golovanova M.V., Tkachenko Yu.A. Possibilities of novel technique of infrared thermography in differential diagnosis of melanocytic skin neoplasms. Vestnik esteticheskoy meditsiny. 2012; (2): 83-88. (In Ukr.)]
- [5] Уракова Н.А., Ураков А.Л. Інфрачервона термографія голови плода - нова методика діагностики в акушерстві. Укр. ріс. військово-мед. академії. 2014; (3); 32-36. [Urakova N.A., Urakov A.L. Infrared thermography of fetal head as new methodic of diagnostics in obstetrics. Vestnik rossiyskoy voennomeditsinskoy akademii. 2014; (3); 32-36. (In Ukr.)]
- [6] 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.
- [7] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. Radioelectronics and Communications Systems, 62(1), 23-33.

Наук. керівник – асистент, Вонсевич К.П.

УДК 617.586.5:612.563

К. В. Корнієнко, студентка гр. ПБ-п72, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ЛЮДИНИ

Анотація. Проведені дослідження системи візуалізації теплових полів людини (СВТПЛ), що має підвищену точності з використанням тепловізійної системи для покращення діагностичної інформації та об'єктивності візуалізації при обстеженні біологічних тканин, органів та кінцівок людини, враховуючи особливості фізіології людини.

Ключові слова: термодіагностика, системи візуалізації, теплові поля.

ВСТУП

На сьогоднішній день широкого розвитку отримали системи медичної візуалізації: рентгенографія; комп'ютерна томографія; позитронно-емісійна томографія; ядерно-магнітний резонанс; ультразвукова діагностика; термодіагностика та інші.

Одним із перспективних і швидко розвиваючимся методом являється термодіагностика. Основними перевагами систем медичної термодіагностики є:

1. надійність діагностики для пацієнта (він лише фіксує випромінювання від поверхні тіла пацієнта);
2. велика надійність інформації при діагностиці (точність методу для певних груп захворювань становить близько 95%);
3. виявлення захворювання на початкових етапах його проявлення (інколи навіть до початку проявів основних симптомів);
4. достатньо простий моніторинг перебігу захворювання;
5. забезпечення можливості контролю стану здоров'я пацієнта в цілому;
6. можливість діагностування декількох патологій відразу;
7. отримання результатів в реальному часі при проведенні процедури. [1]

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження шляхів підвищення точності отримання діагностичної інформації та об'єктивності візуалізації біологічних тканин, окремих органів і кінцівок людини за допомогою термодіагностичних системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тепловізійна система діагностики (ТСД) в медичних цілях можна використовувати в вигляді, як ручних моделей так і стаціонарних. При виборі моделі важливими є два основні чинники: розмір і чутливість термодетектора. ТСД активно використовують для діагностики патології судин. При порушенні артеріального кровообігу (ангіоспазм, звуження або практично повний стеноз судини) визначається зона гіпотермії, яка за показниками зони дослідження, формою і розмірами відповідає області зниження кровотоку. При патології венозних судин, навпаки, зазвичай виявляють зони гіпертермії. [2]

Локальне підвищення температури в області поверхневих вен нижніх кінцівок вказує на високу ймовірність тромбофлебіту. Атеросклеротичні зміни судин також ведуть до порушення кровотоку і зміни температури, що дозволяє зафіксувати наявність атеросклеротичних бляшок. [2] Основним недоліком

цього метода є недостатня точність при обстеженні кінцівок пацієнта з дистальною гіпотермією, безпосередньо, при букеті різних захворюваннях, що супроводжуються дистальною гіпотермією кінцівок.

При прямому дослідженні шкіри в відділах кінцівок, їх температура дорівнює температурі навколишнього середовища. Тому на термограмах ці дистальні відділи не виділяються і не контуруються, що ускладнює аналіз термограм, особливо при ампутованих частинах кінцівок, і, як наслідок, низька інформативність. Зазначені недоліки не дозволяють виконати правильну діагностику тканин патології. [3]

Розглянемо один із варіантів підвищення точності, інформативності та об'єктивності візуалізації при обстеженні біологічних тканин. Для вирішення цієї проблеми, нами досліджувалась система візуалізації теплових полів людини (Рис.1) в складі тепловізійну камеру на штативі, персональний комп'ютер, з'єднаний з тепловізійною камерою і мережевим блоком живлення, та термоекран з терморегулятором, встановленим з можливістю розміщення пацієнта між ним і тепловізійною камерою, при цьому температура термоекрана відмінна від температури навколишнього середовища. В системі СВТПЛ використовується комплекс прецизійних контактних температурних датчиків, що кріпляться на пацієнті в зоні візуалізації та вимірювання і з'єднані з блоком порівняння, сигналізації та індикації, який через блок аналізу температурних градієнтів (БАТГ) підключений до персонального комп'ютера та термоекрану з терморегулятором.

Використання прецизійних контактних температурних датчиків (ПКТД), що кріпляться на біологічній тканині пацієнта в зоні візуалізації, дають можливість додатково вимірювати реальні значення температури в зоні контролю, а блок БАТГ дає можливість фіксувати мінімальні зміни температури, що зв'язані з патологією, а не звичайні фізіологічні коливання температури тіла пацієнта.

Ці значення температур з ПКТД поступають в блок порівняння, сигналізації та індикації (БПСІ), де зрівнюються зі значеннями отриманими із безконтактної тепловізійної камери, по значенню відхилення змінюється значення температури термоекрану на фоні, якого проводиться вимірювання та візуалізація біологічного об'єкту. Програмно змінюючи температуру термоекрану досягаємо високоінформативної візуалізації зони контролю кінцівок, виділяючи значення градієнтів температур в блоці БАТГ, що зменшує вірогідність діагностичної помилки, відсіюючи діагностично значиму інформацію від звичайних фізіологічних коливань температури пацієнта. (Рис.1). Запропонована система використовує нешкідливий та безпечний метод, і може багаторазово застосовуватись при оцінці динаміки змін температур кінцівок. [4]

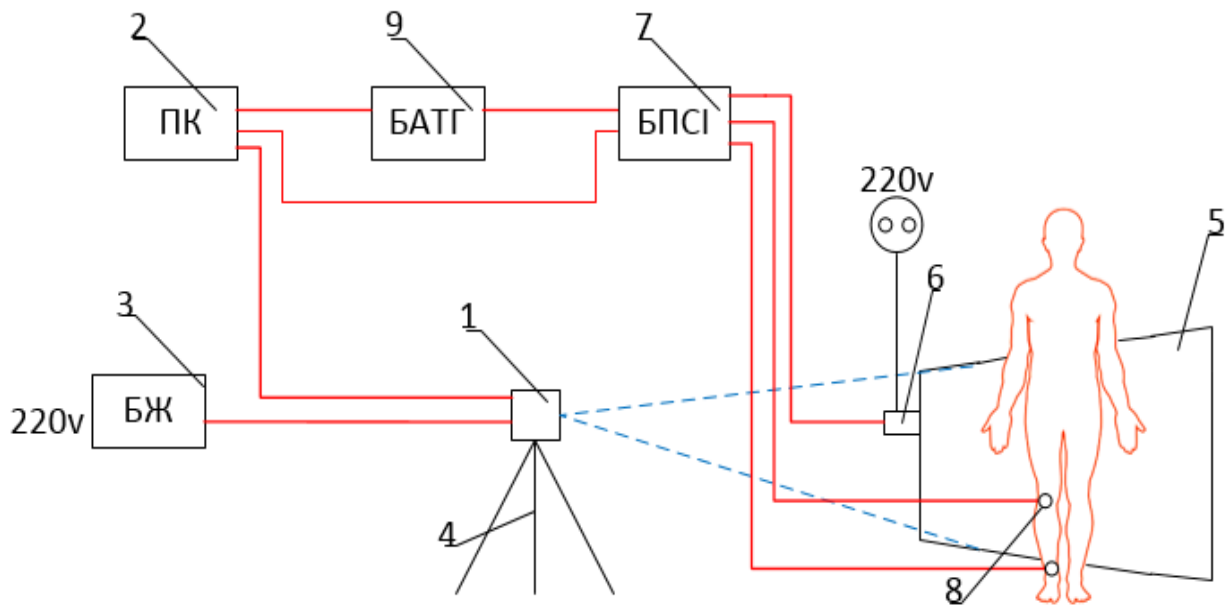


Рис.1. Система візуалізації теплових полів людини.

Система СВТПЛ (Рис.1) складається з:

1. тепловізійної камери;
2. інфрачервоного приймача, персонального компютера;
3. мережевого блоку живлення;
4. штативу;
5. термоекрану;
6. терморегулятором;
7. блоку порівняння, сигналізації та індикації (БПСІ);
8. прецизійних контактних температурних датчиків
9. блоку аналізу температурних градієнтів (БАТГ)

При проведенні дослідження отримуємо значення температур порівнюються з температурами термоекрану, навколишнього середовища та значеннями температури виміряними безконтактною тепловізійною камерою, що сфокусована на біологічній тканині зони контролю пацієнта. [5] По значенню різниці вимірянних температур тепловізійною камерою та прецизійними датчиками змінюють температуру теплоекрану, шляхом програмного керування терморегулятором 6, для підвищення чіткості, контрасту та ясних меж контурів, шарів, судин кровотоку зони контролю, при цьому відсіюємо звичайні фізіологічні коливання температури пацієнта. [6]

Так програмно регулюючи температурою термоекрана досягають на термограмі, що відображається на моніторі персонального комп'ютера, в залежності від різниці температур, що були вимірянні в зоні контролю датчиками та тепловізором, більш чіткого фокусування об'єкту та підвищення чіткості, контрасту та ясних меж контурів, шарів, судин кровотоку зони контролю з відсіюванням похибок від звичайних фізіологічних коливанні температури людини. [7]

ВИСНОВОК

Завдяки розробці та нашим дослідженням можливостей система візуалізації теплових полів людини досягається підвищення точності та об'єктивності візуалізації термограм при обстеженні біологічних тканин, отримання більш точних та інформативно значимих даних вимірювання температур, контурів, що призводить до чіткої візуалізації параметрів біологічних тканин пацієнта з урахуванням фізіологічних особливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Волков В.Г. Тепловизионные приборы нового поколения/ В.Г. Волков, А.В. Ковалев, В.Г. Федчишин//Специальная техника.-2004, - №6
- [2] Матвієнко С. М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко // Наукові вісті НТУУ —КПІ. – 2017. – № 4. – С. 121– 130.
- [3] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [4] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум . / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288с. ISBN 978-966-622-952-9, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [5] Філіппова М. В. Вплив короткочасної ішемії на температуру ступней ніг та кольорову гаму їх зображення на екрані тепловізора / М. В. Філіппова, М. Ф. Терещенко, О. П. Волошин, І. Д. Єкімов // Молодий вчений. — 2015. — №6(1). С.35-39 <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2015/6/07.pdf>
- [6] Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
- [7] Дипломне проектування [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання дипломних проектів для студентів напрямку 6.0909 – «Прилади» спеціальності “Медичні прилади і системи” усіх форм навчання / НТУУ «КПІ» ; уклад.: Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, С. П. Вислоух, О. І. Паткевич – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 104 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32089>

Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

УДК 621.681.2

О.Д. Левчук, студент гр. ПБ-з92мп, В.В. Шевченко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ

Анотація В даній статі запропонована вдосконалена діагностика внутрішніх органів людини, за допомогою систем ультразвукової діагностики заснованої на контролі зміни градієнта температури в зоні дослідження.

Ключові слова: Ультразвукове дослідження, ехографія, температурний коефіцієнт

ВСТУП

Одним з найбільш перспективних неінвазійних методів візуалізації внутрішніх органів і тканин людини є ультразвукова ехографія. Широкі функціональні можливості систем ультразвукової діагностики дозволяє підвищити точність і надійність діагностування, і своєчасне лікування таких захворювань як онкологічні та серцево-судинні. Лікування діагностовано і почате на ранніх стадіях онкології підвищує вірогідність повного одужання. [1]

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Разом з тим, ультразвукова діагностична апаратура, що випускається в даний час, за своїми функціональними і технічними параметрами ще не в повній мірі відповідає сучасним вимогам. [2]

Не дивлячись на значні досягнення в сфері ультразвукової діагностики, при візуалізації результатів дослідження продовжують виникати проблеми. Приклади таких помилок в скануванні, призводять до появи на моніторі апарату хибних структур, які в дійсності відсутні або з неправильною локалізацією, розмірами і формою.

Найбільш часто зустрічаються артефакти в ультразвукової діагностики є:

1. *Реверберація*. Виникає в випадку коли ультразвукова хвиля потрапляє між двома поверхнями, які відбивають промінь де кілька разів. Це призводить до появи на екрані неіснуючих поверхонь.

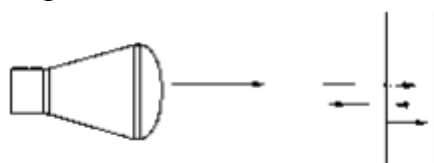


Рисунок 1. Многократне відбиття хвилі (реверберація)

2. *Артефакт заломлення*. Виникає, якщо шлях ультразвуку від датчика до відбиваємої структури і назад не є однаковим. При цьому на екрані зображення виникає з невідповідним положенням.



Рисунок 2. Артефакт заломлення

3. *Артефакт ефективного відбиття поверхні.* Дійсна відбиваєма поверхня більше ніж відображена на екрані приладу, так як відбиваємий сигнал не завжди повертається до датчика.

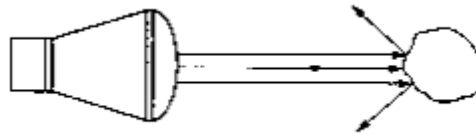


Рисунок 3. Артефакт ефективного відбиття поверхні

4. *Артефакт акустичної тіні.* Виникає через сильно відбиваєму або сильно поглинаючу ультразвукове випромінювання поверхню.



Рисунок 4. Артефакт акустичної тіні

Наявність артефактів які супроводжують ультразвукове дослідження внутрішніх органів і тканин призводить до труднощів винесення вірного діагнозу та високим вимогам к кваліфікаційним спеціалістам виконуючими ці дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для підвищення точності і надійності діагностики захворювань запропонована система ультразвукового дослідження внутрішніх органів людини, заснована на контролі зміни градієнта температур в зоні ультразвукового дослідження. [3]

Температурний коефіцієнт дозволить більш точніше визначити під різними кутами контури органів, розміри, однорідність їх поверхонь, та новоутворень на них.

Тепловий ефект дії ультразвуку залежить від інтенсивності та часу випромінювання. Проходження ультразвуку в середовищах супроводжується їх нагріванням в зв'язку з поглинанням його внутрішніми тканинами людини, та перетворення механічної енергії в теплову. [4]

Також утворення тепла обумовлена фізичним явищем «Ефект прикордонних поверхонь». Суть цього методу полягає в тому, що дія ультразвуку посилюється та накопичується на кордоні різних середовищ, в тканинах більш всього поглинаючих ультразвукову енергію, та на ділянках з недостатнім кровообігом, так як кров буде відводити тепло.

При використанні звичайної ультразвукової діагностики визначити новоутворення можливо якщо воно не менше 1,66мм. Але якщо при дослідженні використати температурний коефіцієнт контурів органів, можливо підвищити чутливість діагностування до 20%. Тоді розмір новоутворення можливо фіксувати від 1,28 мм. [5]

Завдяки цьому методу ми можемо нівелювати різними артефактами, які зустрічаються під час звичайного ультразвуковому дослідженні на сьогоднішній момент в медицині. Що призведе до своєчасного виявлення патології, та дасть більше часу на розробку плану лікування, та реабілітації

Дослідження в області онкології показують, що виявлення пухлини на ранніх стадіях розвитку (коли її розмір менше 10мм) дає змогу пацієнтам одужати в 85% випадків. На більш пізніх етапах цей показник стрімко зменшується до 10%. [6]

ВИСНОВКИ

Розроблена система ультразвукового діагностування, дозволяє з високим ступенем швидкодії, отримати точну і об'єктивну інформацію про стан внутрішніх органів людини при одних і тих же значень змінених температур, що забезпечить однозначність і точність визначення просторового положення і розмірів зображення, а так само своєчасно розробити методику лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Осипов Л.В. Ультразвуковые сканирующие диагностические приборе // Медицинская техника. – 1998. – (№4). – С. 78-83
- [2]Митьков В.В., Зыкин Б.И., Буланов М.Н. Ультразвуковая ангиография // Медицинская визуализация. -2001. №2. С. 4-13.
- [3]Гармаш, О. Ю. Система діагностики стану головного мозку / О. Ю. Гармаш, В. В. Шевченко, С. М. Матвієнко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна: збірник праць, 2019. — С. 294-297.
- [4]Акопян Б.В., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии. – М.: Изд. МГТУ им Н.Э.Баумана, 2005, 224 с.
- [5]Применение ультразвука в медицине: Физические основы: Пер. С англ. / Под ред. К.Хилла.- М.: Мир, 1989.
- [6]Горский С.М., Карев И.Д., Терентьев И.Г., Чернов В.В. //Вопросы онкологии. 1990. Т.36,№ 1. С.29.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Шевченко В.В.

УДК 608.2

С. В. Лисичина, студентка БМ-61
ФБМІ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ СЕНСОРІВ У ПРИДАТНИХ ДЛЯ НОСІННЯ, НЕІНВАЗИВНИХ ПРИЛАДАХ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОЧЕРЕПНОГО ТИСКУ

Анотація. Підвищений внутрішньочерепний тиск (ВЧТ) – часте явище після операцій на мозку, яке може призвести до ряду більш серйозних неврологічних ускладнень. Тому дуже важливим є систематичний і динамічний моніторинг значень ВЧТ у пацієнта після виписки з лікарні. Однак існуючі підходи вимірювання інтракраніального тиску потребують великогабаритних пристроїв, кваліфікованих спеціалістів і перебування хворого у стані спокою. Тому можна зробити висновок, що існує очевидна потреба у бездротовій, неінвазивній, придатній для тривалого носіння системі моніторингу ВЧТ.

Для отримання точної інформації дуже важливо підібрати правильний безпроводний, неінвазивний датчик та дослідити вплив його функціонування на початковий сигнал.

У роботі було протестовано п'єзоелектричний сенсор серії МРХ2050. З аналізу вхідного та вихідного сигналів видно, що даний датчик значно послаблює сигнал і зменшує диференціацію його елементів, що говорить про потребу вдосконалення системи обробки інформації для планованого використання приладу.

Ключові слова: нейрохірургічні втручання, п'єзоелектричний сенсор, неінвазивний датчик ВЧТ, післяопераційний моніторинг ВЧТ.

ВСТУП

Підвищений внутрішньочерепний тиск (ВЧТ), кровотечі, набряки та інші ускладнення – часте явище після операцій на мозку [1]. Зазвичай у 16% пацієнтів виявляють неврологічні проблеми та загострення вже після виписки з стаціонару, що говорить про те, що госпіталізація у відділенні інтенсивної терапії має бути довшою або їм потрібен тривалий моніторинг для запобігання ускладнень [1].

Однак існуючі підходи вимірювання інтракраніального тиску потребують великогабаритних пристроїв, кваліфікованих спеціалістів і перебування хворого у стані спокою [2]. З вказаного вище видно, що ці прилади не придатні для систематичного моніторингу ВЧТ пацієнта в повсякденному житті, коли він вже може займатись рутинними справами, але є ймовірність повторних крововиливів та інших ускладнень. Тому можна зробити висновок, що існує очевидна потреба у бездротовій, неінвазивній, придатній для тривалого носіння системі моніторингу ВЧТ.

Система, до якої поставлено такі вимоги, не може забезпечувати отримання абсолютних значень інтракраніального тиску пацієнта через складну морфологію черепної коробки [3].

Таким чином, дуже важливо підібрати правильні опосередковані параметри, через які буде характеризуватись ВЧТ. Зокрема виявлено, що вплив інтракраніального тиску на яремний тиск найбільш легко визначається протягом відносно короткого проміжку часу після повної оклюзії яремної вени. Протягом цього короткого інтервалу (порядку п'яти секунд) приплив крові наближається до нуля і помітно зростає артеріальний тиск зі швидкістю, яка змінюється залежно від ВЧТ. Відповідно, вимірювання зміни яремного тиску або потоку з часом після оклюзії забезпечить характеристику значення внутрішньочерепного тиску за той же часовий інтервал [4].

Тому в ході роботи системи має здійснюватися оклюзія яремної вени за встановленими інтервалами, після чого значення тиску в ній фіксуватиметься датчиком і дані за допомогою NFC-чіпа передаватимуться на дистанційний блок обробки та запису.

Для отримання точної інформації дуже важливо підібрати правильний безпровідний, неінвазивний датчик та дослідити вплив його функціонування на початковий сигнал.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Придатні для носіння датчики тиску були широко вивчені для застосування в медичних пристроях діагностики. Завдяки швидкому часу відгуку та низькому споживанню енергії, п'єзоелектричні датчики тиску широко використовуються для виявлення динамічних тисків [5].

П'єзорезистивний датчик тиску заснований на тому, що опір матеріалу змінюється при застосованому тиску. Зміна опору матеріалу може бути виражена рівнянням [6]:

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\nu)\epsilon + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right), \quad (1)$$

де $(1 + 2\nu)$ - термін геометричного ефекту,

ϵ – напруження за тиском,

$\frac{\Delta\rho}{\rho}$ – термін дії опору.

З аналізу формули 1 видно, що зміна опору походить від зміни розміру за тиском. Датчик на основі цього принципу дуже простий у виготовленні, і добре вивчений, оскільки він може виявити широкий діапазон тиску. Попри ряд переваг, недоліком цих датчиків є низька чутливість [5].

Зокрема на рисунку 1 наведені результати дослідження роботи бездротового, придатного для носіння датчика тиску крові, створеного групою вчених із університету Каліфорнії [6].

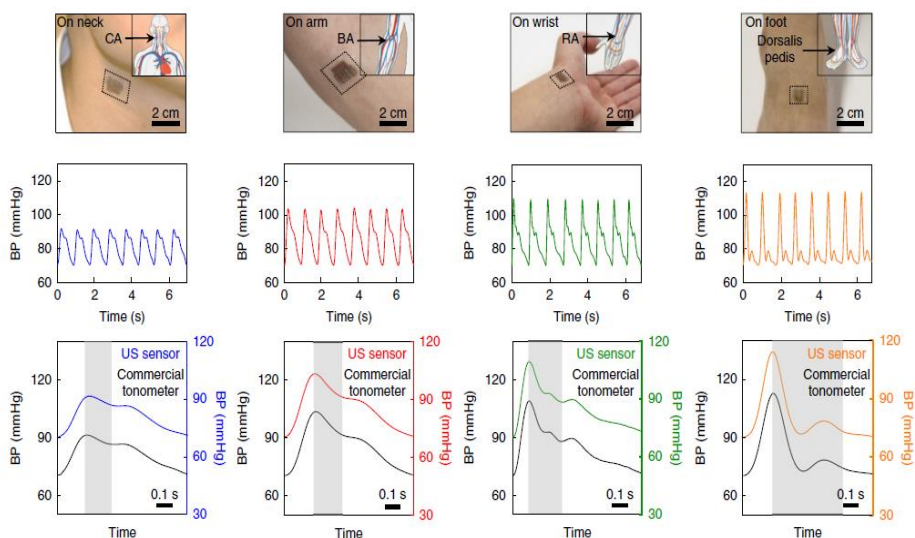


Рисунок 1. Результати випробування роботи датчика тиску на тілі людини [6]

З результатів випробування датчика тиску можна зробити висновок, що точність відображення ним сигналу корелює із його місцем розташування,

розміром та глибиною залягання кровоносних судин. Також видно, що цей датчик помітно спотворює сигнал у порівнянні з професійними тонометрами.

Незважаючи на описаний вище прогрес, перед впровадженням придатних для носіння електронних пристроїв у практичні програми залишається багато проблем. Ці проблеми тільки збільшуються при імплементації датчиків тиску в прилади для вимірювання ВЧТ [7, 8]. Тому дуже важливо при виборі сенсора розглянути усі можливі спотворення, які він може завдати фізіологічному сигналу та оцінити їх значення у подальшій діагностиці.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нормальний яремний венозний пульс містить три позитивних хвилі і два спади, як це зображено на рисунку 2 [9].



Рисунок 2. Вигляд нормальної кривої внутрішньоаремних пульсацій

Кожна з них є характеристикою правильної роботи серцевих скорочень та ВЧТ. Тому важливо, щоб датчик, який використовується, не спотворював сигнал для подальшого коректного аналізу даних.

У роботі було протестовано п'єзоелектричний сенсор серії MPX2050, щоб зрозуміти, чи є придатними датчики такого типу для дослідження яремного тиску. Також аналізувались спотворення, які він може вносити в сигнал, щоб в подальшому вдосконалювати прилад.

Для аналізу в середовищі «Мікрокап» було згенеровано сигнал, форма якого відповідає пульсаціям у яремній вені. Сигнал подавався на сенсор серії MPX2050. У результаті дослідження було отримано результат, представлений на рисунку 3.

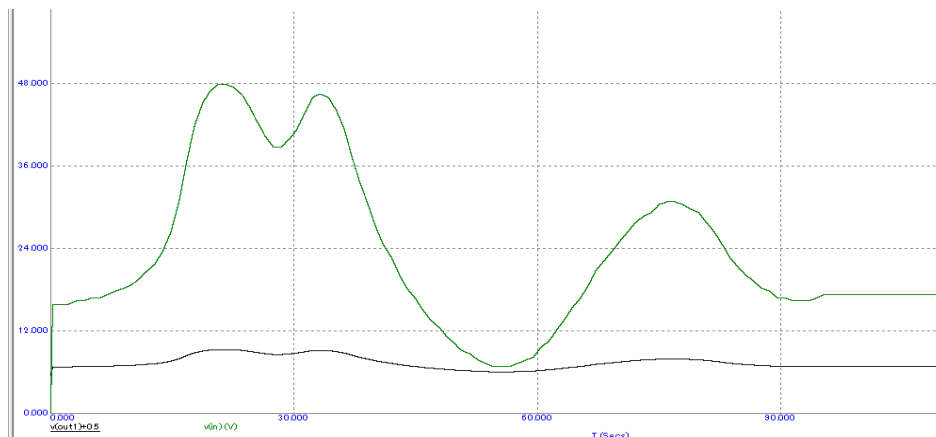


Рисунок 3. Результати дослідження впливу роботи датчик на форму сигналу

З аналізу вхідного та вихідного сигналів видно, що даний датчик значно послаблює сигнал і зменшує диференціацію його елементів, що говорить про потребу вдосконалення системи обробки інформації для планованого використання приладу.

ВИСНОВКИ

Більшість сучасних приладів для вимірювання ВЧТ не є придатними для довготривалого використання в повсякденному житті пацієнтів, які перенесли нейрохірургічні втручання. Хоча систематичний, динамічний моніторинг дуже важливий для подальшого лікування і зменшення ймовірності ускладнень. Таким чином, існує очевидна проблема в створенні неінвазивного, придатного для носіння приладу для вимірювання ВЧТ. Дуже важливою частиною цього приладу є вимірювальний блок. У ході дослідження сенсора тиску серії МРХ2050 з'ясовано, що подібні датчики можуть значним чином послаблювати сигнал і спотворювати його форму.

Тому в подальших розробках потрібно зосередитись на конструюванні надійної схеми підсилення і фільтрування вимірювального блоку для отримання якісного сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Lonjaret, L., Guyonnet, M., Berard, E., Vironneau, M., & Peres, F. (2017). Postoperative complications after craniotomy for brain tumor surgery. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, 36(4), 213-218. doi:10.1016/j.accpm.2016.06.012.
- [2] Остапенко, Б. В. (2019). Современные методики мониторинга внутричерепного давления. *Медицина экстремальных ситуаций*, 21(4), 472–485.
- [3] Rodriguez-Boto, G., Rivero-Garvia, M., Gutierrez-Gonzalez, R., & Marquez-Rivas, J. (2015). Basic concepts about brain pathophysiology and intracranial pressure monitoring. *Neurologia*, 30(1), 16-22.
- [4] Alloca, J. A., Young, A., and Bronx, N. Y. (1980). Method and Apparatus for Noninvasive Monitoring of Intracranial Pressure. United States Patent, 1, 1-15.
- [5] An, B. W., Shin, J. H., Kim, S., Ji, S., & Park, J. (2017). Smart Sensor Systems for Wearable Electronic Devices. Ulsan: Polymers.
- [6] Wang, C., Li, X., Hu, H., Zhang, L., Huang, Z., Lin, M., & Yin Z. (2018). Monitoring of the central blood pressure waveform via a conformal ultrasonic device. *Nat Biomed Eng.*, 2(9), 687–695. doi:10.1038/s41551-018-0287-x.
- [7] Han, S., Kim, J., Won, S., Ma, Y., Kang, D., Xie, Z., & Lee, K. (2018). Battery-free, wireless sensors for full-body pressure and temperature mapping. *Sci Transl Med.*, 10(435), 1-30. doi:10.1126/scitranslmed.aan4950.
- [8] Zhou, Q., Qiu, W., & Lam, K. (2014). Piezoelectric single crystal ultrasonic transducers for biomedical applications. *Progress in Materials Science* 66, 87-111. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2014.06.001.
- [9] Jyotsha, M. (2017). Jugular venous pressure. *Journal of vascular diseases* 2(2).

УДК 612.014.421

О.В.Майданник, студент гр. ПН-61-2, доц., к.т.н.,с.н.с. Клочко Т.Р
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОД МЕЗОДІЕНЦЕФАЛЬНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В ТЕРАПІЇ

Анотація. В даній статті було розглянуто метод МДМ(мезодіенцифальна модуляція) терапії на організм людини. На основі клінічних досліджень були виявлені переваги МДМ терапії над іншими видами такі як: фармакологія та магнітотерапія.

Ключові слова: фізіотерапія, нервова система, МДМ- мезодіенцифальна модуляція.

ВСТУП

В ритмі сучасного життя, людина часто недооцінює психічний і нервовий стан. Ми надаємо значення видимим проблемам, захворюванням, але здебільшого людина з хворою нервовою системою не може адекватно оцінювати власне самопочуття. Нервова система чутлива до різних негативних впливів середовища, і кожен з нас не має гарантій, що ця тема не торкнеться тебе або твоєї сім'ї. На нервову систему людини впливає і фізичний, і психологічний стан. Також не слід ігнорувати ступінь забрудненості навколишнього середовища, оскільки зовнішні чинники також залишають слід на стані людини та можуть викликати патологічні зміни функціонування різних систем організму.

В першу чергу, слід роз'яснити, нервова система людини складається з головного мозку, спинного мозку та периферичної системи нейронів по всьому тілу.[1, 2] В сучасній медицині, яка має змогу подолати більшість захворювань і патологій людини, не залишилась без уваги нервова складова нашого тіла. На нервову систему впливають зовнішні чинники, такі, як: магнітне поле, електромагнітні хвилі, електричний струм, препарати, клімат, забруднення повітря тощо.[2, 3]

Одним із видів лікування патологій організму неінвазивний методом є магнітотерапія, інтегрована лазеромагнітотерапія. [3-5] Це давно відомий фізіотерапевтичний метод лікування за допомогою постійного чи змінного магнітного поля. Основною перевагою дії магнітного поля на людський організм є поліпшення загального стану судин і кровообігу. Сьогодні завдяки лікуванню магнітотерапією стало можливим нормалізувати процеси метаболізму і прискорити або відновити вироблення колагену. Основними протипоказаннями магнітотерапії є: схильність до виникнення кровотеч, активна форма туберкульозу легенів та важка ступінь ішемічної хвороби серця.

Нейромодуляція - це вплив на центральну нервову систему, електричних імпульсів. Завдяки цьому активізуються різні частини головного мозку, а також ендокринна та імунна система.

МЕТОД ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ СИСТЕМ ОРГАНІЗМА

Сучасні лікарі вважають, що в ХХІ столітті фармакологія відійде на другий план у лікуванні захворювань та патологій людини.[6] Клінічно доведено, що вплив магнітними чи електричними полями на організм людини не викликає погіршення його стану чи створення інших захворювань. Справа в тому, що при

лікуванні фармакологічними препаратами одного захворювання, дуже часто виникає багато побічних ефектів та спричиняє появу нових хвороб. На відміну від фармакології нейромодуляція впливає електричними імпульсами на нервову та імунну систему, тим самим сприяє організму в регенерації нервових шляхів, не викликаючи при цьому загострення чи прояву інших захворювань.

МДМ терапія лікує багато захворювань сучасності. Але хотілося б розглянути захворювання центральної нервової системи, зокрема: невроз, неврит, депресивний стан, алкоголізм та наркоманія. Вперше дія електричного імпульсу на організм людини була застосована в психіатрії, в Америці 1902 року. Згідно з таблицею 1 позитивна клінічна дія на фоні МДМ терапії у пацієнтів психіатрії, відмічалась у 80%, у інших покращення або погіршення не спостерігалось. Позитивним фактором МДМ терапії є комплексна лікувальна дія при наявності декількох захворювань. Адже у більшості хворих, окрім психічних патологій, наявними були захворювання серця, шкірні захворювання, головні болі та знижений імунітет.[7]

Таблиця 1 . Таблиця досліджень В.А. Карьова.

Захворювання	Число пацієнтів	Кількість курсів МДМ					
		1	2	3	4	5	6
Оstreохондроз	382	90	35	36	30	32	27
Неврити	38	36	2	-	-	-	-
Дискуркуляторна енцефалопатія	127	41	19	22	15	18	12
Стан після ОНМК	25	9	5	3	3	2	3
Неврози	54	6	9	10	11	10	8



Рисунок 1. МДМК-6/2

На рисунку 1 зображений мезодієнцифальний модулятор Карьова. Він є одним із передових апаратів в МДМ терапії. Цей метод терапії заснований на впливі імпульсного струму з частотою 10000 герц, модульованих в низькочастотному діапазоні від 20 до 100 герц. Через налобні електроди струм проходить до кори головного мозку, що дає вплив на нейроендокринну та імунну

систему людини, нормалізуючи їх роботу. Таблиця 2 містить характеристики приладу МДМК-6/2.

Таблиця 2 . Таблиця характеристик приладу МДМ-6/2 В.А Карьова.

<i>Назва</i>	<i>Максимальна сила струму, мА</i>	<i>Частота імпульсного струму, Гц</i>	<i>Форма імпульсів</i>	<i>Тривалість процедури в хв.</i>
МДМ Карьова 6	6	70-90	Різна	20-45

ВИСНОВКИ

На основі аналізу методів і технічних засобів, що використовують для терапії таких поширених захворювань, як нервові розлади, порушення кровообігу, зниження імунітету тощо, визначено найбільш ефективний немедикаментозний метод МДМ та запропоновано прилад його реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Анатомія та фізіологія з патологією, за ред. Я.І.Федонюка, Л.С. Білика, Н.Х. Микули. Тернопіль : Укрмедкнига, 2011. 680 с.
- [2]В.Г. Черкасов. Функціональна анатомія периферійної нервової системи. Київ, 2005. 136 стор., 28 іл.
- [3]Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, Т.Р. Ключко. Польові структури біотехнічних систем: монографія. К.: НТУУ «КПІ», 2013. 384 с.
- [4]А.Х.М. Дастжерді, В.І. Скицюк, Т.Р. Ключко, С.І. Голопура, Фотобіологіятафотомедицина, № 3(4), с. 102-105, 2010.
- [5]Т.Р. Klotchko, Interaction of low-intensity electromagnetic fields of light range with biological objects, 20th International Crimean Conference" Microwave & Telecommunication Technology" (IEEE), vol. 2, pp. 1167-1168, 2010/9/13.
- [6]МДМ технології. <http://www.medapton.ru/articles-25.html>
- [7]Карев В.А., Доценко В.И., Волошин В.Н., Тавтин Ю.А. Мезодиэнцефальная модуляция (транскраниальная стимуляция головного мозга) в неврологии и психиатрии / В сб.: Труды научно-практической конференции «Электростимуляция 2002». Москва, 27–28 марта 2002 г. – М., 2002. – С. 163–172.

Наук. керівник- доц. каф. ВП, к.т.н.,с.н.с.Ключко Т.Р.

УДК 615.847.8

О.А. Малий, студент гр. ПБ-392мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МАГНІТОТЕРАПІЇ В ТРАНСДЕРМАЛЬНІЙ ДОСТАВЦІ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ РЕЧОВИН

Анотація. Автоматизована система магнітотерапії (АСМ), часто використовує дію магнітного поля на біологічні тканини (БТ), як з лікувальною метою для покращення метаболізму в зоні дії магнітного поля, так з ціллю стимуляційного впливу на БТ для проникнення фармацевтичних речовин (ФР) в середину біологічну тканину. Досліджена отримана математична модель і встановлено теоретична залежність проникнення різних ФР від параметрів діючого магнітного поля та часу проникнення лікарського засобу через шари біологічної тканини. Мета дослідження – розвиток неінвазивного методу введення лікарських засобів та порівняння результатів експерименту і обрахунку залежностей глибини проникнення і часу дії магнітного поля.

Ключові слова: магнітне поле, фармацевтичних речовин, трансдермальна доставка.

ВСТУП

На організм людини багато природних факторів має вагомий вплив. Магнітне поле – не є винятком. Під його впливом ми можемо спостерігати такі явища як: стимуляція параметрів кровообігу людини, розширення розмірів судин, зміна діапазону швидкостей протікання біохімічних та біофізичних реакцій. [1] Магнітотерапія за своєю природою майже не має протипоказання. В якості діючого фактору використовуються постійні та змінні магнітні поля. [2] Джерелами магнітного поля виступають постійні магніти з високо коерцитивних матеріалів так і індуктори з котушками індуктивності. [3] Магнітотерапевтичні апарати (МТА) використовують і постійні магніти і індуктори з котушками. [4] Найбільш універсальні МТА використовують автоматизовані системи відтворення високоточного магнітного поля в індукторах та систему зворотного зв'язку під час дії поля на біологічну тканину. [5]

В наш час магнітотерапію широко застосовують для посилення ефекту проникності *фармацевтичних речовин* в біологічні тканини людини та клітинні мембран - магнітофорез лікарських засобів. [6] На сьогодні потенціал та можливості даного методу цілком не розкриті, тому робота у галузі досліджень цієї ланки є досить актуальною.

ПОСТАНОВКА МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є використання автоматизованої системи магнітотерапії (АСМ) в дослідження параметрів проникнення ФР в глибину біологічної тканини під впливом магнітного поля.

Процес проникнення потоку J_s лікарського засобу через шкіру в БТ проходить за законом Фіка з уточненням R. Tregear та залежить від дією енергії Φ магнітного поля характеризується математичною моделлю [7]:

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_m}{-\frac{\tau}{t} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{-\Phi \cdot F}{R \cdot (T(\tau))} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}\right)\right)} \cdot \Delta C_s \quad (1)$$

де J_s – потік надходження речовини ФП;

ΔC_s – показник різниці концентрації з обох боків мембрани;

K_m – значення розподілу речовини між розчинником і мембраною;

D_{mi} – величина константи дифузії для розчиненої речовини в вживаному мембранному шарі;

t – величина часу дифузії в мембрані (пропорціональна часу дії магнітного поля);

τ – стала часу відновлення мембрани;

Φ – потенціал енергії магнітного поля;

R – універсальна газова стала;

F – стала Фарадея;

u_{Na} і u_k – значення потенціалів концентрації іонів натрію і калію;

$T(\tau)$ – температура.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилось на автоматизованій системі магнітотерапії з апаратом «МІТ-11» в складі експериментальної установки (рис.1) для встановлення взаємозв'язків параметрів проникнення лікарських засобів у БТ під дією енергії магнітного поля. Використовувались різні фармацевтичні засобів за молекулярним складом і структурою решітки - розчини йоду (I), переманганату калію ($KMnO_4$), брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$).

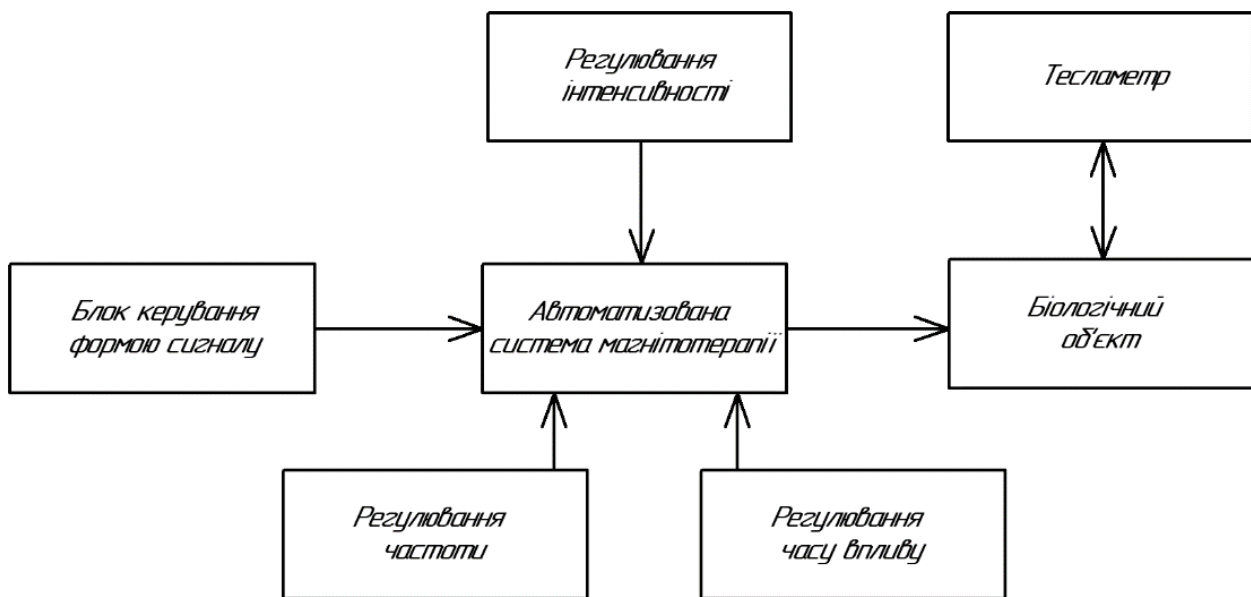


Рис.1. Структурна схема експериментальної установки

Дія змінного магнітного поля зі значеннями індукції 20 мТл та частотою 50 Гц впливала на поверхню БТ (сала), де знаходиться ФР. Значення магнітна індукція $B(t)$ виражається рівнянням:

$$B(t) = k_B \cdot I(t) + B_a + B_z \quad (2)$$

де k_B – стала індуктора по магнітній індукції,

$I(t)$ – значення струму,

B_a, B_z – значення магнітного поля апаратури та навколишнього середовища.

Тесламетром вимірюємо значення магнітної індукції, а інформацію щодо параметру глибини проникнення заміряємо цифровим штангенциркулем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У процесі виконня замірів в експерименті була проведена оцінка ефективності дії змінного магнітного поля в 20 мТл на глибину проникнення лікарських засобів протягом 15 хвилин. Були отримані наступні результати:

- 1) при збільшенні терміну впливу змінним магнітним полем в 20 мТл – збільшується значення глибини проникнення ФР (рис.2);
- 2) найбільшу глибину проникнення розчини йоду (I) до 4 см та брильянтової зелені (C₂₇H₃₄N₂O₄S) до 3.5 см.
- 3) розрахунок теоретичної глибини проникнення h в біологічну тканину від значення індукції магнітного поля B виконаємо по емпіричній формулі

$$h = B \cdot t \cdot J_s \cdot \Delta C_s \cdot D_m / (R \cdot F \cdot \Delta u \cdot T(\tau)) \quad (3)$$

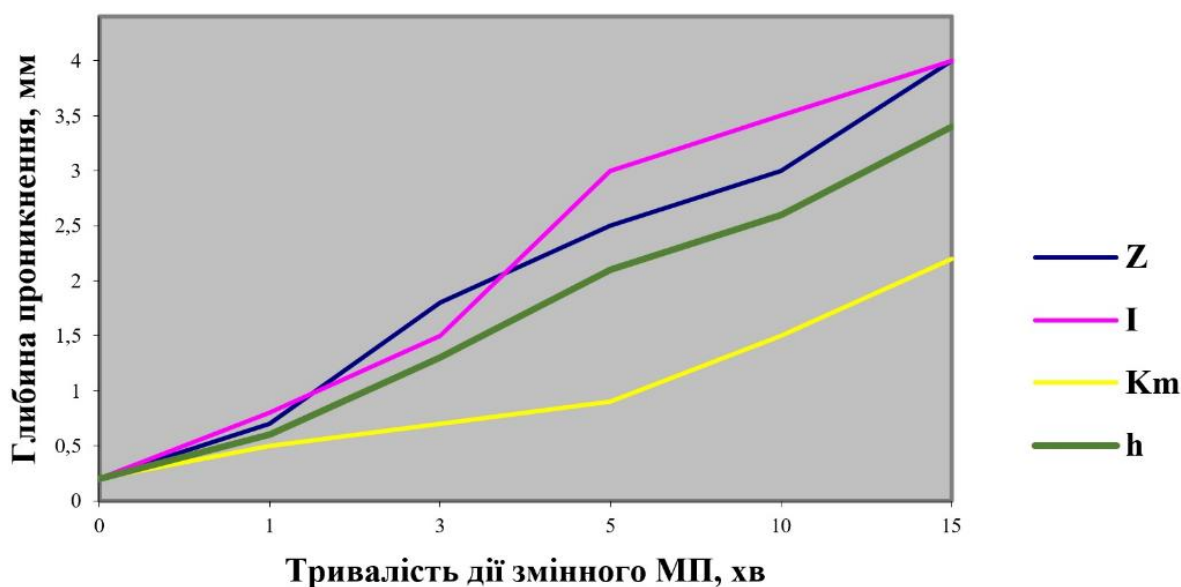


Рис.2. Залежність глибини проникнення ФР від тривалості дії змінного МП при 20 мТл

ВИСНОВКИ

Таким чином, експериментально була встановлена залежність глибини проникнення фармакологічної речовини від тривалості дії змінного МП. Збільшення часу дії та інтенсивності змінного МП призводить до збільшення глибини проникнення ФР. При цьому для досліджуваних сполук ФР швидкість зростання суттєво різниця. Розрахункова крива проникнення виконувалася по формулі (3) і відрізнявся від експерименту не більше чим на 14%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [2] Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури // XI Міжнар. науково-техн. конф.

“Приладобудування 2012: стан і перспективи”, 24—25 квітня 2012 р. — К.: НТУУ “КПІ”, 2012. — С. 185—194.

- [3] Тимчик Г. С. Система температурного контролю в магнітотерапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, В. Ю. Рудик // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2013. – № 1. – С. 109 –116
- [4] Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения. Материалы 9-й Международной научно_технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с.135.
- [5] A. Kyrylova and N. Tereshchenko, “Estimation of ultrasound influence on biological tissue”, in Proc. XIII Int. Ph.D. Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, Poland, 2011, pp. 319—323.
- [6] Рудик В. Ю. Спосіб адаптивної магнітотерапії / В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко, Т. О. Рудик // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Приладобудування. - 2016. - Вип. 51. - С. 138–143.
- [7] Tymchik G.S. The temperature method of control in a magnetotherapy / G.S. Tymchik, M.F. Tereshchenko, V.U. Rudyk // XIV PhD Workshop OWD 2012, Wisla. - P. 318 - 324.

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.

УДК 612.014.422

В.І. Мартиненко, студент гр. БП-61, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗ БІОСЕРЕДОВИЩА ТА СИСТЕМНИЙ БІОІМПЕДАНСНИЙ АНАЛІЗАТОР

Анотація. На сьогоднішній день в умовах стрімкого розвитку біомедичних технологій існує велика кількість методів та засобів діагностики та аналізу стану внутрішнього середовища тіла людини, які з кожним днем доповнюються, підвищуючи свою діагностичну чутливість і ефективність. Незважаючи на це, проблема знаходження найбільш раціонального методу аналізу структурного вмісту організму людини є досить актуальною. Серед великого ряду існуючих сьогодні діагностичних методів можна виділити біоімпедансний аналіз, який має високу практичність та доцільність використання завдяки своїй відносній простоті. Метод біоімпедансного аналізу заснований на вимірюванні електричної провідності різних структур та тканин тіла при використанні спеціалізованих пристроїв – біоімпедансних аналізаторів. Подібний аналіз вмісту тіла людини несе високу інформативність, оскільки він може вимірювати дисперсійні характеристики тканин, фазовий кут та аналізувати кількісні показники обміну в метаболізмі тканин.

Ключові слова: біоімпедансний аналіз, метаболізм, системний біоімпедансний аналізатор, дисперсійні характеристики тканин.

ВСТУП

Біоімпедансний аналіз входить в список найбільш застосованих діагностичних методів дослідження електричної провідності біологічних тканин, який дозволяє отримати об'єктивну функціональну оцінку стану організму. В загальному випадку такий метод використовують для знаходження індексу маси тіла та водневого балансу, локального виявлення порушень в сполучній тканині та неявних захворювань тканин людини, онкології, діабету тощо. [1]

Метод біоімпедансного аналізу виділяють серед інших діагностичних методів, оскільки за його допомогою отримується велика кількість різних параметрів, при умові того, що метод є досить простим та економічним у використанні. [2]

В той же час він має низку недоліків, серед яких низька чутливість до фізіологічних параметрів біологічних структур. Наприклад, золотим стандартом оцінки щільності вмісту тіла вважається метод гідростатичного зважування, а результати методів біоімпедансного аналізу та сусіднього з ним методом каліперометрії зазвичай отримують на основі лінійних регресійних залежностей, шляхом зіставлення з результатами еталонного методу. [3]

Для порівняння ефективності та доцільності використання біоімпедансного аналізу (БІА) розглянемо порівняльну таблицю аналогічних існуючих діагностичних методів табл.1.

Таким чином багаточастотний метод БІА, що використовує різні частоти діагностуючого сигналу для отримання важливих показників, може бути застосований для визначення, вимірювання та оцінки великого ряду значень кількісних показників: жирова маса тіла людини (ЖМТ); безжирова маса тіла (БМТ); вміст мінеральної маса тіла (ММТ); значення кількості загальної води в організмі людини (ЗВО); вміст та кількісні значення позаклітинної рідини (ПКР); вміст та кількісні значення клітинної маса тіла (КМТ); вміст та кількісні значення клітинної рідини в тілі людини (КР).

Таблиця 1. Основні характеристики вмісту тіла, досліджувані за допомогою різних існуючих методів [1]

<i>Показник Метод</i>	<i>БМТ</i>	<i>ЖМТ</i>	<i>ММТ</i>	<i>ЗВО</i>	<i>ПКР</i>	<i>КР</i>	<i>КМТ</i>
Каліперометрія	+	+					
Одночастотний БІА	+	+					+
Багаточастотний БІА	+	+		+	+	+	+
РКТ, МРТ	+	+					
Рентгенологічна денситометрія	+	+	+				
Методи розведення				+	+	+	

Для вимірювання значень імпедансу певного органа, кінцівки або сегмента тіла використовують два типи електродів – струмові та вимірювальні, які розташовуються згідно загальноприйнятого протоколу досліджень. [4]

На рис.1 моделюються зміни електричного поля, значень потенціалів на електродах 3 та 4, а відповідно, і значень імпедансів, при протіканні електричного струму через двомірний об'єкт біосередовища, де струм тече між струмовими електродами 1 та 2.

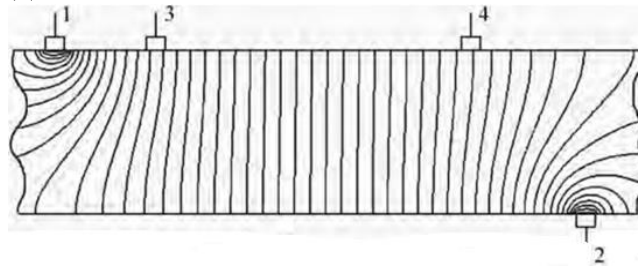


Рис.1. Електричне поле при проходженні струму вздовж

У загальних випадках, коли матеріал об'єкту ізотропний, то вектори щільності струму J визначаються формулою [1]:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

де ρ – питомий опір,

E – вектор напруженості поля.

Картина електричного поля відображається за допомогою екіпотенційних поверхонь, які зображуються у вигляді екіпотенціальних ліній. Струм тече вздовж силових ліній електричного поля, які в свою чергу перпендикулярні екіпотенціальним поверхням. Вимірювальна напруга на даній моделі дорівнює різниці потенціалів між екіпотенціальними поверхнями, які мають контакти з вимірювальними електродами 3 та 4. [5]

Значення напруги U досліджуваного сегменту, визначається з формули [7]:

$$U = \int_L E dl = \int_L J \rho dl, \quad (2)$$

де L - інтеграл береться по шляху, між поверхнями,

dl - елемент шляху.

Кінцевий результат береться з розуміння того, що виміряна напруга пропорційна модулю імпедансу та усереднена по вимірюваному сегменту.

РОЗРОБКА СИСТЕМНОГО БІОІМПЕДАНСНОГО АНАЛІЗАТОРУ

Виходячи з цих біофізичних закономірностей реалізація системного біоімпедансного аналізатора (СБА) для аналізу складу тіла людини можлива на основі мікроконтролера ATmega328 та 12-розрядного аналізатора ланцюгів AD5933, що кодує та виконує розгортку сигналу на частоті від 50кГц до 50,5кГц. Принципова структурна схема СБА базується на створенні каналу подачі струму до об'єкту дослідження, представлено на рис.2 та каналу реєстрації імпедансних показників сегментів тіла дослідження представлено на рис.3.

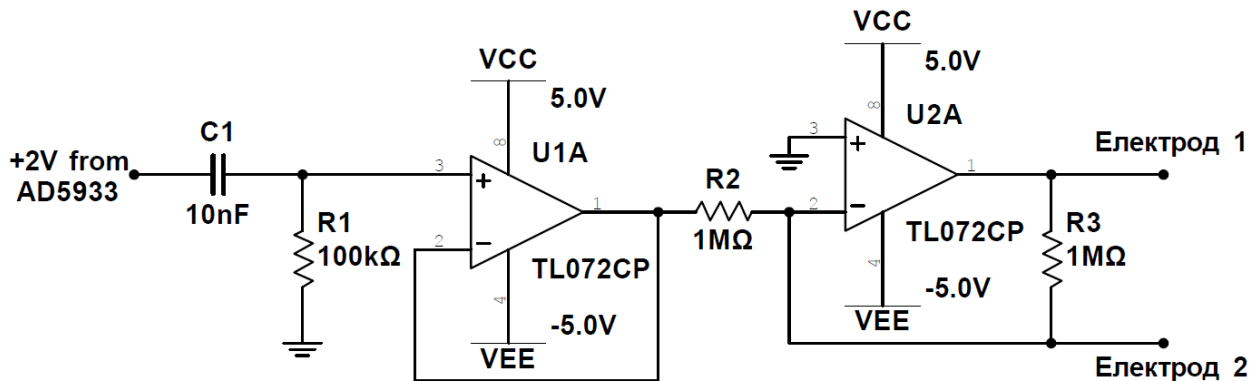


Рис.2. Принципова схема каналу подачі струму до струмових електродів 1,2

В основі схемотехнічного рішення аналізатора лежить фільтр верхніх частот виконаний на операційному підсилювачі (TL072), який використовується для уникнення та зрізу шумів на частотах розгортки нижче 50кГц. Збудження відбувається по двом струмовим (1,2) електродам, а реєстрація значень параметрів імпедансу - по двом вимірювальним (3,4). Дуже важливим є підключенням до струмових електродів резистору з високим опором, що забезпечує безпеку дослідження.

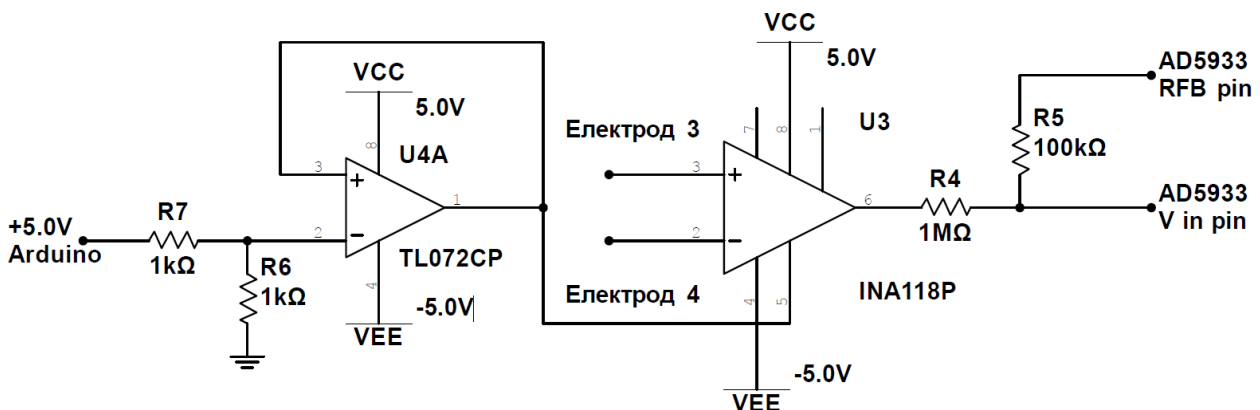


Рис.3. Принципова схема каналу реєстрації імпедансу за допомогою вимірювальних електродів 3,4

Використання високоточного енергоефективного інструментального підсилювача (INA118P) та резисторів (1kOm) обумовлюється тим фактом, що аналізатор ланцюгів (AD5933) може приймати лише позитивну напругу біля 2В. Сам аналізатор (AD5933) потребує калібрування коефіцієнту підсилення, який відбувається з розумінням, що коефіцієнт підсилення обернено пропорційний опорю всього тіла.

Кінцевий результат роботи аналізатора є підрахунок середніх значень частотних та імпедансних показників з подальшим алгоритмом розрахунку частки жиру та кількості рідини досліджуваної ділянки тіла з використанням реалізованого програмним забезпеченням (АТmega328).[6]

ВИСНОВКИ

Таким чином розглянута методика біоімпедансного аналізу може надати велику інформативність параметрів, вимірюючи лише декілька значень електричних величин. Цього факту достатньо для широкого використання її в медичній практиці та первинної діагностики на її основі різних патологічних станів організму. Розробка біоімпедансного аналізатору базується на використанні двох взаємопов'язаних систем: подачі збуджуючих сигналів струму та реєстрації значень імпедансу. Спроектований прилад дає змогу досить точно вимірювати імпеданс, визначати значення кількісного показнику жирової тканини людини в подальшому, однак модернізуючи алгоритм та програмне забезпечення приладу можна досягти повного, загального аналізу структури тіла та водневого рівня організму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев «Биоимпедансный анализ состава тела человека», М. : Наука, 2010.
- [2] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [3] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288 с. ISBN 978-966-622-952-9 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [4] Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
- [5] Цапенко В.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // XV Міжнародна науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: Матеріали конференції.– Кременчук: КрНУ, 2016. – 180 с., С. 92-93.
- [6] М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, М. В. Чухраєв, А. Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 535.2:535.36:53.043

А.І. Нагорний, студент гр. ПБ – 92мн

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ЛІКУВАННІ М'ЯЗІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИЧНОГО ПРОСВІТЛЕННЯ

Анотація. В даній роботі на основі проведеного експерименту проаналізовано вплив оптичного просвітлення на ефективність доставки лазерного випромінювання в м'язову тканину.

Ключові слова: просвітлення, рефлектор, м'язова тканина, низькорівнева лазерна терапія.

ВСТУП

З розвитком лазерних технологій в медицині все частіше застосовують методики з використанням оптичного випромінювання. Електромагнітне випромінювання видимого та інфрачервоного спектру використовують в стоматології, гінекології, офтальмології, хірургії, оториноларингології та інших галузях медицини [1]. Також лазерне випромінювання широко застосовується в терапевтичних цілях. Однією з них є низькорівнева лазерна терапія (LLLT), яка полягає у впливі на клітини низькими рівнями червоного та ближнього інфрачервоного випромінювання. Назву низькорівнева отримала через використання світла при густині енергії які є низькими в порівнянні з енергією яка використовується при абляції, різці тканин та коагуляції. Дана методика давно знайшла себе для зняття болі при артриті, остеоартриті, тендинопатії та запаленні сугавів [2]. Одна з нових областей застосування LLLT – для лікування м'язових травм та м'язової втоми [4]. Базовий механізм впливу полягає в дії випромінювання вищезгаданого спектру на хромофори мітохондрій, таким чином підвищується активність інгібуючого оксиду азоту ССО, що призведе до підвищення клітинних процесів [3,4]. Незважаючи на те, що глибина проникнення інфрачервоного променя може варіюватись від декількох нанометрів до декількох сантиметрів в залежності від довжини хвилі, а також області тіла, основною проблемою низькорівневої лазерної терапії для лікування м'язів є доставка енергії на необхідну глибину [3-5]. Для кожної довжини хвилі існує оптимальна доза випромінювання яка буде приносити позитивних ефект. Підвищення ж дози може призвести до негативних наслідків, наприклад, опіків.

Основним фактором який спричинює розсіювання та відбивання лазерного променя є неоднорідність показника заломлення. Існує ряд методик з управління оптичних властивостей біологічних тканин серед яких коагуляція, дегідратація, компресія, розтягнення, оптичне просвітлення та інші. Оптичне просвітлення полягає в введенні в тканину спеціального хімічного агента який з часом знизить нерівномірність показника заломлення різних шарів шкіри [6]. В якості просвітлюючих агентів можуть застосовуватись водні розчинники гліцерину, поліетиленгліколь, деметилсульфід і т.д [7].

Також важливим є вибір пристрою для відстеження динаміки зміни оптичних властивостей тканини. Серед основних є спектрофотометри, мікроскопи за допомогою яких відстежується якість отриманих зображень з часом на основі яких робиться висновок про зміну оптичних характеристик тканини, а також є фотометрія еліпсоїдальними рефлекторами (EP), основною

ідеєю якої є отримання фотометричних зображень на пропускання та на відбивання і подальша їх обробка.

Метою даної роботи є дослідження впливу просвітлюючого агента ПЕГ 400 на оптичні характеристики м'язової тканини свині, за допомогою фотометру з ЕР.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Експеримент проводилось на м'язовій тканині свині взятої з області шиї. Досліджуваний зразок не піддавався термічній обробці, що важливо для моделювання процесу максимально наближеного до реального. В якості оптичного агента застосовувався поліетиленгліколь 400 який застосовується в медицині та косметичі. Було введено 1 мл. В якості пристрою для відстеження кінетики оптичних процесів використовувався фотометр з ЕР. Довжина хвилі лазера 692.8 нанометри, що відноситься до червоної області спектру.

Фотометр являє собою пристрій, структурна схема якого показана на рис. 1.

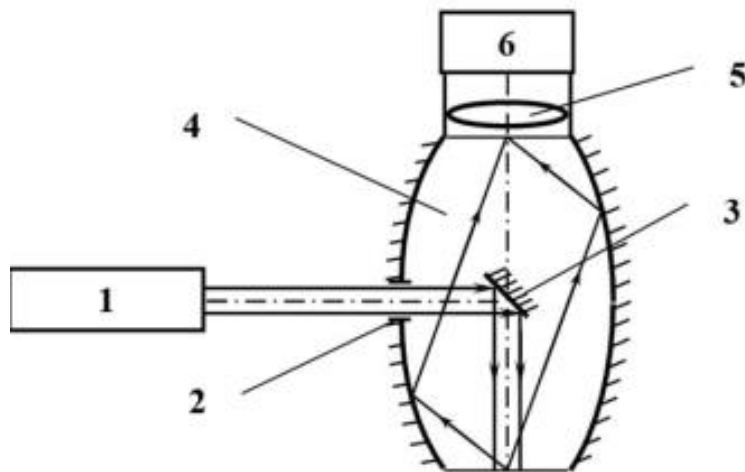


Рис. 1. Фотометр з еліпсоїдальним рефлектором: 1 – лазер; 2 – вхідне вікно; 3 – плоске дзеркало; 4 – рефлектор з внутрішньою поверхнею еліпсоїда обертання; 5 – узгоджувальна оптична система; 6 – координатний приймач оптичного випромінювання [8]

Фотометр працює за наступним принципом. Лазер 1 спрямовує промінь високої ступені когерентності на плоске дзеркало 3 через вхідне вікно 2. Дзеркало перенаправляє промінь на досліджуваний зразок. Далі промінь зазнає відбиття: дзеркального - від зовнішньої поверхні та дифузного від поверхневих шарів - коли випромінювання поглинається і одразу перевипромінюється, поглинання та розсіювання. Рефлектор 4 збирає все відбите світло та спрямовує на узгоджувальну систему 5, після чого оптична енергія фіксується приймачем 6. Таким чином отримується фотометричне зображення, що являється відображенням розподілу відбитої енергії в залежності від координат. Далі за допомогою інверсного методу Монте-Карло отримуються оптичні характеристики біологічної тканини.

Дослід проводився на протязі 2 годин з інтервалом фіксації зображення 2 хвилини.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У ході проведеного експерименту були отримані фотометричні зображення розсіяного назад світла в залежності від часу просвітлення.

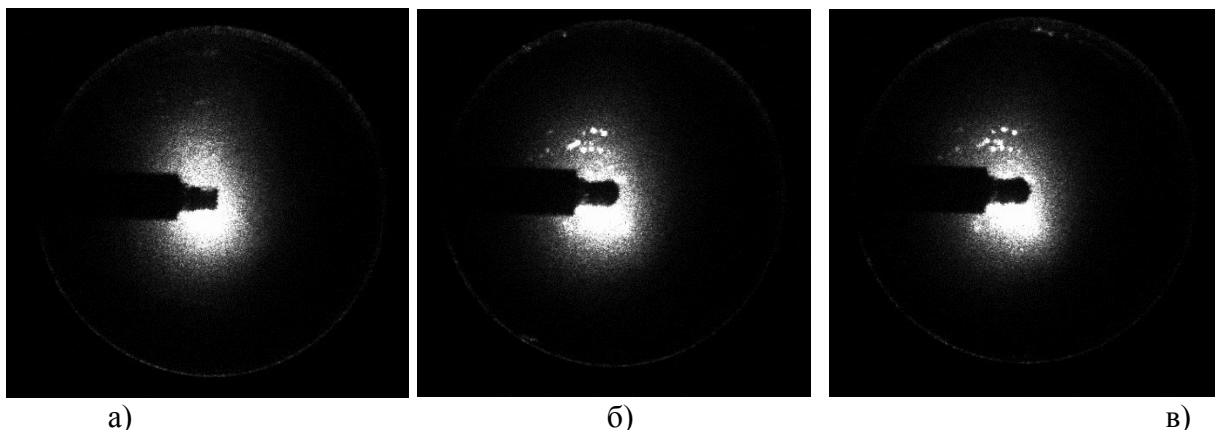


Рис.2. Зображення при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами у відбитому світлі для часу просвітлення 0 хв (а), 60 хв (б) та 120 хв (в).

Далі зображення було оброблені відповідно до методики [9], таким чином аналізувалось три кільця (рис. 3). Внутрішнє що являє центральне коло (рис.3 №1), середнє кільце - в якому зосереджена зона з найбільшою освітленістю (рис.3 №2), та зовнішнє яке охоплює освітленість на краях рефлектора (рис.3 №3).

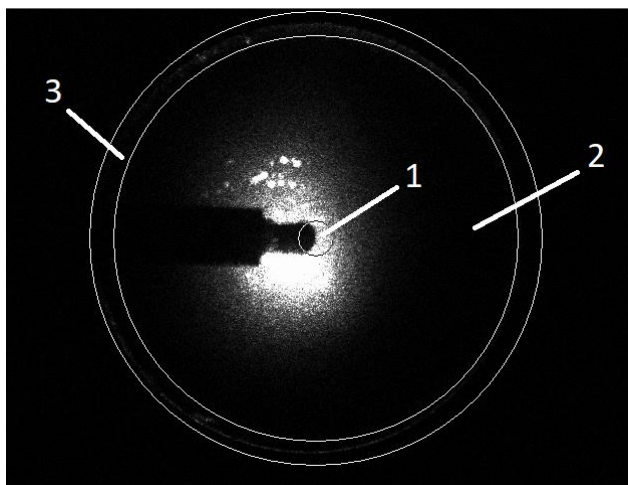


Рис.3 Зони аналізу фотометричного зображення.

Після проведення всіх необхідних розрахунків були отримані дані які з упевненістю дозволяють стверджувати, що просвітлення даним агентом даної тканини з в дані області спектру знижує нерівномірність показника заломлення, таким чином оптичне випромінювання досягає глибших частин тканини, і краще поглинається, що дозволяє отримувати позитивних результатів при терапії не підвищуючи дозу випромінювання. Також варто зазначити, що зміна оптичних властивостей притаманна першим 80 хвилинам, далі освітленість майже не змінюється. Це може свідчити, що оптимальний час проведення процедури займає 80 хвилин після введення агенту.

ВИСНОВОК

У даній роботі проаналізовано особливості впливу поліетиленгліколю 400 на м'язову тканину свині, за допомогою фотометру з ЕР. Отримані результати показують на доцільність подальшого дослідження для довжин хвиль в інфрачервоному спектрі, та є передумовою для проведення досліджень на зразках тканин тіла людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Е.А.Шахно. Физические основы применения лазеров в медицине. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. С 7-13.
- [2] Brosseau, L.; Welch, V.; Wells, G. A.; de Bie, R.; Gam, A.; Harman, K.; Morin, M.; Shea, B.; Tugwell, P. Low level laser therapy (Classes I, II and III) for treating rheumatoid arthritis (англ.) // Cochrane Database of Systematic Reviews : journal. — 2005. — No. 4. — P. CD002049. — doi:10.1002/14651858.CD002049.pub2. — PMID 16235295.
- [3] Pinar Avci, Asheesh Gupta, Magesh Sadasivam, Daniela Vecchio, Zeev Pam, Nadav Pam, and Michael R Hamblin. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. Semin Cutan Med Surg. 2013 Mar; 32(1): 41–52. PMID: 24049929
- [4] Cleber Ferraresi, Michael Hamblin, Nivaldo A Parizotto. Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: Performance, fatigue and repair benefited by the power of light. Photonics & Lasers in Medicine 1(4):267-286. November 2014.
- [5] Huang YY, Sharma SK, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy—an update. Dose Response. 2011 in press.
- [6] М.О. Bezuglyi, N.V. Bezugla A.I. Nahornyi. Control of Clearing of Human Skin by Ellipsoidal Reflector Method. Науковий журнал “Мікросхеми та фізична електроніка”. Том 24, №2 (2019) с. 6-13. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.2.172771>
- [7] Артемина Е.М., Утц С. Р., Ювченко С. А, Зимняков Д.А., Алонова М.В. Сравнительная оценка просветляющих агентов с целью повышения качества дальней длинноволновой ультрафиолетовой терапии хронических дерматозов. Саратовский научно-медицинский журнал 2016; 12 (3): 453–458.
- [8] Н.В. Безугла, М.О. Безгулий, Ю.В. Чмир. Просторова потокова біометрія середовищ еліпсоїдальними рефлекторами. ISSN 1811-4512.
- [9] Безуглый М.А. Безуглая Н.В., Самияк А.Б. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии Приборы и методы измерений 2016. – Т. 7, № 1. – С. 67–76.

Науковий керівник доцент, к.т.н Безугла Н.В.

УДК 615.471.03

О.Д. Рудий, студент гр. БП-61, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИНЦИПИ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ В РЕНТГЕНОДІАГНОСТИЦІ

Анотація. У роботі розглядається принципи моніторингу в діагностичних та терапевтичних комплексах з ціллю оцінки рівня поглиненої дози, яку отримує пацієнт при встановленні діагнозу та лікуванні. Проаналізовані основні шляхи перевищення значення радіаційного виходу рентгенівського випромінювача в медичних рентгенівських діагностичних апаратів (РДА), що не оснащені автоматизованими експонетрами. В статті приведена розроблена структурна схема оцінки параметрів опромінення та математичні вирази для обробки інформації.

Ключові слова: Рентгенодіагностика, дозиметрія, експозиційна доза, клінічний дозиметр.

ВСТУП

Рентгенологічні обстеження (РО) є одними з найбільш поширених в сучасній медицині. Рентгенівське випромінювання (РВ) таких РДА, використовується для отримання тіньового зображення внутрішніх органів, профілактичних обстежень в флюорографії, отримання зрізів біологічних тканин, органів та систем в комп'ютерній томографії, а судинної сітки в ангіографії. До 70% всіх уточнених медичних діагнозів ставлять або підтверджують, в основному, за допомогою рентгенівських досліджень. Отримані тіньові зображення внутрішніх органів людини при дії РВ допомагають не просто правильно, діагностувати хворобу, а також визначити точні розміри і розташування уражених нею ділянок, стадію розвитку захворювання і рівень загрози патології. Однак для встановлення точного діагнозу при мінімальному променевому навантаженні потрібна ефективна, чітка система калібрування випромінюючого тракту, для отримання стабільної та мінімально нормованої дози рентгенівського випромінювання [1].

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ РЕНГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ АПАРАТІВ

Так як рентгенівське випромінювання небезпечно в високих дозах, що може привести до променевих захворювань, то необхідно контролювати дозу опромінення і частоту проведення процедур. У законодавстві більшості країн Європи прописані нормативи захисту людини під час проведення медичної діагностики і терапії. Забороняється ввозити, виробляти і вводити в експлуатацію рентгенівські діагностичні апарати (РДА) без пристрою для автоматичного контролю експозиції та дози. Доза опромінення, отримана пацієнтом при медичному втручанні повинна зберігатися в архівах медичних установах протягом 50 років.

Такі нормативи є доцільні оскільки більшість діючих РДА у нашій країні встановленні більше 10 років тому. Через це не усі проходять процедуру точного калібрування високовольтного генератору завчасно, а деякі можуть виходити з робочого стану раніше часу перевірки, що встановлено у регламенті [2].

АЛГОРИТМ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ РЕНГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ АПАРАТІВ

Для проведення вимірювань з метою визначення радіаційного виходу рентгенівських випромінювачів медичних рентгенодіагностичних апаратів можуть використовуватися дозиметри рентгенівського випромінювання придатні для вимірювання поглинутої (експозиційної) дози рентгенівського випромінювання в діапазоні анодних напруг рентгенівських випромінювачів від 30 до 150 кВ і допускають можливість проведення вимірювань при потужності дози до 10 Гр/ч.

Найбільш зручно проводити вимірювання з використанням рентгенівських дозиметрів на основі прохідних іонізаційних камер, напівпровідникових детекторів або універсальних приладів для контролю експлуатаційних параметрів медичних рентгенівських апаратів.

При проведенні вимірювань датчик дозиметричного приладу розміщується на осі пучка рентгенівського випромінювання на відстані 1 м від фокуса рентгенівської трубки, а поле опромінення встановлюється так, щоб воно повністю охоплювало датчик дозиметричного приладу. Якщо датчик приладу неможливо встановити на відстані 1 м, його розміщують, як можна далі від фокуса рентгенівської трубки і зафіксувати відстань від фокуса трубки до центру датчика (центри прохідної іонізаційної камери і напівпровідникового детектора).

На рентгенівському апараті встановлюються необхідні параметри експозиції, проводиться його включення і фіксуються показання дозиметричного приладу. При цьому час експозиції вибирається так, щоб статистична похибка вимірної величини не перевищувала 10%. Якщо час одноразової експозиції недостатньо, її повторюють необхідну кількість разів, фіксуючи сумарний час експозиції.

Процедура контролю проводиться по структурній електричній схемі на рис.1. Датчик виміру 1 рентгенівського випромінювання встановлюється в процедурній кімнаті 2 на РДА 3 на склі діафрагми 4 так, щоб його центр співпадав з центром вихідного вікна.

Дозиметр 5, фотопідсилювач 6 та мультиметри 9,11,13 розміщуються в кімнаті управління 7 та з'єднувалися згідно зі схемою за допомогою малошумного заводозахисного електричного кабелю 8.

За допомогою спеціалізованого мультиметра 9 типу VC921A, чи іншого цього ж класу, здійснюється дистанційне вимірювання значення напруги UD сигналу, яка прямопропорційна потужності експозиційної дози E рентгенівського випромінювання, після чого розрахунковим шляхом визначалося теоретичне значення радіаційного виходу R рентгенівського випромінювача по формулам (5,6). Підключений безпосередньо до датчика рентгенівського випромінювання радіометр «Прип'ять» показує фактичне значення потужності експозиційної дози X випромінювача. Через цей параметр X за формулою (7) отримуємо фактичний радіаційний вихід рентгенівського випромінювача R_e .

Таким чином порівнюючи фактичне і теоретичне значення радіаційного виходу можна визначити похибку виконання установки анодної напруги

рентгенівської трубки РДА, яку необхідно враховувати та виключати при роботі з апаратом.

Вимірювання анодного струму рентгенівської трубки генераторного пристрою 10 здійснювалося з використанням цифрового мультиметра 11 типу FLUKE 8050A, чи іншого цього ж класу, встановлюючи межу вимірювання постійного струму 200мА.

Додатковий контроль точності встановлення установки анодної напруги сигналу зворотного зв'язку з генераторного пристрою 10 відбувається через плату управління джерела живлення 12 за допомогою цифрового мультиметра 13 типу VC9808 + , чи іншого цього ж класу, з установкою граничного напруги 20В.

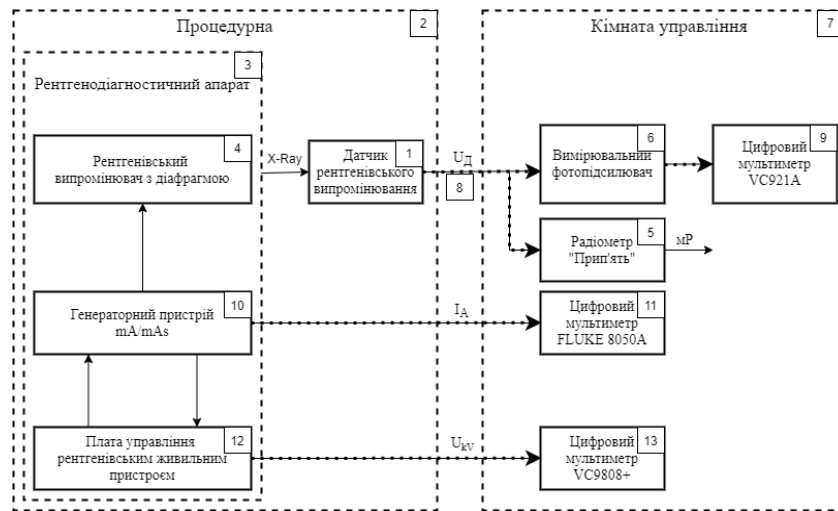


Рис. 1 Структурна електрична схема апаратури контролю радіаційного виходу рентгенівського випромінювача

Рентгенодіагностичний апарат вмикається за наступними параметрами роботи: анодна напруга - 100кВ; анодний струм - 50мА; тривалість експозиції - 4с; шторки діафрагми - розкриті повністю - мінімум 3 рази з наступним обчисленням середнього значення параметра [3]

Після отриманні значень фактичних параметрів $U_d, I_A, U_{кв}, X$, можна обрахувати необхідні результатів за наступними законами:

Для переходу від одних одиниць вимірювання радіаційного виходу до інших слід використовувати співвідношення:

$$1 мР \times м^2 / (мА \times с) = 0,53 мГр \times м^2 / (мА \times хв.) \quad (1)$$

$$1 мГр \times м^2 / (мА \times хв.) = 1,89 мР \times м^2 / (мА \times с) \quad (2)$$

Радіаційний вихід рентгенівського випромінювача скануючого з рентгенографічного апарату чи флюорографа R вимірюється в $мГр \times кв.м / мА$ або в $мР \times кв.м / мА$. Для переходу від цих одиниць до інших слід використовувати загальноприйняті співвідношення:

$$1 мР \times м^2 / мА = 0,0088 мГр \times м^2 / мА \quad (3)$$

$$1 мГр \times м^2 / мА = 113,6 мР \times м^2 / мА \quad (4)$$

Ефективна доза E , що отримав пацієнт за результатами вимірювання радіаційного виходу визначається з використанням співвідношення:

$$E = R \times I \times K, \text{ мкЗв} \quad (5)$$

де: R - радіаційний вихід рентгенівського випромінювача в $\text{мР} \times \text{м}^2 / \text{мА}$;
 I - анодний струм рентгенівської трубки в мА ;
 K - дозовий коефіцієнт в $\text{мкЗв} / (\text{мР} \times \text{м}^2)$.

Радіаційний вихід рентгенівського випромінювача R_n за результатами проведених вимірювань потужності поглиненої дози D мГр/год при анодному струмі рентгенівської трубки I мА на відстані r в метрах від її фокуса:

$$R_n = \frac{D \times r^2}{60 \times I}, \left[\frac{\text{мГр} \times \text{м}^2}{\text{мА} \times \text{хв}} \right] \quad (6)$$

Обрахування радіаційного виходу рентгенівського випромінювача R_e за результатами вимірювань потужності експозиційної дози X мР/ч при анодному струмі рентгенівської трубки I мА на відстані r в метрах від фокуса згідно виразу:

$$R_e = \frac{X \times r^2}{3600 \times I}, \left[\frac{\text{мР} \times \text{м}^2}{\text{мА} \times \text{с}} \right] \quad (7)$$

А радіаційний вихід рентгенівського випромінювача R_e за результатами проведених вимірювань поглинутої дози D мГр при експозиції (кількості електрики) рентгенівської трубки J мА \times с на відстані r в метрах від її фокуса :

$$R_e = \frac{60 \times D \times r^2}{J}, \left[\frac{\text{мГр} \times \text{м}^2}{\text{мА} \times \text{хв}} \right] \quad (8)$$

Тоді як значення радіаційного виходу рентгенівського випромінювача R_e за результатами вимірювань експозиційної дози X мР при експозиції (кількості електрики) рентгенівської трубки J мА \times с на відстані r в метрах від її фокуса:

$$R_e = \frac{X \times r^2}{J}, \left[\frac{\text{мР} \times \text{м}^2}{\text{мА} \times \text{с}} \right] \quad (9)$$

Для отримання радіаційного виходу рентгенівського випромінювача R_n^c за результатами проведених вимірювань поглинутої дози D мГр за одне сканування при анодному струмі рентгенівської трубки I мА на відстані r м від її фокуса:

$$R_n^c = \frac{D \times r^2}{I}, \left[\frac{\text{мГр} \times \text{м}^2}{\text{мА}} \right] \quad (10)$$

При цьому радіаційний вихід рентгенівського випромінювача R_e^c за результатами проведених вимірювань експозиційної дози X мР за одне сканування при анодному струмі рентгенівської трубки I мА на відстані r м від її фокуса відповідає вираз:

$$R_e^c = \frac{X \times r^2}{I}, \left[\frac{\text{мР} \times \text{м}^2}{\text{мА}} \right] \quad (11)$$

Така система виміру параметрів та обробки параметрів дозволяє істотно підвищити точність та ефективність рентгенодіагностики. [4]

ВИСНОВКИ

У роботі розглядаються проблеми при роботі з рентгенодіагностичною апаратурою, а саме встановлення рівня експозиційної дози. Приведена схема системи моніторингу гамма випромінювання, що включає блоки контролю дози опромінення. Для отриманих значень знятих з запропонованого приладу приведені формули для обробки параметрів РДА, що дозволять контролювати значення дози при проведенні рентгенодіагностичних обстежень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Н.Ф. Терещенко, П.А. Усачев, Е.Ю. Григорьева «Влияние ионизирующего излучения на человека и его использование в медицине» Оптико-электронные информационно-энергетичные технологии. -2009.- № 1(17) .- С. 154-159. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/32233>
- [2] М. Ф. Терещенко, О.В. Христовий «Моделювання мінімальної напруги на рентгенівській трубці», Вісник НТТУ «КПІ» . Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. - 2012.- № 43.- С. 80-87.
- [3] Кузьмин С.А, Зель Ю.Э, Анцибор С.В. Опыт проведения контроля радиационного выхода медицинских рентгенодиагностических аппаратов. // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – №7. – С. 257–261.
- [4] ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750685.htm>.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 615.84

М. Ю. Солодкий, студент гр. ПН-61-2, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ПОРТАТИВНОЇ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ

Анотація. Для скрінінгу стану здоров'я людини та діагностики серцево-судинної системи часто використовують системи та апарати електрокардіографії(ЕКГ). В основі електрокардіографії лежить процес зняття біоелектричних потенціалів серцевих скорочень, з електродів, що знаходяться на поверхні тіла пацієнта. Сигнали, отриманих ЕКГ, мають амплітудну складову біля ± 3 мВ та частоти від 0,05 Гц до 150 Гц. Діагностично важливий зубець Т має частоту від 4 до 7 Гц, тоді як зубці R і P - від 10 до 17 Гц. Потенціал контакту між шкірою та електродом може додати приріст 300 мВ зміщення сигналу постійного струму до електрода за рахунок клітинного потенціалу тіла людини. Інші компоненти діагностичного сигналу включають складові шуму та перешкоди на частотах (50- 60) Гц від ліній електропостачання, які відфільтровують. Розроблена портативна система ЕКГ забезпечує достатню точність діагностики та, є достовірним та безпечним контролем стану здоров'я людини. Процеси замірів градієнтів температури в зоні виміру відбуваються комплексно в взаємодії з спеціалізованим датчиком.

Ключові слова: електрокардіограма, вимірювання електрокардіограми, діагностична система ЕКГ.

ВСТУП

Хвороби серця є провідною причиною смерті, як в світі, так і в Україні, що становить майже 70% усіх смертей і забрало життя приблизно 400 000 українців лише у 2018 році. [1] В усьому світі ішемічна хвороба серця становила більше 15,5% від загальної кількості смертей, що оцінюється загалом у понад 8 млн смертей. [2] Існує глобальний попит на моніторинг та виявлення проблем із серцем з метою збереження здоров'я населення

Системи стаціонарного скрінінгу стану здоров'я досить повільні та мають суттєві труднощі в охопленні всіх верств населення. У медичних закладах м. Києва підраховано, що більш ніж 30% часу витрачається на очікування між початковим направленням від кардіолога та терміновим хірургічним втручанням. За цей час пацієнти, яким загрожують життя, захворювання серця, зазнають часто, непоправного негативного впливу, поки вони очікують на початок надання термінової медичної допомоги. [3]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОЗРОБКИ

Основна мета розробки системи портативної електрокардіографії (СПЕ) це надання медичним працівникам, які працюють у складних умовах, таких як відновлення після катастроф та гуманітарна допомога, портативного електрокардіографічного пристрою з 12-ти електродною системою відведень, для допомоги у миттєвій діагностиці серцево-судинних проблем. Він також може використовуватися в розвинених країнах світу для надання більш оперативної інформації з ЕКГ по 12 відведенням, включаючи моніторинг Холтера, для постійного контролю пацієнтів з різким перепадом стану протікання кардіологічних захворювань.

Сама система СПЕ конструктивно має невеликі розміри, працює з компактним акумулятором до 12 годин автономно і може працювати з підключенням до комп'ютера через порт USB при розрядженому акумуляторі.

Окрім режимів ручного діагностування та моніторингу, система портативної електрокардіографії містить карту microSD, яка підтримує автономну реєстрацію даних, коли СПЕ використовується в умовах тривалого

моніторингу. Підтримка автоматизованих систем діагностики необхідна для попередження чергового медичного персоналу, для випадків, коли параметри ЕКГ будуть поза межами допустимих діапазонів, щоб миттєво відреагувати на серцево-судинні проблеми які можуть загрожувати життю пацієнта. [4]

Задачею розробки такої портативної системи електрокардіографії для дослідження роботи серцево-судинної системи людини з діагностикою аритмії є розширення функціональних можливостей за рахунок впровадження системи температурного контролю, автоматизація процесу накопичення та зняття діагностичної інформації, зростання безпечності та ефективності використання діагностичних процедур. [5]

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ ПОРТАТИВНОГО ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФА

В сучасних електрокардіографах досить широко застосовуються системи збору інформації про стан функціонування серця та кровоносної системи людини. Такі портативні системи, а особливо, автоматизовані системи діагностики вкрай необхідні для сучасної медичної практики.

На рис. 1 представлена структурна схема автоматизованої портативної системи електрокардіографії.

З електродів, підключених до пацієнта сигнали поступають через два мультиплектори низького вхідного діапазону та високої роздільної здатності на підсилювач біопотенціалів. Перетворення аналогового сигналу з підсилювача відбувається в аналого-цифровому перетворювачу (АЦП). Процеси комутації мультиплекторів, затримка дискретизації вибірки виконується спеціалізованим цифровим обладнанням, тоді як функціонування АЦП високого вхідного діапазону та низької роздільної здатності і цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), який входить в склад мікроконтролера, зі зміщенням сигналу та обробляється програмними перериваннями. Використання спеціального цифрового обладнання для високошвидкісної та високоточної лінії даних забезпечує незначне коливання вибірки та мале навантаження на процесор мікроконтролера (МК).

Цифрове обладнання використовує прямий доступ до пам'яті для передачі даних з АЦП в оперативну пам'ять без втручання процесора. Після того, як буфер із 512 байтів заповнюється завданням, за допомогою програмного забезпечення підміняється буфер вибірки порожнім буфером і передає заповнений буфер далі. Передача буферу відбувається разом із заголовком, щоб допомогти синхронізації послідовних даних хосту через бездротовий контролер (Bluetooth) або USB-контролер.

У той час як цифрове обладнання здійснює мультиплекторну комутацію та вибірку даних, переривання спрацьовує, коли мультиплектор переходить до зміни вихідної напруги ЦАП, що зміщує низький діапазон вхідного сигналу АЦП високої роздільної здатності в діапазон напруги сигналу, що відбирається.

В розробленій нами автоматизованій портативній системі електрокардіографії з діагностикою температур з пацієнту використовується комплексний спосіб фільтрації біоелектричних потенціалів пацієнта. Апаратні

підсилювачі повинні мати великий коефіцієнт загального режиму відхилення диференціального підсилювача для фільтрації шуму звичайного режиму та зміщення сигналу постійного струму, наявного на шкірі та генерованого електродами. [6]

Сучасний ринок портативних ЕКГ є досить широкий. Портативні електрокардіографи (ПЕКГ) можна розділити на дві основні класи: стаціонарні та придатні для носіння – переносні (ППЕКГ). В свою чергу вони можуть бути індикаторні (фітнес) та клінічні, їх також можна розділити на категорії. Більшість ППЕКГ мають від 1-3 відведення та цільовий ринок фітнесу та здорового способу життя, оскільки вони не дають повної інформації для повноцінної медичної діагностики. Програма Kardia - це перший і єдиний додаток для систем iOS, який дозволяє використовувати очищені алгоритми навчання, які використовуються у поєднанні з двома портативними електродами. Це єдина система, яка здатна виявляти нормальне повне серцебиття або дефібриляцію передсердь, використовуючи фільтр низьких частот 40 Гц та статистичний аналіз на різницю значень амплітуди пікових зубців R. Дослідження показали, що він має значну кількість похибок у зв'язку із непослідовним розміщенням електродів, ніж традиційний ЕКГ. Клінічні ЕКГ можна розділити на дві категорії: ліжкові монітори та діагностичні монітори. Хоча діагностичні монітори мають 12 відведень і надають інформацію, необхідну для діагностики ускладнених серцевих захворювань, ліжкові монітори є більш мінімалістичними, оскільки головна мета - виявити серцевий ритм та прості ритми QRS-комплексу, залежно від стану пацієнта. Ліжкові ЕКГ-електроди, як правило, залишаються на пацієнтах довші періоди часу, і вимагають більш витривалих електродів. При цьому контролюють параметри температури в цій же ділянці з початку процедури дії і до її закінчення за допомогою спеціального датчика контактуючи з поверхнею тіла. [7]

На рис. 1 приведена структурна схема автоматизованої системи портативної електрокардіографії.

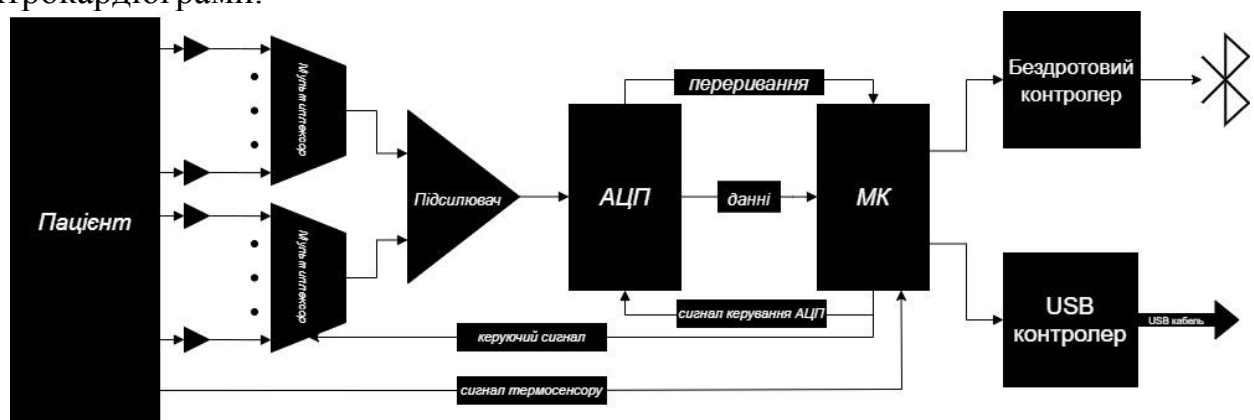


Рис. 1 Структурна схема автоматизованої портативної системи електрокардіографії

ВИСНОВКИ

Розроблена автоматизована система портативної електрокардіографії з новітнім алгоритмом комплексної діагностики значень зубців, інтервалів ЕКГ та

значень температури в моменти реєстрації параметрів ЕКГ людини дозволила підвищити точність діагностики стану серцево-судинної системи та серця і розширити функціональні можливості за рахунок врахування температурного градієнту тіла пацієнта .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Спільний проект Державної служби статистики України та Українського центру суспільних даних. – <https://socialdata.org.ua/death/>
- [2] A. Kyrylova and N. Tereshchenko, “Estimation of ultrasound influence on biological tissue”, in Proc. XIII Int. Ph.D. Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, Poland, 2011, pp. 319—323.
- [3] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288 с. ISBN 978-966-622-952-9 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [4] Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
- [5] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [6] Грузинська О.Т., Терещенко М.Ф. Метод електрокардіологічного дослідження з розширеними функціями / Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – с.298-301
- [7] Дипломне проектування [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання дипломних проектів для студентів напрямку 6.0909 – «Прилади» спеціальності “Медичні прилади і системи” усіх форм навчання / НТУУ «КПІ» ; уклад.: Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, С. П. Вислоух, О. І. Паткевич. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,26 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 104 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32089>

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко

УДК 616-71

А.А. Хоменко, студент гр. ПБ-п72
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДУЛЬ ПЕРФОРАЦІЇ ШКІРИ ДЛЯ ЗАБОРУ КРОВІ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ БІОМЕТРИЧНІЙ СИСТЕМІ

Анотація. У даній роботі було проведено аналіз існуючих методів забору крові та розроблено їх класифікацію. Запропоновано структурно-функціональну схему модулю проколу біологічної тканини для забору крові з пальця: що містить в собі систему пошуку та виявлення судин за допомогою машинного зору та автоматичний забір необхідного об'єму зразка крові.

Ключові слова: зразок крові, перфорація, прокол біологічної тканини, автоматичний модуль, біометрична система, капілярна кров

ВСТУП

У наш час для точної діагностики захворювань широко застосовують показники крові, що є індикаторами стану людського організму та працездатності окремих біологічних систем та органів. Проведення аналізів крові є одним з найшвидших і точних способів визначення діагнозу. Багато складнощів виникають при проколі біологічних тканин, що пов'язані зі стерильністю та гігієною, ідентифікацією вени чи капіляра, глибиною проколу, а також проблем, що викликані людським фактором. [1]

Ситуація вимагає глобальних рішень для реалізації яких актуальна розробка автоматизованих систем для проколу біологічних тканин і забору крові, які забезпечать безпечно та швидко проведення цієї процедури, простоту використання та зменшить навантаження на медичний персонал. Поєднання таких систем з біометричною ідентифікацією пацієнта [2,3] дозволить забезпечити якісний результат.

Метою роботи є створення автоматизованого модуля для перфорації шкіри з автоматичним забором крові, що дозволить безпечно та максимально зручно провести якісну діагностику захворювань і моніторингу стану здоров'я.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ЗАБОРУ КРОВІ

В даній роботі було проведено огляд та аналіз існуючих методів забору крові та розроблена класифікація за ознаками їх використання, що показано на рисунку 1. Основною характеристикою є тип крові, для забору якої використовується прилад. Такими типами є: артеріальна, венозна і капілярна. Методи забору капілярної крові дозволяють більш широко використовувати їх порівняно з артеріальною і венозною, так як є більш простими, та використовують інструменти для проколу (скарифікатори, ланцети, наноголки і інше), а також дозволяють проводити забір поза медичними закладами.

Принципальною відмінністю у методах є автоматизація процесу, тому за способом проколу вирізняють механічні пристосування: лазер Ег: YAG 2940 нм, ланцети, наноголки, автоматизовані одноразові скарифікатори. Головним недоліком є те, що на проведення успішної процедури забору крові найбільше впливає кваліфікація і досвід медичного персоналу.



Рисунок 1. Класифікація методів забору крові

Проблему впливу людського фактору можна вирішити за допомогою автоматизованих систем, що виконують прокол біологічної тканини і забір крові без втручання у процес медичного працівника.

Автоматизовані системи відрізняються способами перфорації тканини (лазерна або голкова) та поділяються на стаціонарні та мобільні (переносні).

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА МОДУЛЮ ПЕРФОРАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗАБОРУ КРОВІ

Незважаючи на досконалість автоматизованих пристроїв інженери стикаються з проблемами при проектуванні даних модулів. Необхідно забезпечити стерильність кожної наступної процедури і точне визначення розташування судини.

У роботі було запропоновано розробку схеми модулю перфорації пальця, що зображена на рисунку 2, що складається з блоку живлення, діоду, блоку визначення капіляру, блоку позиціювання, блоку індикації речовини та змінного блоку перфорації та забору зразка крові. Даний модуль працює наступним чином. За допомогою пропускання світла з діоду, через палець та фокусування блоком визначення капіляру, що в свою чергу складається з двох камер, визначається положення кровоносної судини. Модуль керується мікроконтролером, який розміщений в блоці управління, що подає сигнал на блок ідентифікації кровоносної судини, що представлений випромінювачем та приймачем ближнього інфрачервоного світла (камера 1 та камера 2) [4].

Якщо судина знайдена, мікроконтролер подає сигнал на блок позиціювання, який складається з двох крокових двигунів, що забезпечує переміщення змінного блоку перфорації та забору крові відносно двох осей координат. Далі за допомогою наноголки відбувається прокол тканини та після досягнення двигуном крайнього положення мікроконтролер подає сигнал на зворотній рух. Голка виходить з тканини і за допомогою вакууму, що виникає між об'єктом забору крові і кріпленням голки завдяки особливості конструкції корпусу модуля, відбувається наповнення сосуда кров'ю для подальшого її аналізу.

Стерильність приладу забезпечується змінним блоком перфорації, та ємності для крові.

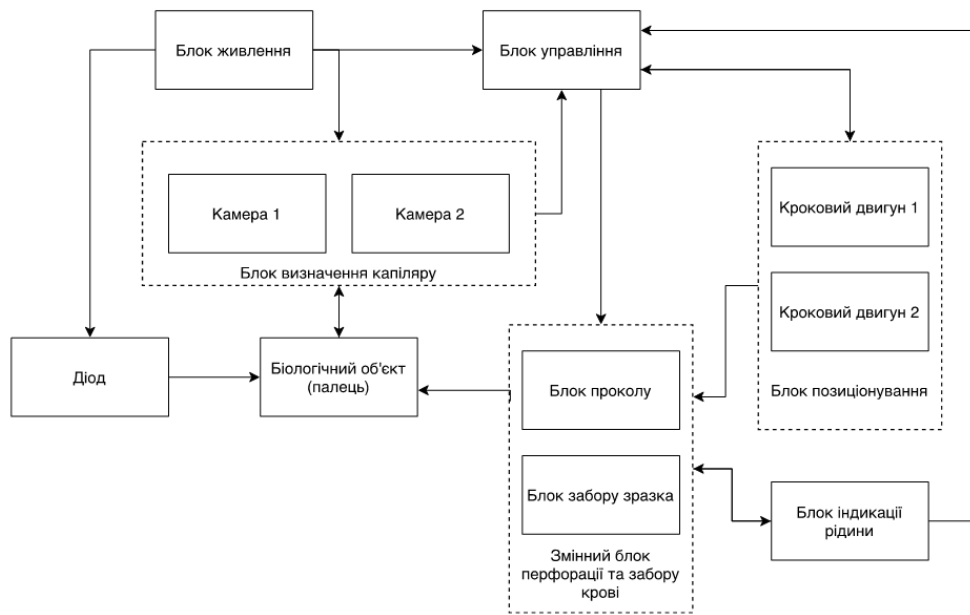


Рисунок 2. Структурно-функціональна схема напівавтоматичної системи перфорації біологічної тканини та забору крові

ВИСНОВКИ

Можна зробити висновок, що розробка автоматизованого модулю для забору крові для автоматизованої біометричної системи допоможе отримати якісні зразки для успішного проведення дослідження крові, та достовірного і своєчасного встановлення діагнозу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Яковенко І.О. Неінвазивний моніторинг складу макроелементів в крові /Яковенко І.О., Ключко Т.Р., Леус О.О.// XI Міжнародна науково-практична конференція «Людина і космос» 2009р.—Дніпропетровськ; Дніпропетровськ; НЦАОМУ, 2009. - С.265.
- [2] Яковенко І. О., Рудий О. Д., Турчина М. О. IMPROVEMENT OF THE CREDIBILITY OF ANALYSIS OF ELECTROCARDIOGRAMS FOR BIOMETRIC PERSONAL IDENTIFICATION //Перспективні технології та прилади. – 2019. – №. 15. – С. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-18>
- [3] Яковенко І. О. и др. BIOMETRICAL IDENTIFICATION ON THE BASIS OF PHOTOPLETHYSMOGRAM FOR AUTOMATED MEDICAL SYSTEMS //Перспективні технології та прилади. – 2019. – №. 15. – С. 120-124. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-17>
- [4] K. Yamakoshi, S. Ishimaru, A. Nakabayashi et al., “Development of a compact device for self-monitoring of venous blood glucose using miniature needle and infra-red CCD monitor,” Transactions of the Japanese Society for Medical and Biological Engineering, vol. 42, p. 198, 2003 (Japanese).

Наук. керівник – асистент Яковенко І.О.

УДК 617.3

В.В. Цапенко, аспірант гр. ПБ-72ф, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ СТОПИ. РЕОВАЗОГРАФІЯ

Анотація. Описано діагностичні можливості реовазографії, як біофізичного методу дослідження сегментів нижніх кінцівок.

Ключові слова: реовазографія, реографія, електропровідність, плоскостопість, стопа, мікроциркуляторне русло.

ВСТУП

Велике практичне значення для медицини має прикладна біофізика, яка розглядає значне коло питань, пов'язаних з фізичними явищами, що є в основі будови та організації органів і систем організму. В сучасній біомедичній інженерії досить молодим та перспективним напрямком є клінічний аналіз рухової діяльності - дослідження різноманітних патологій ходи та основної стійки, з використанням методів біофізики та біомеханіки.[1] Не викликає сумнівів значимість оцінки функціонального стану опорно-рухової системи у пацієнтів ортопедичного та неврологічного профілю. Однак між тим, в даний час, методи інструментального аналізу ходи ще не отримали широкого розповсюдження та впровадження в широку клінічну практику вітчизняних лікувальних установ та реабілітаційних центрів. Найчастіше оцінка біомеханічних функцій проводиться візуально і має велику частку суб'єктивізму. Інформація отримана за допомогою спеціалізованої апаратури може бути використана на всіх етапах лікувального процесу - від діагностики захворювання з виявленням провідної патологічної ланки до оцінки правильності проведеного лікування, дослідження очікуваних та віддалених результатів реабілітації, виконання експертної оцінки, тощо. [2]

У процесі життя у всіх людей тою чи іншою мірою змінюються функціональні параметри стопи. Насамперед вони стосуються її ресорної та опорної функцій. На даний момент, поздовжня та поперечна розпластаність стоп, що може мати як самостійний характер, так і поєднуватися з іншими статичними деформаціями, є одним із найбільш поширених ортопедичних захворювань. За даними ВООЗ - 75 % населення планети мають ті чи інші патологічні зміни стоп, найбільш частою з яких є плоскостопість. Ця деформація стоп є причиною багатьох важких захворювань опорно-рухового апарату, які часто призводять до інвалідності. Плоско-вальгусна деформація стоп – широко поширене ортопедичне захворювання, при якому поздовжнє склепіння патологічно низьке або взагалі відсутнє. Частота даної патології за даними різних авторів складає близько 70%. [1]

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Аналіз літературних джерел показав, що більшість дослідників вважають плоскостопість захворюванням, обумовленим взаємодією генетичних, середовищних факторів, гіперперевантаженням окремих частин опорно-рухового апарату, що призводить до порушення функцій стопи і постійної напруги литкових м'язів, що заважає нормальному венозному відтоку з нижніх

кінцівок, роблячи істотний вплив на стан мікроциркуляторного русла. [1-3] Своєчасне виявлення мінімальної активності процесу дозволить істотно скоротити кількість ускладнень і поліпшити прогноз захворювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з основних неінвазивних методів дослідження гемодинаміки в сегментах нижніх кінцівок є реовазографія, яка широко використовується при лікуванні пацієнтів із захворюваннями і травмами опорно-рухової системи. Необмежена частота використання методу у кожного хворого дозволяє отримувати порівнянні результати при проведенні досліджень в динаміці лікування, після його закінчення і обґрунтовано їх інтерпретувати. Реовазографія (РВГ) - метод діагностики стану судин кінцівок та оцінки руху крові в них на основі реєстрації змін їх електричного опору (Рис. 1).



Рисунок 1. Приклад реовазограми [3]

Це сучасний неінвазивний метод дослідження динаміки пульсового кровонаповнення органів і тканин або окремих ділянок тіла. РВГ дозволяє автоматично розпізнавати різновиди магістрального і коллатерального кровотоку, визначати рівень артеріальної оклюзії, діагностувати порушення венозного відтоку, тощо. Цей метод є надзвичайно цінним при дослідженні захворювань периферичних артерій, що супроводжуються частковим звуженням або повної обтурацією судини. За результатами даного дослідження можна судити про порушення кровообігу, найчастіше обумовленому атеросклеротичними або запальними ураженнями судин.[3] Реовазографія знайшла широке застосування, як біофізичний метод дослідження діабетичної стопи. При виконанні РВГ реєструється електричний опір (імпеданс) живої тканини (ЖТ) змінному струмові високої частоти. ЖТ організму є провідниками електричного струму, при цьому різні тканини володіють різною електропровідністю, і відповідно - різним електричним опором. Електропровідність біологічних систем - це кількісна характеристика здатності живих об'єктів (тканин) проводити електричний струм, обернено пропорційна величині електричного опору системи.[4] Будь-яку живу тканину можна розглядати як неоднорідний провідник електричного струму, при цьому найвищою електропровідністю володіють біологічні рідини, зокрема, кров, а найнижчою - кістки і шкіра. Тому, якщо через певну ділянку тіла пропускати змінний електричний струм високої частоти (близько 500 кГц) і малої сили (не

більше 10 мА) і одночасно реєструвати електричний опір цієї ділянки – виявляється, такий опір буде постійно змінюватися в зв'язку з проходженням по тканинам пульсової хвилі.[3] Таким чином, крива зміни опору добре відображає кровонаповнення тканин при проходженні ними пульсової хвилі. На цьому заснована методика реографії. Електропровідність g біологічних тканин обумовлена присутністю в електролітах іонів, які є вільними зарядами і створюють в організмі струм провідності під дією електричного потенціалу, що випромінюють як зовнішні джерела, так і генерують живі клітини. Струм провідності в живих тканинах залежить від їх типу, виду та віку; а для тканин, клітини яких являють собою волокна – від їх орієнтації відносно напрямку вектору електричного поля. Значний вплив на електропровідність біологічних тканин має вміст води. Якщо до живої тканини прикласти постійну різницю потенціалів, то виявляється, що сила струму змінюється в часі, при сталій напрузі. Сила струму за певний час змінюється в сотні разів, а через деякий час встановлюється на сталому рівні. Це пов'язано з виникненням електрорушійної сили (ЕРС) поляризації під час проходження постійного струму через біологічну систему. Ця ЕРС є функцією часу і зменшує прикладену напругу. Закон Ома для біологічних систем запишеться у вигляді [5]:

$$I = \frac{U \cdot E(t)}{Z} \quad (1)$$

де $E(t)$ – ЕРС поляризації;

Z – загальний опір біологічної тканини.

Величина $E(t)$ пов'язана з діелектричними ємнісними властивостями живих об'єктів, зумовленими поляризацією. При вимірах електропровідності на змінному струмі з круговою частотою ω загальний опір системи, або імпеданс, залежить від наявності кордонів розділу в системі, на яких може відбуватися накопичення зарядів - поляризація. Значення електропровідності для окремих біологічних тканин (Табл. 1). [4, 5]

Таблиця 1. Значення електропровідності окремих біологічних тканин і рідин

Тканина	$g, \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$
Спинномозкова рідина	1.82
Кров	0.6
М'язи	0.5
Шкіра	10-4
Кісткова тканина	10-7

Властивості кордонів розділу (в біологічному об'єкті це, в основному, різні мембрани) можуть бути описані, якщо ввести поняття ємності c , опір якої X_c (реактивний опір, на відміну від R - активного опору) залежить від частоти, на якій проводиться вимірювання:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} \quad (2)$$

Загальний опір (Z) дорівнює:

- у випадку послідовного з'єднання R і c :

$$Z = X_c + R \quad (3)$$

- при паралельному з'єднанні R і c :

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + w^2 \cdot R^2 \cdot c^2}} \quad (4)$$

У свою чергу, електричний опір біотканин Z - залежить від електропровідності та геометричних параметрів середовища.

$$Z = \frac{l}{g \cdot S} \quad (5)$$

де l – довжина зразка,

S – площа поперечного перерізу досліджуваного зразка. [4, 5]

ВИСНОВКИ

Таким чином, описаний та опробований біофізичний метод дослідження стопи дозволяє оцінити стан артерій і вен досліджуваної ділянки, їх прохідність, виявити часткове звуження або повне закриття судин. Даний метод може бути одним із ефективних шляхів корекції плоскостопості, оскільки вплив має проводитися не тільки на опорно-рухову систему, а й на систему кровообігу для зміцнення стінок судин і поліпшення плинності крові.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко та Г. С. Тимчик, «Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей», // KPI Science News, №1, с.67-75, 2019. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812
- [2] Кашуба В.А. Биомеханика осанки: монография. - Киев: Олимпийская литература, 2003. – 280 с.
- [3] Мартусевич А.К. Реовазографическая оценка состояния микроциркуляции нижних конечностей у детей с плоскостопием [Электронный ресурс] / Мартусевич А.К., Мамонова С.Б. // Медицинский журнал ВРАЧ-АСПИРАНТ. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://vrach-aspirant.ru/articles/pediatrics/18053/>.
- [4] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко та М. В. Чухраєв, «Дослідження електропровідності біологічних тканин», Вісник НТТУ «КПІ». Серія приладобудування, № 53(1), с.87-94, 2017.
- [5] В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко, «Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань» Новые направления развития приборостроения. Материалы 9-й Международной научно-технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с.135.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

УДК 615.849.19.03:616-002

М.В. Цокота, аспірант гр. ПБ-72ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ ВИХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ТЕРАПІЇ

Анотація. Ефект від терапевтичних процедур створюється з урахуванням ряду параметрів. Вихідна потужність променю є одним з ключових факторів для низькоінтенсивної лазерної терапії (НІЛТ), оскільки вона має пряму кореляцію з якістю проведення процедур. Різниця між реальною потужністю випромінювання (РПВ) і номінальною потужністю випромінювання (НПВ) може впливати на очікуваний результат. В роботі проводиться дослідження відхилення цих значень в пристроях клінічного використання та методика налаштування номінальних показників.

Ключові слова: лазерна терапія низького рівня; вимірювання потужності; світлодіодний лазер.

ВСТУП

В сучасній науці використання лазера з різними довжинами хвилі та потужності застосовується в найрізноманітніших сферах, зокрема, в медичній терапії. Значною мірою збільшується використання лазерів для низькоінтенсивної терапії (НІЛТ) в медицині та косметології.

Деякі з найважливіших параметрів для розрахунку необхідної дози в НІЛТ залежать від фактичної потужності, що подається лазерним обладнанням.

Методики терапії базуються на розрахунку проходження випромінювання через тканини, при якому значення лазера базується на номінальних вихідних значеннях.

Дане дослідження спрямоване на визначення реальної вихідної потужності лазерних терапевтичних пристроїв.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Терапевтичний вплив лазерного випромінювання розраховується з урахуванням особливостей тканин. Ряд досліджень вимірювання температури шкіри при проведенні лазерної терапії [1] відображають методи динамічного контролю температури при дії лазера. Проте в ході терапії процедура назначається базуючись на вихідних номінальних значеннях потужності лазера. Реальні значення з часом можуть відрізнятися від номінальних. Тому це може впливати на ефективність терапії.

Характерною особливістю лазерів є спектральна монохроматичність та когерентність. Проте в технічних засобах використовуються також світлодіодні та газорозрядні (теплові) джерела випромінювання, які є економічно вигіднішими в застосування. В таких, за допомогою різних монохроматорів (інтерференційних світлових фільтрів, дифракційних решіток тощо) вирізають відносно вузьку спектральну лінію шириною 8-14 нм з максимумом по довжині хвилі лазера, який береться за еталон. [2]

Оскільки смуги теплових та світлодіодних лазерів є широкими в своєму спектрі, існує ймовірність похибки в значенні також реальної інтенсивності. Робоче значення потужності для некогерентного вузько смугового випромінювання має надзвичайно важливе значення та впливає на ефективність результату від терапії. [3]

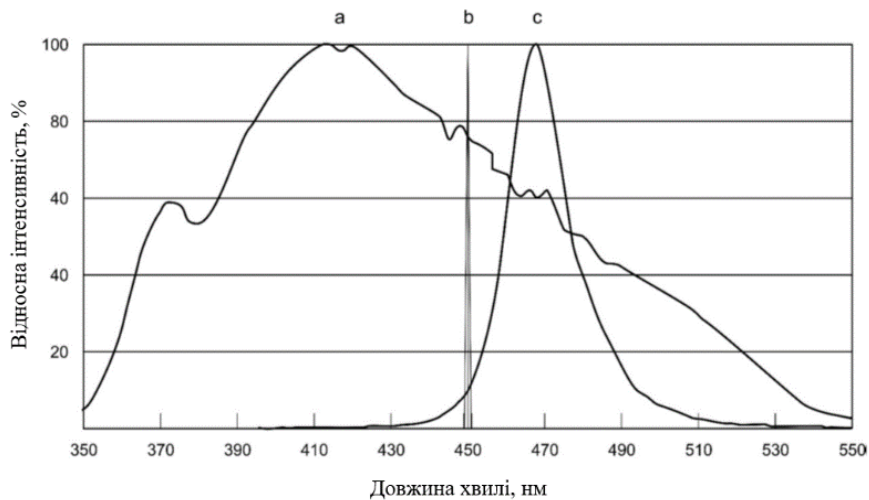


Рисунок 1. Спектри випромінювання лазерних елементів:
а) лампа Фінсена зі спеціальним фільтром; б) лазерний діод PL 450B OSRAM; в)
світловипромінюючий діод NHSB046AT NICHIA.

Деякі з найважливіших параметрів для розрахунку дози в НІЛТ залежать від фактичної вихідної лазерної потужності, від якої залежить енергія, що фактично досягає цільової тканини.

Особливість впливу при лазерній терапії напряму залежать від параметрів випромінювання та середовища роботи лазера.

Дослідження показали, що, що лазерні електротехнічні засоби не часто піддаються періодичному обслуговуванню. Побічними чинниками, що впливають на променеву потужність є очищення зовнішньої оптичної поверхні від забруднень, використання пластикових плівок для захисту лазера та час використання. [4]

При використанні світлодіодних лазерів ефект від терапевтичної дози при цьому не є передбачуваним за розрахунками.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порівнюючи номінальні та вимірні значення потужності випромінювання, виявлено що при номінальних значеннях потужності від 30 до 109 мВт, реальні значення коливалися від 12,92 до 109 мВт. Це відповідає розбіжності від 43% до 109% від номінальних значень. [5]

Заявлені допустимі відхилення від виробників свідчать про похибку до 5%. Та на практиці дані відрізняються. Кількість енергії, що надходить до тканини, є одним з головних факторів успіху проведеної терапії, та впливає зі значень потужності та площа плями впливу. Дослідження базувалося на оцінці пристроїв в умовах клінічного використання. Таким чином, навіть якщо обладнання не має електротехнічних зауважень, існує ймовірність відхилення від номінального значення.

Більші відхилення можуть вплинути на очікуваний терапевтичний результат, або не дати очікуваних результатів від терапії.

Особливістю для лазерної терапії, є зокрема терапевтичне вікно дози: нижче певної дози очікувані результати не спрацьовують і, перш за все, результати можуть бути всупереч очікуванням. Тому, якщо фактична потужність не дорівнює номінальній потужності, терапія, яка вводиться, не може бути успішною.

Таким чином, для максимального результату потрібно вводити планове калібрування до проведення терапевтичних процедур.

Світлодіодним лазером, які мають широкий монохроматичний спектр, варто приділяти особливу увагу для вибору потужності впливу. Вони є популярними в використанні, тож потребують подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

Фактична вихідна потужність лазерного випромінювача може відрізнятися від номінальних значень, що спричиняє інший ефект від терапевтичних процедур.

Випромінювання потужності є важливим фактором, який слід враховувати, оскільки воно впливає на кількість енергії, що надходить до тканини-мішені. Різниця між реальною і номінальною потужністю випромінювання може заважати очікуваним терапевтичним результатам, оскільки пацієнт отримуватиме меншу або більшу енергію випромінювання, ніж необхідну для терапії.

В клінічних умовах важливо систематично перевіряти та калібрувати апарати для НІЛТ перед проведенням процедур для отримання бажаного розрахункового терапевтичного ефекту від процедури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена. «Моніторинг зміни температур при лазерній терапії». *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*, Серія приладобудування, №47, с.156-162, 2014.
- [2] М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський, «Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням» *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*, Серія приладобудування, — №44, с. 90–97, 2012.
- [3] Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, «Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах», *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. Серія приладобудування. - Вип. 49. - с. 153-158, 2015.
- [4] С.В. Москвин «Можно ли для лазерной терапии применять светоизлучающие диоды?» *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2017. №2. Публикация 3-2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-2/3-2.pdf> (дата обращения: 26.04.2017). DOI: 10.12737/article_5909a3c0e5f805.90833502.
- [5] André Machado de Senna, Rosa Maria Machado-de-sena, Arseni Lázaro Facundes, Patrícia Barros Nepomuceno, Wanilza Sávy Florentino, Ronyere Olegário de Araújo, "Low-level laser therapy equipment needs calibration before clinical use," *Proc. SPIE 10582, Laser Florence 2017: Advances in Laser Medicine, 105820D* (12 April 2018); doi: 10.1117/12.2315562

Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

УДК 615.831.7

О. Г. Шмендель, аспірантка гр. ПБ-82ф, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛА У ВЕРХНІХ ШАРАХ ШКІРИ ПІД ВПЛИВОМ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. Необхідність досліджень взаємодії лазерного випромінювання з біологічними тканинами (БТ) аргументована популяризацією застосування лазерного випромінювання (ЛВ) та лазерної терапії (ЛТ) у багатьох сферах медицини та косметології. Найбільш поширеними сферами застосування ЛТ є дерматологія та косметологія, що генерує запит на ґрунтовні прикладні дослідження процесів проходження ЛВ крізь шари шкіри та формування відклику тканинних шарів на дану дію.

Ключові слова: лазерне випромінювання, шкіра, епідерміс, симуляція, модель.

ВСТУП

З попередніх досліджень [1,2] відомо, що реакція біологічної тканини на дію ЛВ супроводжується оптичними та тепловими ефектами з диференціальним виділенням теплової енергії БТ. Тому потреба в глибокому розумінні протікаючих процесів комплексної взаємодії лазерного променя з структурами БТ вимагає досконально візуалізувати етапи розподілу тепла в поверхневих шарах шкіри. Для наглядної візуалізації був змодельований процес розподілу теплової енергії під впливом ЛВ в площинних та глибинних шарах БТ, а саме шкіряному покриві кінцівки руки людини, з урахуванням процесів в трьох верхніх поверхневих шарах шкіри: роговий шар, епідерміс та дерма.

ПРОЦЕС СИМУЛЯЦІЇ

Умовна модель шкіряного покриву людини із використанням дії лазерного променя, що переносить енергію E , інтенсивності $I(t)$ та щільності потужності P , яка частково відбивається від поверхні рогового шару, проходить через роговий шар, епідерміс та дерму, розсіюючись, абсорбуючись та поглинаючись цими шарами, віддаючи при цьому свою енергію.

Частина цієї енергії перетворюється в теплову енергію в процесі взаємодії з клітинами та волокнами біологічної тканини. Змінюється температура біологічної тканини в зоні дії лазерного променя. Цей процес взаємодії із застосованими параметрами зображений на «Рис.1» [3]:

Процеси дослідження та моделювання взаємодії ЛВ з живою біологічною тканиною із симуляцією були виконані у програмі RPSMES в Лодзькому технічному університеті на фізичному факультеті в 2019 році (Республіка Польща).

Були задані параметри низькоінтенсивного терапевтичного лазерного випромінювання у «Табл.1», що взаємодіє з живим біологічним об'єктом - шкіряним покривом верхньої кінцівки людини (кисть руки) з врахуванням товщини кожного шару її шкіри та коефіцієнту теплопровідності для цих шарів шкіри, що приведені у «Табл.2».

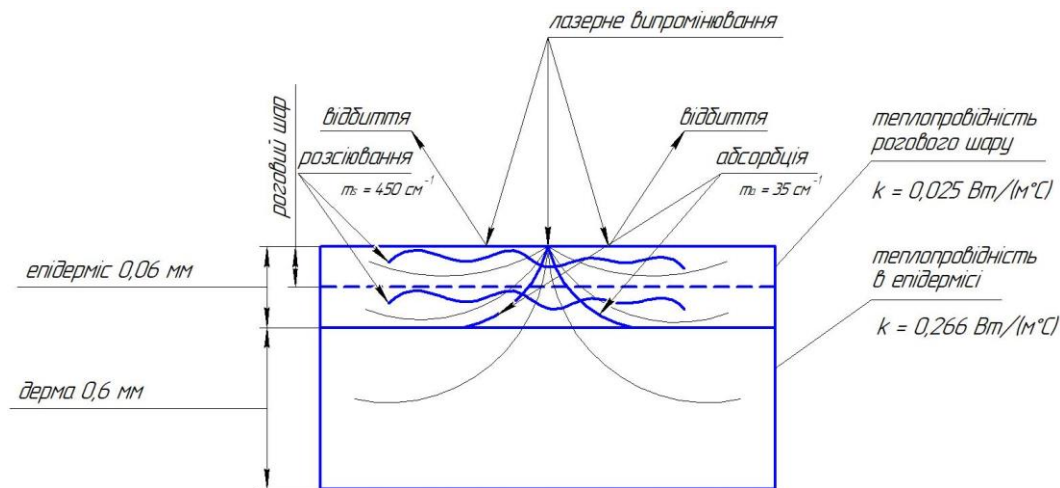


Рисунок 1. Фізична модель впливу ЛВ на БО

Для симуляції застосовувалися наступні параметри лазерного випромінювання:

Таблиця 1. Параметри ЛВ

№ п/п	Назва параметра	Значення	Одиниця вимірювання
1	Довжина хвилі	633	нм
2	Щільність потужності ЛВ	20	мВт
3	Діаметр пучка лазерного променя	2	мм
4	Час взаємодії (впливу)	10	хв

При симуляції було враховано коефіцієнт генерації метаболічного тепла, що розраховується за формулами 1 та 2, коефіцієнт теплопровідності та густина БТ [4-6]. Використані дані внесені в «Табл.2»:

Таблиця 2. Параметри шкіри

№ п/п	Назва параметра	Шар шкіри	Значення	Одиниця вимірювання
1	Коефіцієнт генерації метаболічного тепла	Роговий шар	$1,592 \cdot 10^8$	Вт/м^3
		Епідерміс	$2,653 \cdot 10^7$	
		Дерма	$2,653 \cdot 10^6$	
2	Коефіцієнт теплопровідності	Роговий шар	0,19	$\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
		Епідерміс	0,24	
		Дерма	0,45	
3	Густина	Роговий шар	1000	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
		Епідерміс	1200	
		Дерма	1200	

Об’єктна модель кисті руки умовно була задана у вигляді циліндричної області, відповідно до принципу Сен-Венана, і розраховувалася за допомогою формули:

$$V = \pi R^2 h \tag{1}$$

де R – радіус об’єкта та h – товщина шару шкіри.

Це дало можливість розрахувати генерація метаболічного тепла в шарах шкіри для кожного шару шкіри за допомогою формули:

$$q_{meat} = P/V \quad (2)$$

де P – щільність потужності ЛВ

У кодах програми були занесені всі попередньо зазначені параметри «Табл.2» для кожного шару окремо і потім об'єднано в одну циліндричну модель біосередовища, що складається з трьох шарів «Рис.1». Обрана для моделювання ділянка руки має невелику кількість капілярів та судин, тож вплив кровотоку на результати симуляції низький і не враховувався у процесі моделювання. Похибка моделювання не перевищувала 7,4%.

На «Рис.2» зображено процес поширення тепла в моделі біосередовища, зміна значень температур зазначена в градусах Кельвінах.

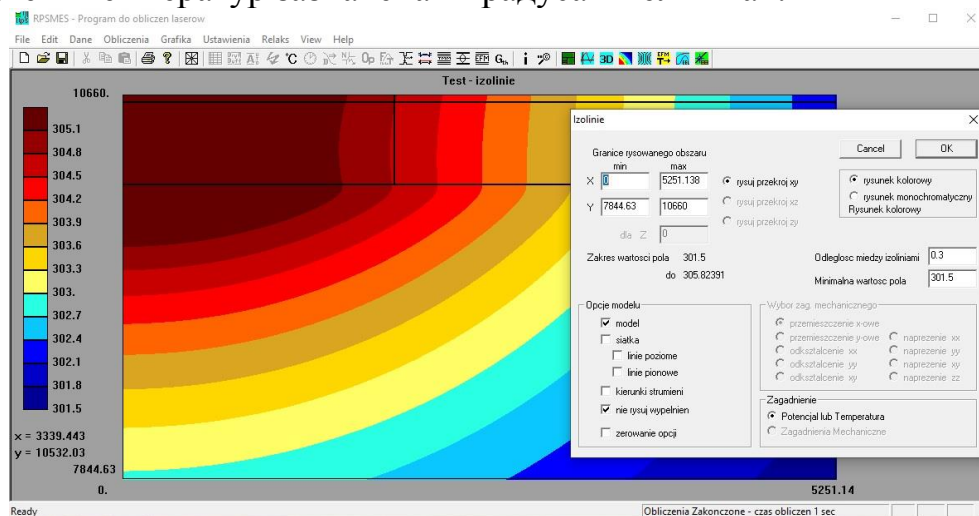


Рисунок 2. Процес поширення тепла

Процес моделювання показав, що розподіл тепла відбувається у всіх трьох шарах шкіри, які ми розглядаємо, досить активно.

На «Рис.3» побудовано графік зростання температури у верхніх шарах шкіри. Закономірність зростання температури близька до експоненційної залежності [4]. Графік побудований у програмі RPSMES на основі даних отриманих у результаті симуляції процесу поширення тепла в живій біологічній тканині під впливом ЛВ.

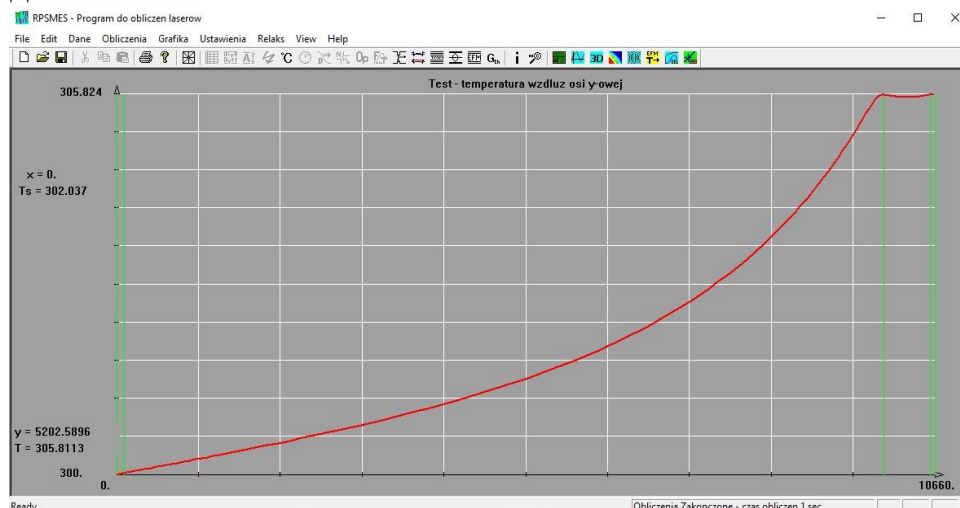


Рисунок 3. Графік підвищення температури протягом 10 хв

ВИСНОВОК

Дана симуляція була проведена для візуалізації процесу поширення тепла у шкірі і відтворення даних, отриманих в експериментальних дослідженнях.[3,4]

Розроблена симуляція не є точним моделюванням процесу поширення та розподілу тепла, так як параметри шкіри були взяті із досліджень [5]. Похибка моделювання не перевищувала 7,4%. До того ж, у кожної людини параметри і властивості біологічних тканин відрізняються, тож важко визначити якісь усереднені значення. Але ми можемо побачити досить подібну динаміку, якщо порівняємо результати процесу симуляції та отримані дані з проведених експериментів. [6,7]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена, «Моніторинг зміни температур при лазерній терапії». Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Серія приладобудування, №47, с.156-162, 2014.
- [2]Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, «Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах», Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія приладобудування. - Вип. 49. - с. 153-158, 2015.
- [3]О. Г. Шмендель, М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик та І. А. Данилюк, «Динаміка змін температурних параметрів у біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання різних довжин хвиль». KPI SCIENCE NEWS, №5-6 (2019), с.87-94, 2019. DOI : 10.20535/kpi-sn.2019.5-6.188316
- [4]Методы математического моделирования в оптике биоткани: уч. пособ. / А. Е. Пушкарева. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.
- [5]M. Pirtini Cetingul, C. Herman. Identification of skin lesions from the transient thermal response using infrared imaging technique, IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, p.1219-1222, 2008.
- [6]Шмендель, О. Г. Процеси змін градієнтів температур в біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання / О. Г. Шмендель, І. А. Данилюк, М. Ф. Терещенко // Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 337–340. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28142>.
- [7]О.Г. Шмендель, М.Ф. Терещенко «Сравнение взаимодействия лазерного излучения разных длин волн на разные типы кожи» на 11-я Междун. науч.техн. конф. Приборостроение – 2018, Минск, 2018. с. 408-409.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 004.451.64:004.94

Ю.А. Юхименко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СТЕНТІВ ДЛЯ МАЛОІНВАЗИВНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ СЕРЦЕВОГО КЛАПАНА

Анотація. В даній роботі розглянуто та проаналізовано методику застосування адитивних технологій у виготовленні полімерних серцевих стентів та порівняння їх з нітиноловими стентами.

Ключові слова: адитивні технології, полімерні стенти, нітинолові стенти, біодеградація.

ВСТУП

Технології 3D-друку та об'єктне моделювання мають величезний потенціал в сучасній медицині в частині відтворення високоточних тривимірних моделей людських органів, а також проектування деяких імплантатів. Однією з пріоритетних задач розробників є максимальне скорочення часу, необхідного для обробки результатів сканування людського організму, швидкого їх проектування і створення необхідних органів або імплантатів для нормальної життєдіяльності людини. [1]

Метою роботи є визначення переваг використання адитивних технологій при виготовленні саморозширювальних полімерних стентів для малоінвазивної імплантації серцевого клапана, опис властивостей, які вони повинні мати та порівняння властивостей друківаних полімерних серцевих стентів з нітиноловими.

ОПИС ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

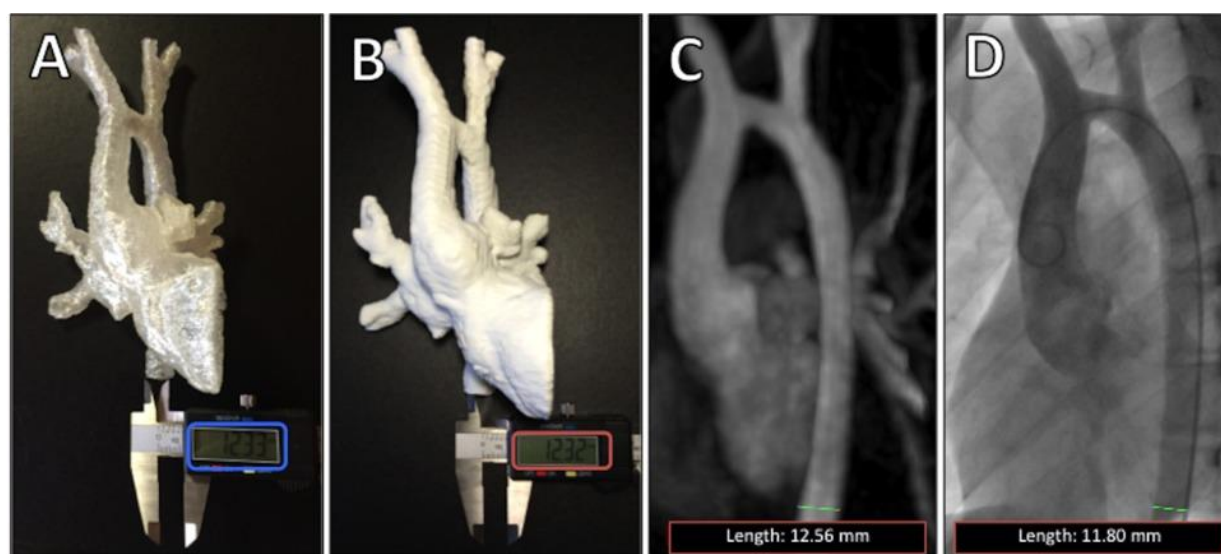
Еволюція малоінвазивних процедур імплантації та потенціал реконструкції *in vivo* серцевих клапанів, що інженерно поєднуються з тканинами, потребують стентів з ростовою здатністю. За допомогою обчислювального апарату та технології 3D-друку є можливим виготовлення полімерного стента з механічними показниками, порівнянними з типовими для звичайних нітинолових стентів, що використовуються для імплантації серцевих клапанів у випробуваннях на тваринах. Був обраний комерційно доступний полімер для 3D-друку, і для перевірки результатів, передбачених обчислювальною моделлю, проводилися випробування на подрібнення та обтискування. Наприкінці, руйнування полімеру оцінювали за допомогою прискореного гідролізу. [2]

Тобто, одними з основних вимог до полімерних стентів є здатність до пружної деформації та здатність до руйнування шляхом біодеградації. При випробуванні, для тестування здатності полімеру до біодеградації (тобто, руйнування в біологічному середовищі) і використовують гідроліз.

Процес створення полімерного серцевого стенту шляхом 3D-друку схожий із друком протезів. Тобто, спочатку за допомогою сканування (зазвичай магнітно-резонансна томографія (МРТ) або комп'ютерна томографія (КТ)) отримують комп'ютерний файл для обробки. Далі виконується сегментація зображень для розділення аорти й лівого шлуночка та виключення інших невідповідних анатомічних, використовується САD-технологія для перетворення сегментованої 3D-геометрії в сумісний файл для 3D-принтерів і,

нарешті, відбувається швидке складання прототипів шляхом осадження плавленої полімерної нитки пошаровими шарами 1 мм. В описаному дослідженні були використані два різні полімернокислотні полімери, жорсткий та гнучкий (тобто було побудовано дві 3D моделі). На весь процес було потрібно приблизно 16 годин: 3 години сегментації, зроблені клініцистом, 3 години комп'ютерного дизайну, зробленого інженером і 10 годин друку.

На рисунку 1 можна побачити вимірювання в аналогічних місцях аорти з використанням прямого штангенциркуля на жорсткій 3D-друкованій моделі (А), гнучкій друкованій 3D-моделі (В), МРТ (С) та рентгенографії (D). На рисунку 1 показаний результат вимірювань на рівні діафрагмальної аорти[3].



Location (mm)	[A] Rigid 3D-model	[B] Flexible 3D-model	[C] MRI	[D] Xray-Angiography
<i>Sinus of Valsalva</i>	30.30	30.34	30.35	30.29
<i>Sinotubular junction</i>	19.91	20.18	19.87	19.89
<i>Ascending aorta</i>	15.12	15.60	15.60	15.20
<i>Transverse arch</i>	9.66	10.58	9.94	9.50
<i>Isthmus</i>	12.76	13.83	13.03	12.90
<i>Descending aorta</i>	13.91	14.91	14.83	13.92
<i>Diaphragmatic aorta</i>	12.20	12.32	12.56	11.80
<i>Arch length</i>	11.75	11.59	11.95	11.72

Рисунок 1 Показники прямого штангенциркуля на двох різних моделях імплантованих стентів.

Тестування надрукованих стентів навантаженням проводиться як за допомогою комп'ютерної симуляції, так і експериментально. Комп'ютерне моделювання показало наявність пластичної деформації з боку стенту, створюючи овальну геометрію після зняття навантаження (рисунок 2 (А)). Отримані експериментальні сили проти кривих зміщення, отримані в результаті випробувань на подрібнення полімерних 3D-друкованих прототипів, та порівняно з обчислювальним моделюванням роздавлення (рисунок 2(В)). Результати експериментів добре узгоджуються з обчислювальними моделями.

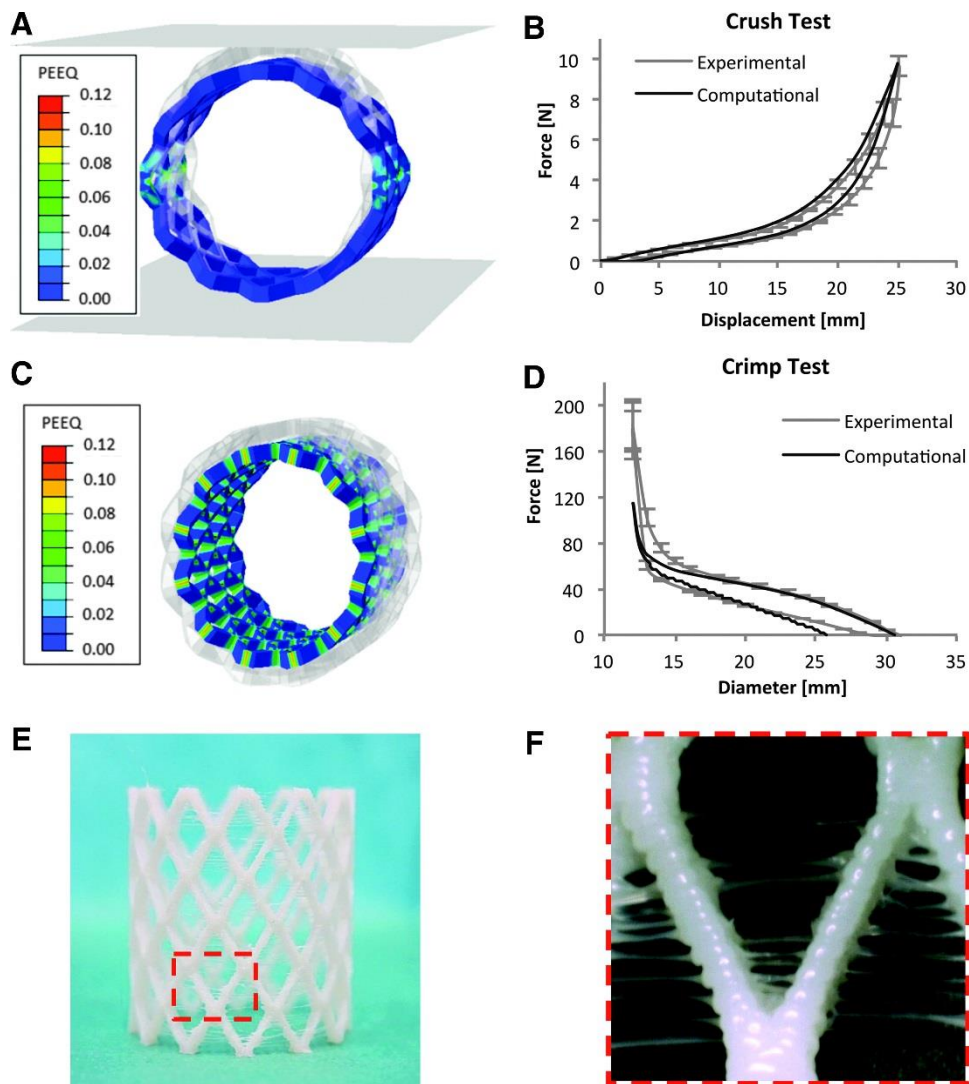


Рисунок 2 Випробування повздовжньою та поперечною деформаціями

На рисунку 2 зображено (A) результат комп'ютерного моделювання повздовжньої деформації (рівнозначна пластична деформація); (B) обчислювальна та експериментальна сила проти кривих переміщень. Результати експериментів показані як середнє значення \pm стандартне відхилення. (C) результат комп'ютерного моделювання поперечної деформації (еквівалентна пластична деформація); (D) обчислювальна та експериментальна сила проти кривих діаметрів. Результати експериментів показані як середнє значення \pm стандартне відхилення. (E, F) 3D-надрукований прототип після випробування повздовжньою деформацією. [2]

ВИСНОВКИ

На основі розглянутих сучасних експериментальних досліджень видно, що 3D-надруковані сердечні стенти можуть мати абсолютно такі ж фізичні та хімічні властивості, нітинолові стенти. На рисунку 3 можна побачити підсумкові графіки порівнянь результатів комп'ютерної симуляції випробування повздовжньою та поперечною деформаціями полімерного стента з еквівалентними результатами моделювання, виконаними на нітиноловому стенті, який слугував еталонем. Отримана сила подрібнення полімерного стента вище, ніж нітинолового (рисунок 3(A)). Через наявність пластичної деформації в

полімері, крива розвантаження не перетинається з кривою завантаження для низьких значень переміщення пластини, як це відбувається з нітиноловим стентом через надпружну природу цього матеріалу[3,4]. Тому, можна зробити висновок, що наявність пластичної деформації в полімерах необхідно враховувати при виготовленні полімерних стентів.

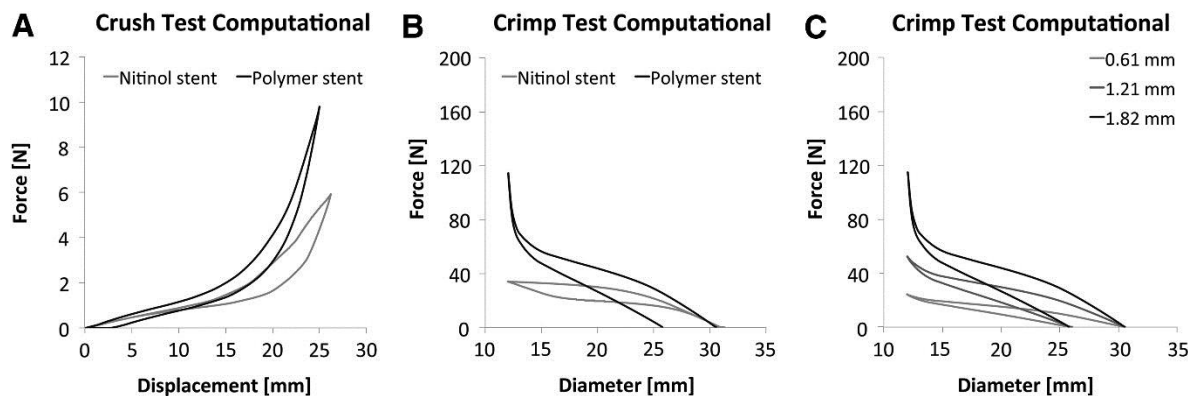


Рисунок 3. Порівняння результатів комп'ютерної симуляції випробування повздовжньою на поперечною деформаціями полімерного стента з еквівалентними результатами моделювання, виконаними на нітиноловому стенті

Після проведення аналізу різних досліджень та тестів можна додати, що перспективи розвитку полімерних сердечних стентів, виготовлених за допомогою адитивних технологій, доволі широкі. В перспективі, вони можуть навіть повністю замінити нітинолові стенти, оскільки мають такі ж фізичні та хімічні властивості, але при цьому їх простіше та швидше виготовляти і проектувати під індивідуальну анатомію кожного пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Юхименко Ю. А., Стельмах Н. В. Моделювання-3D та адитивні технології в сучасній медицині. – 2019.
- [2] Cabrera M. S. et al. Computationally designed 3D printed self-expandable polymer stents with biodegradation capacity for minimally invasive heart valve implantation: A proof-of-concept study //3D Printing and Additive Manufacturing. – 2017. – Т. 4. – №. 1. – С. 19-29.
- [3] Valverde I. et al. 3 D printed models for planning endovascular stenting in transverse aortic arch hypoplasia //Catheterization and Cardiovascular Interventions. – 2015. – Т. 85. – №. 6. – С. 1006-1012.
- [4] Yoo S. J. et al. 3D printing in medicine of congenital heart diseases //3D printing in medicine. – 2016. – Т. 2. – №. 1. – С. 3

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

Секція 7.
**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА
ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА**

УДК 004.89

Андрєєв С. М., студент гр. ПБ-91
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТИКИ ЛЕГЕНЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Анотація. Метою даної роботи є створення системи, яка здатна автоматизувати обробку рентгенівських знімків пацієнтів з респіраторними хворобами. У статті акцентовано увагу на методи виявлення патологій за допомогою машинного навчання. Наукова новизна цієї роботи полягає в тому, що було спроектовано алгоритм візуалізації рентгенограм для медичних фахівців, за допомогою якого можна відстежити ознаки певних легеневих захворювань опираючись на об'ємну модель та сегментацію зображення за допомогою згорткової нейронної мережі.

Ключові слова: автоматизація, рентгенографія, машинне навчання.

ВСТУП

Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі через хвороби, що ушкоджують нижні дихальні шляхи, зокрема легені, помирає приблизно 7,3 мільйонів осіб щороку. У цьому році світ зіштовхнувся з новою хворобою, смертність із-за якої викликана насамперед тяжким ураженням дихальної системи – інфекцією COVID-19. Людський організм є занадто складною біологічною системою і у своєму збірному понятті не є чітким механізмом, через що ще неможливо повністю замінити лікарську працю автоматизованими системами. Але повністю можлива й у буквальному сенсі життєво необхідна допомога медичним фахівцям у боротьбі за людське життя. Єдиною запорукою для одужання хворого є своєчасна та якісна діагностика. Одним з основних методів встановлення діагнозу подібних респіраторних захворювань є рентгенографія, аналіз та обробку якої можливо значно удосконалити, надавши лікарю візуальну модель та використовуючи машинне навчання для знаходження осередку захворювання.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Рентгенограма — це зображення, що може бути отримано за допомогою рентгенівської плівки, яке виникає завдяки дії на плівку рентгенівського променя, що пройшов через досліджуваний об'єкт.

Сучасне медичне обладнання дозволяє за допомогою рентгенографії дослідити більшість внутрішніх органів. Даний спосіб є одним з найпоширеніших засобів діагностики і його відкриття у 1895 році згодом стало початком застосування методів неруйнівного контролю та діагностики у медицині.

Принцип дослідження за допомогою рентгенографії полягає в наступному:

- Крізь певну частину організму людини проходять рентгенівські промені, які на своєму шляху зустрічають різні за своєю щільністю речовини: кістки, м'які тканини, слизові ущільнення, повітря тощо;
- Оскільки кожна з них має свою пропускну здатність, то промінь втрачає свою інтенсивність і проявляється на детекторі (плівці) більш блякло, а ті ділянки, які наприклад, заповнені повітрям, проявляються на рентгенограмі темним кольором;

- У результаті, на плівці з'являється зображення, на якому зафіксована щільність речовин, а медичний працівник, аналізуючи це зображення, робить висновок і ставить певний діагноз.

На сьогоднішній момент, найпоширенішим захворюванням дихальної системи є пневмонія (рис. 1 та рис. 2). Особливо гостра ситуація з цим захворюванням йде буквально сьогодні. Ця хвороба є основним ускладненням вірусної інфекції COVID-19, внаслідок якої з катастрофічною високою ймовірністю певна частина пацієнтів, яким діагностовано цю інфекцію, може померти. На відміну від легень здорової людини, легені та альвеоли хворого на пневмонію заповнюються гнійними ущільненнями (емфізема), що призводить до затяжного кисневого голодування організму і дисфункції життєво важливих органів. Перебіг хвороби є вкрай болісним для інфікованого пацієнта, а дані про перебіг хвороби – є дуже важливими як для розроблення методики лікування, так і надання своєчасної медичної допомоги та вчасного поставлення діагнозу. У разі, якщо хворий затягує зі зверненням за медичною допомогою, гнійні виділення накопичуються і «перетікають» в інші сектори легень, де з'являється нове вогнище інфекції.

Для постановки точного діагнозу потрібно провести аналіз рентгенограми і загального аналізу крові. Основним показником, який в сумі з рентгенографією дає знати про наявність та перебіг захворювання, є підвищений рівень лейкоцитів у крові.

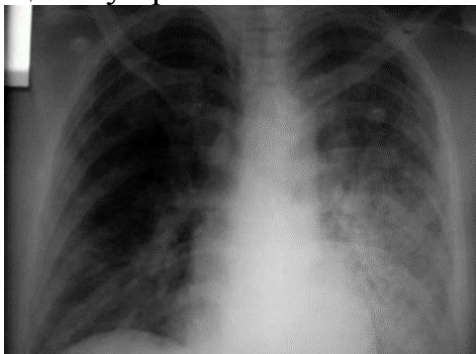


Рисунок 1. Рентгенографія вірусно-бактеріальної пневмонії

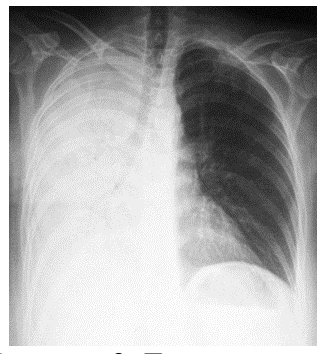


Рисунок 2. Тотальна втрата функціональності однієї з легень

Однак не завжди лікарям вдається вчасно розпізнати захворювання, або діагностувати його початкову фазу. Основною причиною цього є недолік розпізнання ключових ознак хвороби із рентгенівського знімка, який сам по собі не може бути достатньо інформативний на початкових стадіях хвороби. Одним із рішень цієї проблеми є перетворення даних, які отримані з рентгенографії і подальша їх візуалізація, яка дозволить лікарю проаналізувати більше даних, маючи в їх основі лише знімок.

Рентгенограму можна представити у вигляді тривимірної матриці, де індекс i -того елемента j -того стовпця є координатою значень, які розташовуються уздовж третьої осі. Ці значення є величини від 0 до 255, і є послідовними значеннями колірної схеми RGB, які ми здатні отримати з зображення, що є результатом сканування знімка. Далі цю матрицю можна перетворити в двовірну матрицю підсумовуванням по третій осі. У підсумку ми можемо побудувати

тривимірний графік цих значень, які є інтерпретацією залежності (x, y, p) , де перші два значення є координатами, а p – градацією відносної щільності (рис. 3). Під час обробки даних з'ясувалося, що колірна схема градації за сірим кольором відсіює багато аномалій, які виникли внаслідок сканування, і покращує візуальну складову, при цьому не позбавляючи рентгенографічний знімок ключових ознак.

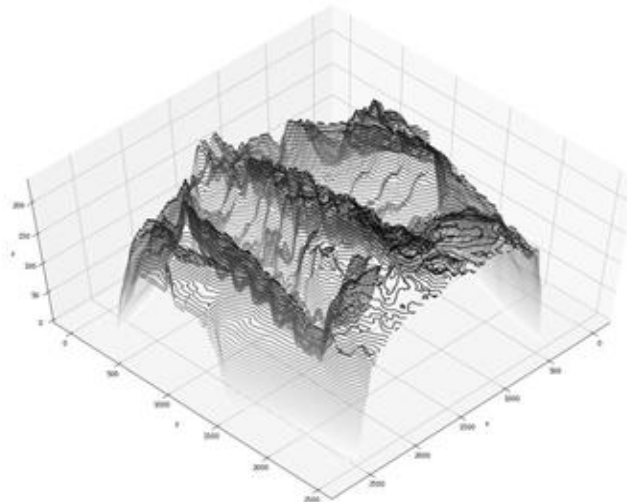


Рисунок 3. Тривимірний графік, що побудований на основі обробки даних з знімку

За допомогою отриманих даних була виявлена закономірність між розташуванням конкретних частин організму і рівнем їх висоти. Використовуючи ці дані, стало можливим провести маркування наборів даних для подальшої сегментації і позначення вогнищ зараження за допомогою засобів машинного навчання [1, 2]. Було прийнято рішення використовувати архітектуру згорткової нейронної мережі (НМ) U-Net, яка була розроблена спеціально для біологічних досліджень.

Дана архітектура має в більшості своїх імплементацій доволі якісні метричні показники і має характерну продуктивність навіть на малих обсягах даних. Засобами даної НМ, зокрема, також планується створити повноцінну тривимірну модель дихальної системи, яка дозволить медичному працівнику проаналізувати не тільки підвищення щільності легеневої тканини у деякому секторі, а й приблизне положення вогнища ущільнення щодо інших органів.

При сегментації зображень зазначеним методом, коли на зображенні будуть знаходитися тільки певні органи, наприклад легені, стає можливим підвищити метричні показники нейронних мереж, які визначають відносну ймовірність захворювання по знімку і обґрунтувати їх вирішення, що в свою чергу потрібно для верифікації розробленої моделі НМ перед впровадженням її у реальні робочі умови системи охорони здоров'я.

ВИСНОВОК

Автоматизація процесу діагностики захворювань нижніх дихальних шляхів є необхідною для поліпшення ефективності лікування і запобігання згубних наслідків перебігу захворювання. За допомогою візуалізації даних для аналізу знімків та використанню машинного навчання для передбачення наявності захворювання стає можливим допомогти співробітникам системи охорони

здоров'я у вирішенні важких завдань і тим самим знизити ймовірність виникнення ускладнень від захворювань.

З огляду на сьогоднішні події – медичний колапс у багатьох країнах світу, який викликаний пандемією COVID-19 – потрібно знаходити рішення для автоматизації та розвантаження медичної системи у разі масових випадків захворювань. Оскільки на даний момент не є можливим повне уникнення важких ускладнень перебігу хвороби внаслідок помилок медичного персоналу, потрібна розробка та створення додаткових систем і алгоритмів для діагностики захворювань, які прискорять роботу лікарів і дозволять їм підвищити ефективність лікування.

Подальшим напрямком досліджень є аналіз впливу архітектури НМ та навчального набору даних на ефективність встановлення діагнозу та визначення виду пневмонії [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [5] Распознавание рентгеновских снимков: precision = 0.84, recall = 0.96. А нужны ли нам еще врачи? — Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/dataschool/blog/436946/> — 9.04.2020
- [6] Image segmentation – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Image_segmentation — 8.04.2020
- [7] 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. – Vol. 1, No 44. – Pp. 20–25.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 621.396.962.21

Д.В. Барановський, студент гр. ПК-91мн, Т.А. Романюк, студент гр. ПК-91мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК

Анотація. У даній статті розглянуті основні відомості про фазовані антенні решітки. Проаналізовані області, в яких відбувається розвиток досягнення в розробці антенних решіток. Показані переваги і недоліки фазованих антенних решіток.

Ключові слова: фазована антенна решітка, випромінюючий елемент, ультразвуковий перетворювач, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Фазовані антенні решітки (ФАР) мають тривалий науковий і практичний шлях розвитку. Перші ФАР були створені понад 40 років тому і з тих пір широко використовуються в різних електронних системах. Інтерес до них сьогодні не зменшується. Про це свідчить постійний пошук нових і ефективних рішень, заснованих на найсучасніших технологіях, що здатні значно розширити сферу застосування ФАР.

Сучасні засоби автоматизації та комп'ютерні технології для управління ФАР дозволяють широко використовувати цю технологію в радіозв'язку, неруйнівному контролі, радарх, радіонавігації, радіоастрономії тощо.

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ФАЗОВІ АНТЕННІ РЕШІТКИ

Ультразвукові фазовані антенні решітки (рис. 1) – це група окремих, ідентичних, упорядковано розташованих в одній площині випромінювальних п'єзоелементів, в яких передбачено можливість керування амплітудно-фазовими характеристиками [1]. Система, що побудована на основі ФАР, посиляє і отримує імпульси від численних елементів решітки. Елементи збуджуються в певному порядку таким чином, що компоненти променя формують єдиний фронт хвилі, що розповсюджується в заданому напрямку. Аналогічним чином приймач об'єднує отримані від елементів сигнали в єдине уявлення.

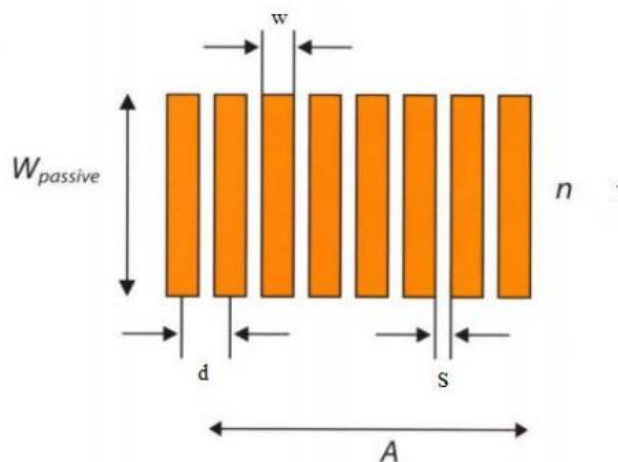


Рис. 1 - Фазована антенна решітка
(A - активна апертура, d - крок, S - зазор між сусідніми елементами, W - ширина одного елемента, n - кількість елементів)

СУЧАСНІ УЛЬТРАЗВУКОВІ ДЕФЕКТОСКОПИ НА БАЗІ ФАР

На сьогоднішній день існує величезний асортимент фазованих антенних решіток. Також доступні спеціалізовані перетворювачі з різною кількістю та розташуванням елементів не зважаючи на те, що найбільш популярними залишаються лінійні ФАР. Спеціалізовані перетворювачі створені для складних систем, які вимагають складного відхилення променя або сканування всього виробу з високою швидкістю.

Щоб відповідати різним вимогам контролю пропонують різні рівні устаткування, які використовують технологію ФАР. Їх можна розділити на три групи: дефектоскопи в стійці для поточного контролю, ручні переносні дефектоскопи та переносні автоматизовані дефектоскопи. Усі ультразвукові дефектоскопи є складними автоматизованими цифровими системами [2].

Основними виробниками дефектоскопів на базі ФАР є Olympus, SIUI, Акустические Контрольные Системы (рис. 2).



Рис. 2 – Цифрові дефектоскопи на базі ФАР:
а) OmniScan MX; б) GTS-602; в) A1550 IntroVisor

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ФАР

Перевагами ФАР є:

1. З антеною системою з N елементами випромінювання ви можете збільшити коефіцієнт спрямованості приблизно в N раз, тим самим посиливши антену в порівнянні з одним випромінювачем і звуживши промінь, щоб підвищити стійкість перед перешкодами, роздільну здатність і точність напрямку.

2. Важливою перевагою ФАР є можливість швидкого перегляду (сканування) простору за рахунок «гойдання» діаграми спрямованості електричними методами.

3. ФАР дозволяє легко сфокусувати ультразвуковий промінь у необхідній точці об'єкта контролю.

Не дивлячись на те що ФАР має значні переваги в порівнянні зі звичайними п'єзоелектричними перетворювачами, однак, є і недоліки.

Одним з основних недоліків можна вважати багатоканальну систему, в якій будуть використовуватися ФАР, що тягне за собою значне збільшення габаритних розмірів цієї системи, збільшує складність розрахунку електричних компонентів і збільшує вартість створення такої системи. Крім того, одним з

недоліків є звуження смуги, викликане спотворенням форми діаграми випромінювання на частотах, відмінних від розрахункової.

ВИСНОВОК

Фазовані антенні решітки широко використовуються у багатьох сферах завдяки ряду своїх переваг над звичайними перетворювачами. Маючи незначні недоліки, ФАР мають велику перспективу в подальшому розвитку, оскільки технології не стоять на місці і кожен день придумується і створюється щось нове, що раніше здавалося неможливим. Зважаючи на це можна сміливо сказати, якщо працювати на технологією ФАР і постійно пробувати її удосконалити, то можливо буде майже повністю подолати її недоліки, залишивши лише значні переваги.

Розвиток теорії і технології антенних решіток у даний час повинен проводитись в наступних найбільш важливих областях:

- 1) використання в сучасних ультразвукових дефектоскопах активних ФАР з великою кількістю елементів нових типів;
- 2) розробка і впровадження нових методів побудови фазової решітки;
- 3) розробка і вдосконалення конструкції ФАР для ослаблення взаємного впливу між елементами ФАР;
- 4) подальший розвиток методів синтезу ФАР і автоматизації проектування;
- 5) подальша розробка і впровадження методів обробки інформації, прийнятих елементами ФАР, що забезпечують, наприклад, управління формою ДН (адаптивна ФАР);
- 6) розробка методів управління незалежним рухом окремих променів в багатопробієвому режимі випромінювання [3, 4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [2] Технология применения фазированных решеток [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://www.olympus-ims.com/ru/ndt-tutorials/phased-array/> (дата звернення 24.04.2020).
- [3] Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках / Л.Н. Григорьев. - М: Радиотехника, 2010. – 144 с.
- [4] Нечаев Ю. Б., Борисов Д. Н., Пешков И. В. Алгоритмы диаграммообразования адаптивных антенных решеток в условиях многолучевого распространения радиоволн // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. — 2012. — Т. 21. — №. 1-1 (120).

Науковий керівник – к.т.н, доц. Галаган Р.М.

УДК 614.8

М.О. Глущенко, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СУЧАСНИЙ МЕТОД ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ

Анотація. У роботі розглянуті питання особливостей проектування детекторів диму. Досліджено властивості різних видів диму та проаналізовано відмінність між ними. Розглянуто сучасні технології детектування диму, що використовуються в пожежних сповісвачах. Проаналізовано залежність інтенсивності розсіювання різних довжин хвиль світла від розміру часток диму. Надано рекомендації щодо проектування конструкцій камер диму пожежних детекторів.

Ключові слова: детектор диму, пожежна безпека, властивості диму, технології детектування.

ВСТУП

Однією з головних проблем, що призводять на сьогоднішній день до нещасних випадків, є пожежа та своєчасне її виявлення. Пожежа – неконтрольоване горіння не в призначеному місці, що розповсюджується в часі і просторі.

Якщо звернутися до статистики, з початку 2020 року на пожежах в Україні загинуло 133 людини і 99 осіб постраждали, як повідомила Державна служба з надзвичайних ситуацій. Більше половини випадків сталися саме в приміщеннях громадян, які не своєчасно виявили пожежу та не зарадили біді.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наразі прилади для детектування диму розділяють на дві категорії: точкові і лінійні детектори. У кожній з них, звісно, є свої переваги й недоліки. Лінійні детектори використовуються для детектування диму на дуже великих площах і основні їх мінуси – складність в монтуванні як детектора так і приймача, також для їхньої роботи необхідне стаціонарне живлення. Точкові детектори диму є більш компактними і менш примхливими до розміщення і позиціонування в просторі, тому їх використовують частіше ніж лінійні. З урахуванням вищесказаного далі будуть розглядатися виключно точкові детектори.

Однак, навіть точкові детектори диму не оминули наявності недоліків. Основним з яких є велика сприйнятливість до пилу, вологи та різних видів диму, тобто детектори можуть спрацьовувати на вологу і пил, що обумовлює суттєві труднощі при їх використанні. Як показує статистика, приблизно 43% спрацьовування детекторів є помилковими.

Сучасні точкові детектори мають більш складніший алгоритм детектування диму на основі двохвильової технології, ніж застарілі аналоги, що працюють тільки в одному діапазоні довжин хвиль оптичного спектру [1].

АНАЛІЗ ВИДІВ ДИМУ

Для більш широкого розуміння процесу детектування диму потрібно виконати аналіз самого явища, його різновидів та відмінностей між ними. Дим – природне явище, стійка дисперсна система, що складається з дрібних твердих частинок, завислих у повітрі або в інших газах. Він також є типовим аерозолем з розмірами частинок від 10^{-7} до 10^{-5} м. На відміну від більш грубодисперсної системи – пилу, дим не осідає під дією сили земного тяжіння. Його частинки

також можуть слугувати ядрами конденсації атмосферної вологи, в результаті чого виникає туман. В таблиці 1 наведені деякі параметри диму при різних матеріалах горіння [2].

Таблиця 1. Параметри диму, що утворений горінням різних матеріалів

<i>Параметри часток диму</i>	ТВ2	ТВ4	ТВ5	ТВ3	ТВ1
	<i>Тління дерева</i>	<i>Горіння пінополіуретану</i>	<i>Горіння Н-гептану</i>	<i>Тління бавовняних шнурів</i>	<i>Горіння дерева</i>
<i>Розмір D, мкм</i>	0,45	0,2	0,18	0,15	0,1
<i>Енергія P, кВт</i>	2,3	30	150	32	56

ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМУ

Перш ніж говорити про можливість виявляти дим, спочатку має сенс проаналізувати основні його властивості:

- дим, як небезпечний фактор пожежі, дуже важко відрізнити від інших аерозолів (пил, туман, побутові та промислові аерозолі і т. д.), тому що він сам є одним з них;
- різні матеріали при горінні виокремлюють дим із своїми властивостями і параметрами;
- на початковому етапі розвитку пожежі на властивості диму дуже сильно впливають параметри навколишнього середовища (температура і вологість в приміщенні, потоки повітря і т. д.);
- в процесі розвитку пожежі дим змінює свої фізичні властивості;
- при переміщенні та віддаленні від осередку загоряння дим модифікується як по концентрації, так і по розмірам й формі своїх часток.

Причин описаних явищ є кілька. По-перше, це нестійкість і мінливий характер самого диму, як одного з видів аерозолів. По-друге, це мінливість самої пожежі, що виникає, наприклад, від невеликого тління однієї речовини і переходить в широке горіння різних видів матеріалів та предметів.

Першим висновком проведеного аналізу є необхідність наявності у детекторів рівномірної чутливості до всіх можливих розмірів часток диму при мінімальній чутливості до будь-яких інших частинок, які не є продуктами горіння. Другим висновком є те, що на початковому етапі загоряння у частинок диму дуже мало енергії для подолання перешкод на шляху до зони з виміром. Без урахування цих двох принципових моментів говорити про детектування неможливо.

ДВОХВИЛЬОВА ТЕХНОЛОГІЯ ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ

З метою зниження нерівномірності чутливості до видів диму, які виділяються при горінні різних матеріалів, а в свою чергу, й для різних тестових

пожеж, інженери йдуть різними шляхами. Роботи в області вдосконалення промислових вимірювачів концентрації частинок і колоїдних розчинів не могли не позначитися на розвитку технології оптико-електронних димових пожежних сповіщувачів. Були створені камери диму, які працюють не на одній довжині хвиль, а на двох одночасно. Цю технологію назвали Dual Optical Detecto. Усі камери детектування диму по технології Dual Optical Detecto ризняться тільки розміщенням приймача і двох випромінювачів.

У чому ж полягає суть двоххвильової технології. Розробники виявили нерівномірні зміни інтенсивності розсіювання для червоного і синього випромінювачів в області розмірів частинок 1,0 мкм. Таким чином, прийшли до висновку, що коли інтенсивність в зоні прямого розсіювання синього кольору перестає

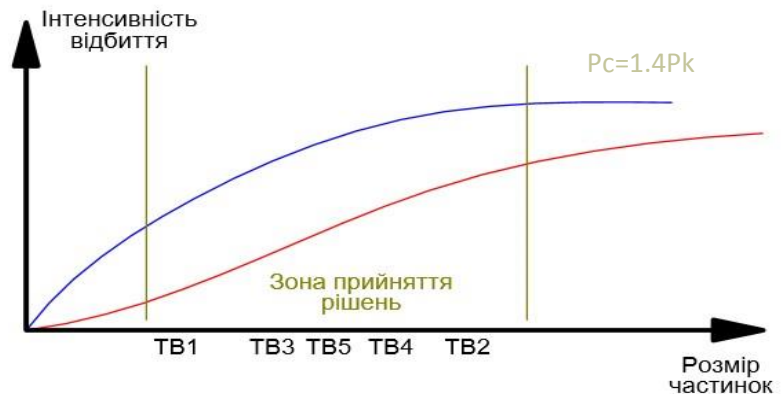


Рис. 1. Залежність рівня інтенсивності розсіювання для випромінювачів червоного і синього кольору світла

перевищувати інтенсивність розсіювання світла червоного кольору в районі частинок з розмірами порядку 1,0 мкм (рис. 1), то можна прийняти рішення про виявлення частинок, які не є продуктами горіння. Обидва випромінювача розміщуються практично в безпосередній близькості один від одного, та для їх розрізнення працюють почерзі. В пожежних сиренах EVC-DP використовується схема розміщення випромінювачів і приймача з вертикальним зміщенням між осями 30°. Це дає змогу з мінімальними габаритами пристрою детектувати дим з невеликим відсотком хибних спрацювань [3].

ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ ДИМОВИХ ДЕТЕКТОРІВ

Для детектування диму потрібно, щоб усі оптичні елементи були в так званій камері диму, де проводиться аналіз повітря. Конструктивні форми корпусу і оптичної системи впливають на чутливість такого приладу. З одного боку мова йде про мінімізацію аеродинамічного опору повітряним потокам, з другого, про те, що в вимірювальну зону повинна потрапити більша частина прохідного конвекційного потоку суміші повітря та диму. В якості основних умов нормального функціонування камер диму виділяють шість головних властивостей конструктивного виконання:

1. форма корпусу не повинна володіти високими аеродинамічними властивостями;
2. розташування вхідних отворів повинно забезпечувати доступ диму як для горизонтальних, так і для вертикальних потоків;
3. вхідні отвори в пластиковому корпусі повинні мати якомога більші розміри;

4. захисна сітка повинна мати антистатичні властивості з обов'язковим «заземленням»;
5. для руху диму через чутливу зону конструкція сповіщувача повинна створювати мінімум вертикальних переміщень;
6. основні потоки руху диму всередині сповіщувача повинні проходити через чутливу зону.

У когось може виникнути запитання: як аеродинаміка конструкції впливає на енергетику сповіщувача диму? Відповідь однозначна: суттєво і безпосередньо [4-6].

ВИСНОВКИ

Своєчасне виявлення загоряння є головним завданням протидії пожежам. Удосконалення технологій детекторів диму дозволяє значно знизити кількість нещасних випадків, викликаних цим лихом.

Сучасні датчики диму, засновані на технології Dual Optical Detecto, можуть забезпечити не тільки високу вірогідність виявлення загоряння, але й аналіз складу диму з метою визначення його типу для ефективнішого запобігання поширенню вогню. Двохвильова концепція роботи детектора диму в комбінації з правильною конструкцією камери датчика дозволить забезпечити надійне виявлення областей загоряння на основі залежності інтенсивності розсіювання різних довжин хвиль світла від розміру часток диму.

Подальші наукові дослідження в цьому напрямку дозволять не тільки удосконалити методи детектування диму, але й знизити собівартість такого обладнання, що буде сприяти його поширенню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Зайцев, А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 1 / А. В. Зайцев, И. Г. Неплохов // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №3. – с. 28.
- [2] Зайцев, А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 3 / А. В. Зайцев, И. Г. Неплохов // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №5. – с. 18.
- [3] Маслов И. А. Нет дыма без огня / И. А. Маслов // Журнал алгоритм безопасности. – 2004. – №3. – с. 54.
- [4] Пивинская И. В. Проверка временем. Ее не всегда выдерживает чувствительность пожарных извещателей / И. В. Пивинская // БДИ. – №4. – 2004. – с. 55.
- [5] Зайцев А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 2 / А. В. Зайцев // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №4.– с. 38.
- [6] Неплохов И. Г. Двухдиапазонные дымовые пожарные извещатели. / И. Г. Неплохов // Системы Безопасности. – 2008. – №3– с. 40.

Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Муравйов О. В.

УДК 620.179:620.19

М.О. Глущенко, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. В роботі розглядаються методи ультразвукової сегментації в широкому сенсі, зосереджені на методах, розроблених для медичних ультразвукових зображень в В-режимі. Представлено класифікацію методів використання первинної інформації.

Ключові слова: Сегментація, ультразвукові датчики, В-сканування.

ВСТУП

Сегментація — певний структурований процес розподілення зображення на пікселі за певними параметрами та залежно від характерних даних може бути декількох видів: сегментація за яскравістю, за текстурою, за контуром, за формою [1].

Сегментація ультразвукового зображення сильно залежить від якості даних. Існують характерні артефакти, які ускладнюють задачу сегментації, такі як загасання, зіпкання, тіні і випадання сигналу; через орієнтацію залежності отриманих зображень, які можуть привести до відсутності меж. Додаткові ускладнення виникають, оскільки контраст між важливими ділянками часто низький.

Тому актуальною задачею є аналіз та вдосконалення методів сегментації ультразвукових зображень.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Незважаючи на те, що велику кількість алгоритмів для сегментації зображень розроблено, вони є ефективнішими для вузького кола задач і у випадку ультразвукових зображень працюють не ефективно. Для зображень, що отримані в результаті ультразвукової діагностики (УЗД), властивим є присутність декількох гомогенних областей з мало відмінними ознаками, що утруднює процес обробки. При цьому сегментовані області повинні бути однотонними, мати нескладну форму і не містити великої кількості «отворів» (різких змін інтенсивності, що утворюються за рахунок спекл-шуму).

Для більш кращої обробки зображень збір даних зображень проводиться за певних умов і стану.

МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Відображені ехо-сигнали надходять в підсилювач і спеціальні системи реконструкції, після чого з'являються на екрані монітора у вигляді зображення зрізів тіла, що мають різні відтінки сірого. Зображення, що отримується при дослідженні, може бути різним у залежності від режимів роботи сканера: А-режим, В-режим та М-режим.

А-режим – методика дає інформацію у вигляді одновимірного зображення, де перша координата – це амплітуда відбитого сигналу від межі середовищ з різним акустичним опором, а друга – час (відстань до цієї межі) [2].

В-режим – методика дає інформацію у вигляді двомірних сіро-шкальних томографічних зображень анатомічних структур в масштабі реального часу, що дозволяє оцінювати їх морфологічний стан.

М-режим – методика дає інформацію у вигляді одновимірного зображення, друга координата замінена часовою. На вертикальній осі відкладається відстань від датчика до досліджуваної структури, а на горизонтальній – час. Використовується режим в основному для дослідження серця. Дає інформацію про вигляд кривих, що відображають амплітуду і швидкість руху кардіальних структур.

ОСНОВНІ МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ

На сьогоднішній день головними методами сегментації зображення є використання моделі статистичної форми, моделі вододілу та текстурної сегментації заснованої на використанні нейронної мережі [3].

Текстурна сегментація заснована на використанні текстурних властивостей деяких областей, що знаходяться на досліджуваному зображенні, як міри, яка дозволяє визначити належність пікселя до певного окремого типу об'єктів. Текстурні властивості, які можуть застосовуватись для певної сегментації: математичне очікування, другий кутовий момент, контраст [4].

При навчанні нейронної мережі на вхід подається навчальний масив із УЗД зображень, з урахуванням текстурних властивостей на основі якої визначаються типи об'єктів після чого здійснюється сегментація зображення. Невисока точність визначення розмірів сегментованих об'єктів є недоліком такого методу. Також можлива неточна сегментація зображення за наявності малої навчальної вибірки, або коли зображення у вибірці мають дуже різну якість [5].

Ідея, що лежить в статистичних моделях для сегментації, полягає у використанні різноманітних структур компактних моделей форми двовимірних зображень, що мають зразки об'єктів, а також у кодуванні змінних вибраних параметрів, які застосовуються для опису наданих об'єктів. Об'єкти виділяються на зображенні співставленням з вибірковими моделями статистичної форми. Основною складністю даного методу є необхідність визначення деякої певної моделі форми для кожного випадку.

В сегментації топографічна поверхня розглядається як абсолютна величина градієнта зображення методом вододілу. Пікселі, які мають найбільшу абсолютну повну величину градієнта яскравості, відповідають певним лініям вододілу, що є границями областей. Основною проблемою, пов'язаною з моделлю вододілу, є пересегментація через різноманітність зображення об'єктів та шуму на ньому [5].

Метод сегментації ультразвукового зображення базується на використанні загальної та локальної гістограм. При цьому, як правило, весь спектр відтворюваних рівнів УЗД зображення поділяється на чотири основні піддіапазони інтенсивностей, оскільки можуть бути присутні на зображенні області, чотирьох типів біологічних тканин: 1 — порожнини, заповнені рідиною (судини, кісти тощо); 2, 3 — області середньої ехогенності (переважно м'язові тканини); зображення яких можуть бути гіпоехогенними чи гіперехогенними; 4

— тверді тіла (кістки, конкременти). Такі піддіпазони використовуються для визначення областей зображення з подальшою класифікацією кожного пікселя в цих областях.

На рис. 1 представлені результати сегментації деякого зображення різними методами.

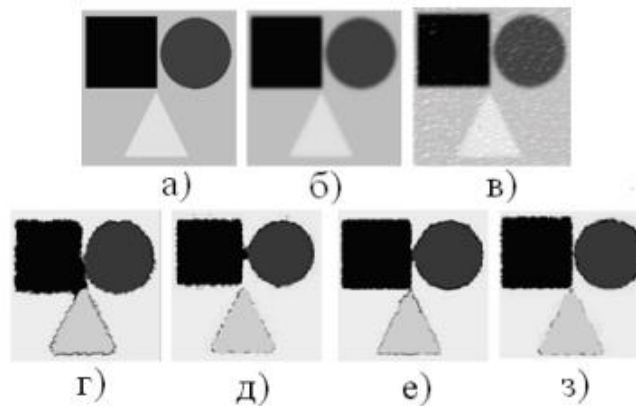


Рисунок 1 Порівняльне дослідження роботи відомих методів: а — еталонне зображення; б — розмите еталонне зображення; в — розмите зашумлене еталонне зображення; г — зображення, сегментоване з використанням моделі статистичної форми; д — сегментація з використанням моделі заповнення водою; е — текстурна сегментація з використанням нейромереж; з — сегментація з використанням методу аналізу локальної статистики

ВИСНОВОК

В даній роботі ми дослідили ультразвукові методи сегментації зображень. Перерахували їх і зробили докладний опис. На мою думку виділити з даних методів один найкращий неможливо, тому що кожен метод застосовується для вирішення окремих вузьконаправлених досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт, Лебедев Д. С. // IETE Technical Review. — 2009. — Vol. 26. — P. 8—17.
- [2] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 263 с.
- [3] Shrimadi V. Current trends in segmentation of medical ultrasound B-mode Images: A Review / V. Shrimadi, R. S. Anand, V. Kumar // IETE Technical Review. — 2009. — Vol. 26. — P. 8—17.
- [4] Адамов В. Г. Применение нейронных сетей для обработки текстуры эхограмм в информационно-диагностических системах / В. Г. Адамов, М. В. Привалов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — Донецьк : Донату, 1999. — Вип. 12. — С 151—157.
- [5] Dokur Z. Segmentation of ultrasound image using a hybrid neural network / Dokur Z., Olmez T. // Elsevier Pattern Recognition Letters. — 2002. — Vol. 3. — P. 1825—1836.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 004.032.26

Малько В.П., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ГЕОРАДАРНИХ ДАНИХ

Анотація. Розглянуто основні проблеми під час здійснення інтерпретації даних георадару. Проаналізовано існуючі методи аналізу радарограм, визначено їх недоліки. Запропоновано метод автоматизації цифрової обробки радарограм за допомогою нейронних мереж, з метою підвищення ефективності та достовірності контролю.

Ключові слова: нейронні мережі, георадар, машинне навчання, нейронні мережі.

ВСТУП

На сьогоднішній день, георадіолокація є одним з найперспективніших методів дослідження внутрішньої структури найрізноманітніших об'єктів. Об'єктами контролю можуть виступати: родовища різних металів, будівлі, покриття доріг, місця археологічних розкопок тощо. Популярність використання георадіолокації обумовлена рядом переваг. По-перше, універсальність використання всього одного приладу в багатьох об'єктів контролю зменшує вартість дослідження. По-друге, георадіолокація відноситься до методів неруйнівного контролю та не спричиняє руйнування об'єкта досліджень. По-третє, метод дозволяє змінювати частоту сигналу, дозволяючи налаштовувати діапазон та глибину сканування.

Принцип дії георадара заснований на використанні радіосигналу частотою 50-150 МГц. Радіосигнал випромінюється антенною, напрямляється на поверхність об'єкта контролю, відбивається від об'єктів, розташованих в діапазоні сканування та фіксується приймальною антеною. Відбитий сигнал дає будь-яка достатньо велика за розмірами або протяжністю неоднорідність в ґрунті, яка відрізняється за діелектричною проникністю від навколишнього ґрунту. За допомогою об'єднання трас зареєстрованих радіосигналів отримують двовимірне зображення перерізу внутрішньої структури об'єкта – радарограму. Однак, пряма інтерпретація радарограм не завжди є можливою, а її результат залежить від досвіду оператора та інших суб'єктивних факторів.

Основною проблемою георадіолокації є необхідність додаткової обробки даних для аналізу та інтерпретації результатів. Зображення, отримані методом георадіолокації, мають низьку роздільну здатність, зумовлену відбиванням сигналу від границі двох середовищ з великою різницею характеристик діелектричної проникності, та в більшості випадків розмиті. Сигнал, відбитий від середовища з більшою діелектричною проникністю, маскує сигнал від середовища з меншою діелектричною проникністю. Тому актуальним завданням є пошук методів обробки даних, які дозволили б в автоматизованому режимі здійснювати обробку радарограм з підвищеною достовірністю результатів.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Для аналізу даних георадіолокації до сих пір використовують ручний спосіб обробки інформації, під час якого спеціаліст визначає границю розділу між шарами ґрунту або прихованими в ньому об'єктами на кожному зображенні,

виходячи із характеру зміни сигналу. Для полегшення роботи оператора, сигнал оброблюють з використанням великої кількості перетворень, таких як перетворення Фур'є або вейвлет-перетворення, призначених для фільтрації та зменшення впливу шумів [1]. Зі створеним двовимірним зображенням проводять маніпуляції з метою отримати зображення більш зрозуміле інтерпретатору.

Використання такого методу має свої недоліки пов'язані з шумами, які створюються великою різницею характеристик діелектричної проникності на границі сусідніх середовищ. Проблемою також є виникнення сильних шумів, ідентичних природнім сигналам. Крім цього, наявна суб'єктивна похибка яку вносить сам інтерпретатор.

Іншим методом аналізу даних георадіолокації є метод заснований на аналізі поля зворотного розсіювання електромагнітних хвиль [2]. В такому випадку використовуються просторові нелінійні фільтри, застосовані до множини числових значень швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль в середовищі. Метод дозволяє використовувати георадар в середовищах з великою розсіюючою здатністю, але не є універсальним.

Для підвищення ефективності роботи георадара використовують засоби машинного навчання. Так, наприклад, в роботі [3] для оцінки стану дорожнього покриття використовуються згортова нейронна мережа. Авторами зазначено, що використання цієї моделі дозволить вирішити задачі ідентифікації в багатьох сферах. Крім цього, до переваг відносять автономну обробку великого об'єму даних та невисокі вимоги до апаратної частини пристрою. Отже, використання нейронних мереж для автоматизованої інтерпретації даних георадара вважається перспективним та є актуальною науковою задачею.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виходячи із поставленого завдання, необхідно визначити метод автоматизації обробки радарограм, який дозволить інтерпретувати дані з великою точністю та швидкодією. Враховуючи характер інформаційних сигналів, тобто наявність вузького діапазону амплітуд та великої кількості шумів, рекомендовано використовувати багат шарову нейронну мережу прямого поширення зі зворотним розповсюдження помилки [4]. Особливостями даного типу мереж є наявність великої кількості прошарків. Кожний прошарок складається з вузлів або нейронів, пов'язаних з вузлами попереднього прошарку. Кількість елементів на вході та на виході мережі залежать від поставленого завдання. Такий тип мережі забезпечує високу швидкість обчислення та простоту реалізації у порівнянні з глибинними нейронними мережами. Це дозволить реалізувати алгоритми мережі безпосередньо у складі системи георадара.

Методом зворотного розповсюдження помилки називають метод оптимізації синаптичних ваг багат шарової нейронної мережі, який полягає в обчисленні ваг та зміщень кожного з нейронів виходячи з відхилення значень на виході мережі від бажаних (цільових) значень [5]. Навчання нейронної мережі забезпечує база даних радіограм об'єкту контролю з виділеними границями середовищ або шуканих об'єктів. Після закінчення навчання на вхід

багатошарової мережі може подаватись фрагмент радарограми, а виходим будуть значення глибини шуканої лінії поділу середовищ або глибини залягання знайдених об'єктів чи неоднорідностей. Наприклад, в задачах контролю дорожнього покриття отриманні на виході мережі значення лінії поділу прошарків будуть порівнюватись з стандартними значенням, на основі яких можна буде зробити оцінку стану автодороги.

Розвиток цієї методики дозволить збільшити швидкість обробки, а також покращить інформативність радарограм. Використання паралельно працюючих пристроїв, які містять підсистему аналізу даних на базі нейронних мереж, дозволить підвищити точність визначення лінії поділу середовищ в ґрунті. А результати контролю будуть в меншій мірі залежати від досвіду оператора.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато способів інтерпретації даних, отриманих методом георадіолокації. Використання алгоритмів, заснованих на фільтрації та перетворенні сигналу, грають важливу роль в задачах аналізу даних. Але використання не автоматизованих, або частково автоматизованих систем вносить суб'єктивну похибку в процес обробки даних. Перспективним є використання нейронних мереж, які мають високу завадостійкість та ефективність в умовах нелінійності вхідних даних. Розвиток цієї тенденції дозволить зменшити вартість обслуговування та розширить області використання георадарів. Завданням для подальших досліджень є вибір оптимальних архітектур нейронних мереж для вирішення конкретних задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Waleed. A. Automatic feature detection and interpretation in ground-penetrating radar data. / Waleed. Al-Nuaimy. – University of Liverpool, 1999. – 289 с.
- [2] Денисов Р. Р. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме / Р. Р. Денисов, В. В. Капустин. // Геофизика. – 2010. – №4. – С. 76–80.
- [3] Васильев П. В. Сегментация дефектов на дорожном покрытии на основе нейросетевых технологий / П. В. Васильев, А. В. Сеничев. // Молодой исследователь Дона. – 2019. – №3. – С. 10–14.
- [4] Галаган Р.М. Застосування нейромережових технологій для вирішення обернених задач неруйнівного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 144.
- [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 – ас. Момот А.С.

УДК 620.179.1

Н. Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. У роботі розглянуті сучасні електронно-оптичні дефектоскопи, їх параметри, сфери та перспективи застосування. Стаття містить аналіз можливостей дефектоскопа, також визначені його основні переваги та недоліки. Наведено приклади використання електронно-оптичних дефектоскопів у сучасному світі.

Ключові слова: дефектоскопія, неруйнівний контроль, електронно-оптичний дефектоскоп, дефект.

ВСТУП

Сучасний стан технологічного розвитку дозволяє створити багато різних унікальних приладів, що можуть підвищити достовірність діагностики, спростити чи прискорити контроль якості предметів, механізмів та виробів. Інколи це потрібно виконувати навіть тоді, коли виріб вже знаходиться в експлуатації. Прилад, який дозволяє проводити таку діагностику без руйнування об'єкту контролю, називається дефектоскопом. Таким приладом проводиться перевірка якості з'єднань (особливо важливо це, наприклад, для зварювання трубопроводів високого тиску), стан конструкції в будівництві (металевої, залізобетонної), ступінь зносу механізму, наявність пошкодження деталей. Практично в усіх галузях промисловості, де важливо контролювати стан і відповідність нормам параметрів твердих елементів конструкцій, застосовують різні типи дефектоскопів.

ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТОСКОПІВ

У людини, що ніколи не мала справи з неруйнівним контролем, може виникнути питання: що ж таке дефектоскоп? Відповідь на це питання криється в самій назві приладу. Поділимо її на дві частини: «дефект» та «скоп». «Дефект» – це якась тріщина, вм'ятина, якийсь недолік матеріалу чи предмету, за яким ведеться спостереження, а «скоп» – в перекладі з давньогрецької означає спостерігати або знайти. Тобто під дефектоскопією мається на увазі пошук в тому чи іншому предметі, матеріалі, деталі або конструкції виробу якихось недоліків або відхилень від норми.

Якщо говорити технічною мовою, дефектоскоп – це прилад неруйнівного контролю для виявлення та оцінки внутрішніх і поверхневих дефектів матеріалів та виробів. Існує дуже багато видів дефектоскопів в залежності від використовуюваного методу дефектоскопії [1]. Загалом ці прилади можна класифікувати наступним чином: ультразвукові [2], вихрострумові [3-5], магнітні [6] та електронно-оптичні. Дефектоскопи широко використовуються в таких галузях, як машинобудування, будівництво, енергетика, транспортна сфера, нафтогазова і хімічна промисловості, тощо. Науково-дослідні центри застосовують дефектоскопи для контролю та вивчення властивостей, особливостей твердих тіл. Основні відмінності між різними типами дефектоскопів полягають в принципі їх роботи та застосуванні. Багато дефектоскопів мають вузькоспеціалізоване призначення та використовуються

тільки в спеціальних сферах промисловості. Електронно-оптичний дефектоскоп (ЕОД) відноситься саме до таких приладів.

ПРИНЦИП РОБОТИ ЕОД

Розглянемо принцип роботи ЕОД, загальна схема якого наведена на рис. 1. Оптичні зображення ізоляції, коронні (КР) та поверхнево-часткові розряди (ПЧР) проходячи через світлофільтр з пропускнуою здатністю в короткохвильовій частині оптичного спектра, формуються вхідним об'єктивом на фотокатоді електронно-оптичного підсилювача (ЕОП) світла з мікроканальною пластиною. Основним призначенням ЕОП в системі дефектоскопу є підсилення оптичних сигналів більш ніж в 10000 разів. Після чого з'являється можливість їх спостереження на екрані через окуляр або запису отриманого зображення на будь-який з пристроїв реєстрації.

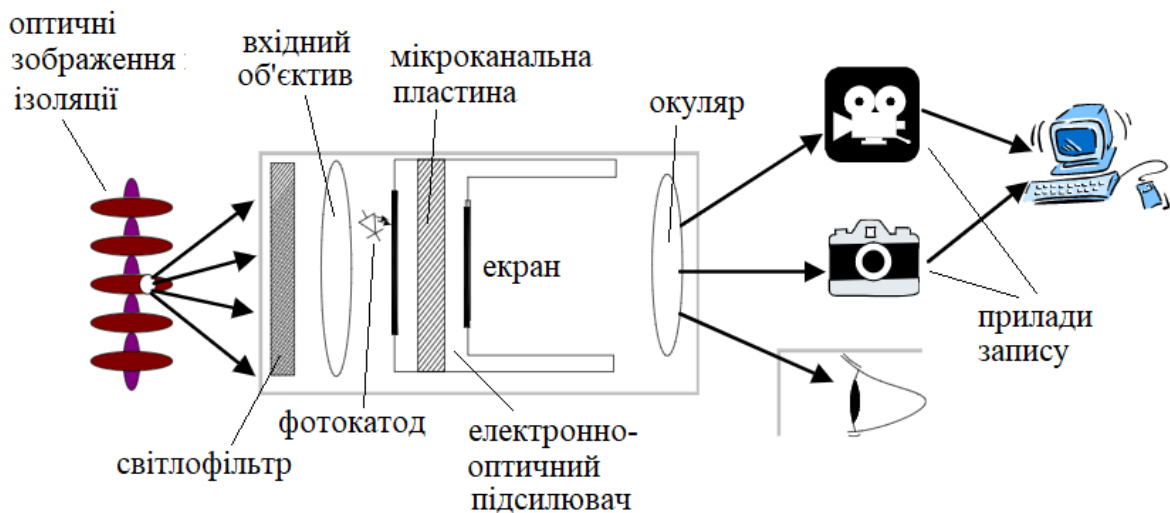


Рис 1. Блок-схема електронно-оптичного дефектоскопа

Також можна встановити спеціальний фільтр перед вхідним об'єктивом для того, щоб можна було оцінювати ступінь забрудненості ізоляції. Зображення ізолятора лінії електропередач, що отримане за допомогою ЕОД, наведено на рис. 2.

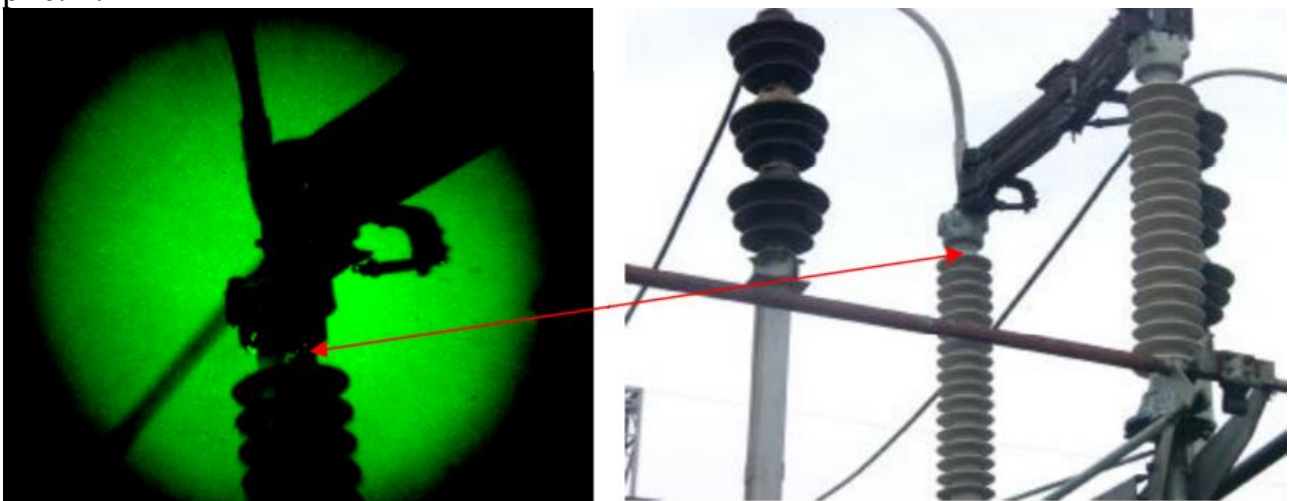


Рис.2 Визначення дефектів на електростанції за допомогою електронно-оптичного дефектоскопа (стрілками вказані місця дефектів)

У випадках, коли обладнання, що підлягає діагностуванню, знаходиться під високою напругою, контроль можна провести тільки дистанційно, чому сприяє високий коефіцієнт підсилення яскравості світла в ЕОД.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЕОД

Кожний ЕОД є унікальним та має виняткові особливості, але, все ж таки, існує ряд загальних властивостей, що притаманні цьому типу дефектоскопів. Однією з головних особливостей є те, що на значній відстані від об'єкту контролю, такий прилад дозволяє фіксувати більш детальні зображення фізичного стану контрольованого об'єкта і знаходити дефекти та недоліки в тих місцях, де неможливо їх побачити звичайним неозброєним оком.

У порівнянні з іншими класами дефектоскопів до основних переваг ЕОД можна віднести: мінімальні витрати часу для проведення діагностики; можливість дистанційного використання; універсальну та ефективну систему візуалізації результатів контролю; можливість проведення оцінки поверхневої провідності на ізоляції; ефективне виявлення мікротріщин, внутрішніх дефектів та інших недоліків.

Недоліків у ЕОД всього декілька: вузька спрямованість і сфера застосування та відносно висока вартість приладу.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕОД

Основні сфери використання сучасних ЕОД сконцентровані в енергетиці. Прилад застосовують для аналізу роботи та виявлення недоліків елементів, що знаходяться під високою напругою. Пристрій здатний вловити найменші зміни КР і ПЧР, що дає можливість оцінити роботу обладнання без його зупинки та дистанційно на відміну від використання інших методів неруйнівного контролю [7]. Одними із найпопулярніших ЕОД на сьогодні є «Філін-6», «Філін-6М», «CoreCam8» і «DayCor 11», зовнішній вигляд деяких з них наведений на рис. 3. Моделі відрізняються комплектацією, засобом візуалізації та реєстрації зображення, набором додаткових функцій, діапазоном робочих відстаней, але мають однаковий принцип роботи.

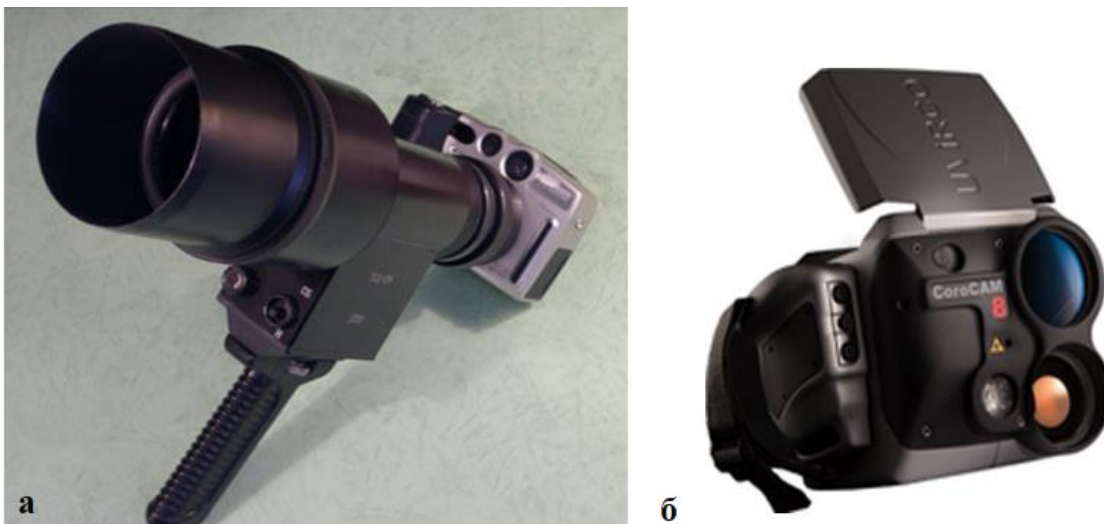


Рис. 3 Електронно-оптичні дефектоскопи «Філін-6М» (а) та «CoreCam8» (б)

ВИСНОВКИ

Електронно-оптичний дефектоскоп – прилад, що дуже затребуваний та незамінний в сфері сучасної енергетики. За допомогою цього пристрою є можливість визначення дефектів та недоліків об'єктів контролю дистанційно, що вкрай важливо у випадках, коли досліджувані об'єкти знаходяться під високою напругою та у важкому доступі. Своєчасне проведення дефектоскопічного контролю є необхідним, тому що будь-які недосконалості і недоліки обладнання обумовлюють зміну фізичних властивостей матеріалів та можуть послужити причиною руйнування виробу або конструкції, що, в свою чергу, може привести до безлічі людських жертв. Методики неруйнівного контролю та дефектоскопії в енергетиці з кожним роком вдосконалюються. На сьогоднішній день електронно-оптичний контроль забезпечує високу продуктивність, швидкодію та безпеку процедури проведення технічної діагностики з прийнятним ступенем достовірності отримуваних результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Неразрушающий контроль и диагностика – виды дефектоскопов и их применение. – Режим доступа: <http://strmnt.com/dom/tech/tool/vidy-defektoskopov-primenenie.html>. – 09.04.2020.
- [2] Галаган Р. М. Ультразвуковой контроль відкритої мікроскопічної пористості фарфорових ізоляторів [Електронний ресурс] / Р. М. Галаган, В. С. Єременко // Київ: НТУУ «КПІ». – 2016. – Режим доступа: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15331>.
- [3] Баженов В. Г. Ортогональний амплітудно-фазовий метод вимірювання при проектуванні вихрострумів дефектоскопів на базі мікроконтролерів / В. Г. Баженов, К. А. Гльойнік, С. В. Ходневич // Вісник національного технічного університету ХПІ, серія «Механікотехнологічні системи та комплекси». – том 44. – 2017. – С. 60-64.
- [4] Куц Ю. В. Імпульсний вихрострумівий контроль об'єктів циліндричної форми / Ю.В. Куц, Ю.Ю. Лисенко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – вип. 45. – 2013. – С. 69-75.
- [5] Bazhenov V. Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer / V. Bazhenov, A. Protasov, K. Gloinik // MRRS 2017 – Proceedings of the 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium. – 8075051. – pp. 155-158.
- [6] Bazhenov, V. H. Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers / V. H. Bazhenov, K. A. Hloinik // Scientific proceedings NDT days 2016 XXXI International Conference «Defectosopia 16». – Sozopol, Bulgaria. – june 6-10, 2016.
- [7] Галаган Р.М. Ультразвукова система діагностики технічного стану порцелянових ізоляторів / Р.М. Галаган, В.С. Єременко // Вісник Національного Технічного Університету України «КПІ». Серія приладобудування. – Київ. – № 42. – 2011. – С. 62-70.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 004.032.26

Н.Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОБРОБКИ СПЕКТРІВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. Робота присвячена аналізу сучасних можливостей застосування нейронних мереж в спектрометрії радіаційного випромінювання. Розглянуто порівняння спектрів радіаційного випромінювання і співвідношення активності елементів один до одного, вказані переваги нейронних мереж для вирішення задач спектрометрії. Розглянуто перспективні напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: нейронні мережі, спектрометрія, радіаційне випромінювання.

ВСТУП

Радіаційні випромінювання є постійним супутником сучасного життя людини, оскільки ми живемо в світі, де радіація присутня скрізь, будь-то медицина, промисловість чи навколишнє середовище. Через це часто існує необхідність проводити якісний і кількісний аналіз спектрів радіаційних випромінювань. Це дозволяє контролювати потужність доз радіаційного випромінювання і передбачати захист від нього, а також ідентифікувати радіоактивні ізотопи та джерела забруднення.

На сьогоднішній день існує багато напрямків розвитку систем обробки інформації спектрів радіаційного випромінювання, які отримують все більш широке поширення. В таких системах застосовуються і технології нейронних мереж (НМ). З дослідженнями спектрометрії радіаційного випромінювання за допомогою НМ науковці активно почали працювати ще в 90-х роках минулого століття [1]. На даний час, використання технологій НМ в аналізі та обробці спектрів радіаційного випромінювання охоплює різноманітні напрями, в яких необхідно вирішити задачі прогнозування, класифікації чи управління. НМ перспективно застосовувати для автоматизованого аналізу спектрів радіаційного випромінювання завдяки ряду переваг, таких як швидка обробка інформації (основне обчислювальне навантаження припадає на момент навчання) і реалізація автоматизації процесу (виключається людський вплив на результат). Це дозволяє використовувати нейромережеві системи аналізу даних в тих випадках, коли необхідна швидка та точна відповідь на поставлену задачу.

ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В РАДІАЦІЙНІЙ СПЕКТРОМЕТРІЇ

Штучні нейронні мережі – це один із найпотужніших методів моделювання, який дозволяє відтворювати складні нелінійні залежності. Основною особливістю нейромережевих технологій є використання навчання. НМ функціонує на підставі досвіду, отриманого під час навчання, а не у відповідності до жорстко заданого алгоритму. Структура перших НМ була пов'язана з біологією. Адаже НМ використовуються для вирішення складних завдань, які вимагають аналітичних обчислень подібних тим, які робить людський мозок [2].

Штучна нейронна мережа є послідовністю нейронів, які зв'язані між собою синапсами. А сам нейрон – це обчислювальна одиниця, яка отримує інформацію, виконує над нею деякі обчислення і передає до наступних елементів системи.

НМ зазвичай складається з трьох основних прошарків нейронів – вхідного, прихованого та вихідного. Синапс – це так званий зв'язок між нейронами. Ступінь цього зв'язку визначають ваги, які застосовуються для обчислення зваженої суми значень нейронів перед застосуванням активаційної функції.

Головними перевагами нейромереж над традиційними алгоритмами вважають навчання НМ та швидкодію, універсальність і простоту застосування, стійкість. Вирішення задач відбувається навіть у разі відсутності декількох закономірностей чи деяких вхідних даних. Водночас, не потрібно встановлювати взаємозв'язки між величинами заздалегідь, мережа вивчає їх вже на готових зразках. В класичних методах обов'язково потрібно проводити додаткові перевірки, що не є обов'язковим для нейромереж, оскільки НМ автоматично відфільтрує зайві або пошкоджені дані [1]. Інформація в НМ зберігається розподілено, тому у разі незначного пошкодження окремого елемента мережі чи його зв'язку з іншими елементами, робота НМ буде продовжуватись, а продуктивність хоч і знизиться, але дуже незначно [3].

Ще одним недоліком в класичних алгоритмах є те, що різні умови призводять до сильного зниження продуктивності, ускладнюється робота і з'являється багато грубих помилок, що не припустимо при обробці спектрів радіації. Також це значно ускладнює автоматизацію обробки даних. НМ позбавлені вказаних недоліків. Отже, більш доцільно використовувати для аналізу спектрів радіаційного випромінювання НМ, ніж традиційні алгоритми.

АВТОМАТИЗОВАНА КЛАСИФІКАЦІЯ РАДІАЦІЙНИХ ІЗОТОПІВ

В силу різних причин, радіоактивні речовини потрапляють в навколишнє середовище і, в залежності від багатьох умов, переміщуються. Для визначення конкретних типів розповсюджених ізотопів та подальшого прогнозування значення потужності доз розповсюджених радіаційних випромінювань перспективно застосовувати нейронні мережі. За допомогою них можливе вирішення проблеми автоматичного порівняння радіаційних випромінювань в реальному часі за спектрами гамма-випромінювання.

Традиційним способом ідентифікації радіоактивних ізотопів вважається пошук максимуму і відповідних кривих шуканого спектру радіаційного випромінювання та його порівняння зі спектром гамма-випромінювання. У цьому методі використовується повторюваний процес розкладання і реконструкції спектру до тих пір, поки шуканий алгоритмічний спектр не буде відповідати дійсному. Але для виконання цього методу часто потребується великий об'єм обчислень і багатократного людського фізичного втручання. Застосування НМ в цьому процесі можливе для автоматизації процедур розпізнавання та порівняння спектрів.

В роботі [4] пропонується використовувати метод ідентифікації радіаційних випромінювань по реконструйованому фізичному спектру гамма-випромінювання з використанням тришарової нейронної мережі прямого розповсюдження. В якості вхідних даних автори взяли реконструйований 256-канальний спектр гамма-випромінювання, а для навчання нейронної мережі застосували метод сполучених градієнтів з гнучким корегуванням кроку.

Підсумками дослідження є результат автоматичної роботи НМ, який показав на відновленому спектрі порівняння активності ізотопів між початковим і фоновим спектрами, де перевищення над фоном було 75%. Авторами також було вказано, що метод на підготовчому етапі чутливий до якості і кількості інформації в навчальній вибірці, але процедура ідентифікації виконувалась за один прохід.

Метод порівняння нейронними мережами радіоактивних випромінювань по гамма-спектру досить складний на етапі підготовки навчальної вибірки. Але цей алгоритм є перспективним і потребує подальшого розвитку, тому що навчена НМ може показати високі результати автоматичного порівняння спектрів радіаційних випромінювань та достовірно класифікувати радіоактивні ізотопи.

СПІВВІДНОШЕННЯ АКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ

Для багатьох районів нашої планети дані про радіаційне випромінювання повністю відсутні. У зв'язку з цим виникає необхідність отримання важливих даних про спектри радіаційних випромінювань. За допомогою штучних нейронних мереж можливо автоматизувати процес аналізу відношень активності елементів. Це потрібно для підвищення ефективності визначення типу джерела забруднення та його походження: природного чи антропогенного.

В роботі [5] проведено дослідження відношення активності урану-234 до урану-238. Автори обрали метод обробки спектрів радіоактивності за допомогою нейронних мереж. Стверджується, що основною перевагою такого підходу є відсутність необхідності у розробці математичної моделі, оскільки НМ навчається на прикладах і опрацьовує зразки на основі вхідних і вихідних даних, без формалізованого опису характеру їх взаємозв'язку.

В якості архітектури та навчального алгоритму мережі автори обрали багат шарову нейронну мережу прямого розповсюдження зі зворотним поширенням помилки та алгоритм навчання Левенберга-Марквардта. Такі характеристики мережі відомі простотою реалізації та хорошою здатністю до узагальнення. Нейронна мережа мала чотири вхідних нейрони, один прихований і один вихідний нейрони. На вхідні нейрони подавались значення з осі ординат вибраних точок спектру, а на вихідних – було показано відношення активностей урану-234 до урану 238. Перевірка правильності роботи НМ проводилась за критеріями значення коефіцієнта кореляції, середньої абсолютної та середньоквадратичної похибок. Результати дослідження показали, що НМ ефективно виконують свою функцію, адже за статистичними оцінками спроби знайти відмінність походження зразків урану виявились вдалими. Авторами визначено, що оптимальна продуктивність НМ отримується при 10 прихованих нейронах, така мережа забезпечила найбільшу точність під час оцінки коефіцієнта активності між природними та антропогенними зразками урану.

Нейромережеві технології можна активно використовувати для визначення співвідношення активності радіаційних випромінювань в неруйнівному контролі [6]. За допомогою даного методу можливо автоматизувати процес визначення джерел радіоактивного забруднення та контролювати вміст радіоактивних речовин в об'єктах контролю. Особливо актуальними ці завдання є у сферах атомної енергетики, медицини та геології.

ВИСНОВКИ

Нейромережеві технології сьогоднішній день користуються все більшим запитом. Їхнє використання в вивченні та обробці інформації спектрів радіаційних випромінювань залишається актуальним питанням, вирішення якого дозволить підвищити ефективність і точність в вимірюваннях радіації. Метод порівняння спектрів радіаційних випромінювань на даний час є складним для практичної реалізації. Але завдяки використанню НМ, даний метод має великі перспективи в майбутньому. Аналіз співвідношення активності одного елемента по відношенню до іншого також можна автоматизувати із застосуванням НМ. В такому випадку, буде ефективно вирішено не лише завдань класифікації, а і окремі випадки завдання кількісного аналізу.

Отже, не звертаючи увагу на маловивченість даного питання, застосування НМ для аналізу інформації спектрів радіаційних випромінювань є перспективним завдяки ряду переваг в порівнянні з класичними методами. Основним завданням для подальших досліджень є оптимізація підготовки бази навчальних зразків для різних методів радіаційної спектрометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Головинов А.О., Климова Е.Н. Преимущества нейронных сетей перед традиционными алгоритмами / А.О. Головинов, Е.Н. Климова // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. V междунар. науч.-практ. конф. № 5(5). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 11-15.
- [2] Иванюкович В.А., Скулович О.З. Нейросетевое моделирование величины радиационного фона / В. А. Иванюкович, О. З. Скулович // Сахаровские чтения 2009 года: экологические проблемы XXI века: материалы 9-й научной конференции, г. Минск, Беларусь, 21-22 мая 2009 / Министерство образования Республики Беларусь; МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – С. 246
- [3] 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.
- [4] Кочергин А.В., Пивоварцев С.С. Нейронная сеть для идентификации нуклидов по гамма-спектру / А.В. Кочергин, С.С. Пивоварцев // Искусственный интеллект – 2008. – № 4. С. 600–604.
- [5] Einian M. R., Aghamiri S. M. R., Ghaderi R. Application of neural network method to detect type of uranium contamination by estimation of activity ratio in environmental alpha spectra / M. R. Einian, S. M. R. Aghamiri, R. Ghaderi // Journal of Environmental Radioactivity – 2016. – № 151. – Pp. 75–81.
- [6] Галаган Р.М. Застосування нейромережевих технологій для вирішення обернених задач неруйнівного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 144.

Наук. керівник – ас. Момот А.С.

УДК 520.82.054

Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Анотація. Дана стаття присвячена важливій для неруйнівного контролю темі, а саме аналізу сигналів акустичної емісії, що виникають при контактному точковому зварюванні. Стаття містить вступ, опис основних принципів аналізу та висновки.

Ключові слова: акустична емісія, неруйнівний контроль, дефект, реакція матеріалу, об'єкт контролю.

ВСТУП

Акустична емісія (АЕ), заснована на реєстрації хвиль збуджень, що утворюються внаслідок змін, формування та руйнування структури різних матеріалів [1, 2]. На сьогоднішній день АЕ є одним із найбільш ефективних і перспективних методів контролю контактного точкового зварювання. Він надає можливість отримати інформацію про динаміку процесів, що проходять в реальному часі. Використовуючи метод АЕ можна визначати рівень напружень і деформацій матеріалу, виявляти дефекти на стадії їх утворення, дізнатися координати дефектів. Однією з важливих проблем методу АЕ є важкість розшифровки результатів контролю, що обумовлена накладанням на сигнал АЕ шумів об'єкту контролю, навколишнього середовища, відбиття акустичних хвиль [3].

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ

Під аналізом сигналів акустичної емісії розуміють формалізований опис реакції матеріалу на дефект, що розвивається, який в повній мірі відображає його внутрішню структуру і надає можливість оцінити технічний стан об'єкту контролю (ОК).

Особливості функціонального призначення методу акустичної емісії:

- збудником сигналу є сам матеріал, а не зовнішнє джерело;
- можливість виявлення дефектів на стадії їх утворення;
- дистанційність методу;
- метод вимагає точного розташування датчиків на ОК;
- можливість класифікування дефектів за рівнем їх небезпеки;
- визначити координати дефектів можна без сканування поверхні об'єкта.

Аналіз сигналів АЕ при контактному точковому зварюванні потребує наявності фундаментальних даних про дефект, що розпізнається, і полягає в тому, щоб оцінити фазу розвитку дефекту, порівнюючи експериментально отримані дані з еталонними кривими.

На рис. 1. зображено набір вимірюваних параметрів сигналу дискретної АЕ.



Рисунок 1. Відображення інформаційних параметрів сигналів

Черговість часових відліків, що отримана з початку випробування до остаточної руйнації конструкції, вважають повною реалізацією процесу.

ОБРОБКА СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Можна запропонувати два методи аналізу сигналів АЕ, що ґрунтуються на використанні операції згортки [4]. Перший спосіб заснований на лінійних перетвореннях сигналу, що використовують розрахунок спектра сигналу за допомоги перетворень Фур'є. Другий спосіб заснований на нелінійному перетворенні сигналу: медіальна фільтрація, бінаризація і порогова фільтрація.

На рис. 2 та рис. 3 представлені функціональні схеми описаних вище методів аналізу сигналів АЕ.

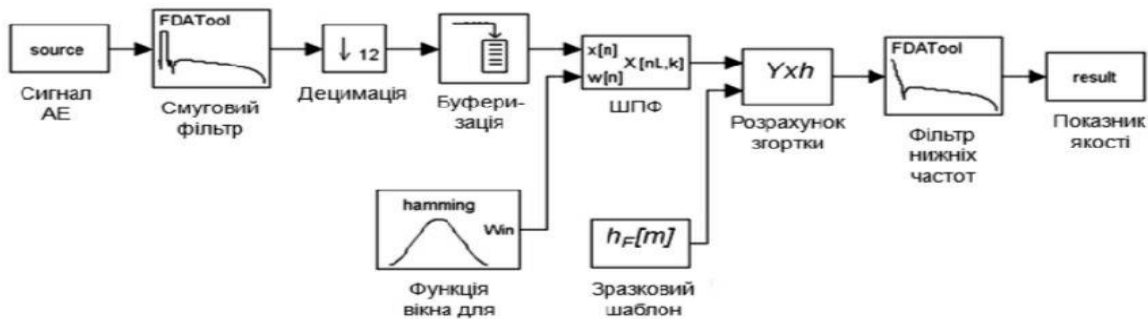


Рисунок 2. Схема методу формування показника якості з використанням лінійних перетворень сигналу

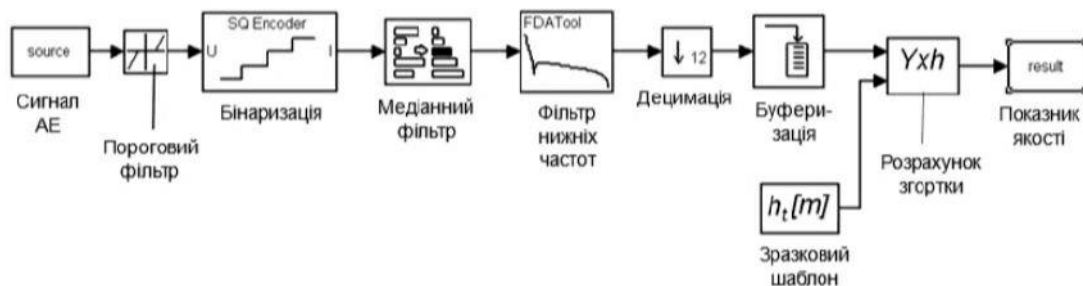


Рисунок 3. Схема методу формування показника якості з використанням нелінійних перетворень сигналу

Використовуючи дані методи, можливо оцінити якість КТЗ за утворенням високого рівня сигналу на виході блоку згортки по закінченню струму

зварювання. Поява піку сигналу вказує на вагому ступінь статистичного зв'язку часового процесу, що відповідає еталонному шаблону, і сигналу АЕ. Отже, про наявність неякісного точкового зварювання вказує відсутність високого рівня сигналу.

ВИСНОВКИ

Аналіз сигналів АЕ в своїй реалізації в системі діагностики контактного точкового зварювання передбачає проходження таких етапів:

- створення бази еталонних кривих, які відображають часовий хід повної реалізації дефекту, що розвивається;
- розділення її на поточні реалізації з виділенням притаманних точок даних залежностей;
- виділення корисного сигналу на фоні шумів і його обробку;
- оцінки взаємозв'язку сигналу АЕ з характером знайденого дефекту.

Точність результатів апроксимації, отриманих після обробки статистичного матеріалу, прямо пропорційна числу розбиття повної реалізації на поточні, а також від точності оцінок параметрів акустичної емісії сигналу в поточній реалізації. Зі збільшенням кількості точок відліку в поточній реалізації ускладнюється вимірювання та подальша обробка результатів.

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] Метод акустической эмиссии / В.И. Иванов, И.Э.Власов (Под общ. ред. Ключева В.В.). – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970: Пер с англ. (в четырех томах) / Под общей ред. К.Н. Трофимова; Том 3. Радиолокационные устройства и системы / Под ред. А.С. Винницкого. – М.: Сов. Радио, 1978. – 528 с.
- [3] Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
- [4] Галаган Р.М. Розроблення критеріїв якості точкового зварювання за результатами акустико-емісійного контролю / Р.М. Галаган, Н.Ф. Луценко, Ф.С. Клішар, В.І. Запара // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – Київ. – 2012. – № 6 (86). – С. 115-120

Наук. керівник – к.т.н., доцент Галаган Р.М.

УДК 004.032.26

Мельник А.В., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕРМОГРАМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація. В роботі розглянуто метод підвищення якості термограм за допомогою згорткової нейронної мережі. Проведено аналіз основних завад, присутніх на термографічних зображеннях. Встановлено основні напрямки покращення якості отриманих термограм. Обґрунтовано використання методів глибинного навчання для автоматизованої обробки термограм з метою одночасного підвищення їх роздільної здатності, усунення впливу ефектів теплової дифузії та шумів на зображення.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, тепловий контроль, реконструкція зображень.

ВСТУП

Ще не так давно наступні завдання здавалися технологічно складними, трудомісткими, небезпечними: контроль розподілу температури на великих поверхнях, вимірювання температури на електричних компонентах під високою напругою, контроль температури розплавленого металу тощо. А сьогодні тепловий контроль знаходить все більш широке застосування в найрізноманітніших галузях промисловості. Одним із найбільш актуальних напрямків є автоматизований контроль стану агрегатів та систем на виробництвах. Для вирішення цієї задачі переважно використовується пасивний метод теплового контролю. Від вчасного та достовірного виявлення дефектів або відхилень від нормальних режимів роботи залежить весь хід технологічного процесу, а також безпека персоналу. Для підвищення ефективності контролю необхідна висока якість термограм, і сучасні апаратно-технічні рішення дають змогу отримати чітке зображення з високою роздільною здатністю. Але дані тепловізійні системи є високовартісними, і для багатьох підприємств використання такого обладнання є нерентабельним. Виходом із ситуації є покращення якості термографічних зображень за допомогою використання різних алгоритмів цифрової обробки.

Основними напрямками покращення якості термограм є: збільшення роздільної здатності зображення для виявлення більш дрібних деталей (рис. 1), усунення ефектів розмиття границь елементів внаслідок впливу теплової дифузії, зменшення шумів матриці тепловізора та інших артефактів на зображенні для підвищення достовірності отриманих даних та полегшення аналізу термограм. Одним із найперспективніших методів, який потенційно дозволить вирішувати всі перелічені завдання, є використання глибинного навчання, зокрема, згорткових нейронних мереж.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Одним із існуючих методів підвищення роздільної здатності термограм є дискретне вейвлет-перетворення. Метод дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) є найбільш широко застосовуваною технікою виконання інтерполяції зображень [1]. Використання ДВП передбачає застосування спеціальних вейвлет-фільтрів для аналізу та реконструкції зображення в частотній області. ДВП використовується для декомпозиції початкового зображення низької

роздільної здатності (Low-Resolution, LR) на 4 підзображення в різних частотних діапазонах: Low-Low, Low-High, High-Low, та High-High. Усі низькочастотні компоненти зображення потім інтерполюються. Далі отримується різницеве зображення шляхом віднімання Low-Low зображення від вихідного LR-зображення. Потім отримане зображення додається до інтерпольованих високочастотних компонентів для отримання проміжної форми і зображення піддіапазону High-High. Після цього виконується ДВП для об'єднання проміжних зображень разом із вхідним зображенням, в результаті чого отримується зображення високої роздільної здатності. Недоліком даного методу є розмитість результуючої термограми та втрата високочастотних складових [2].

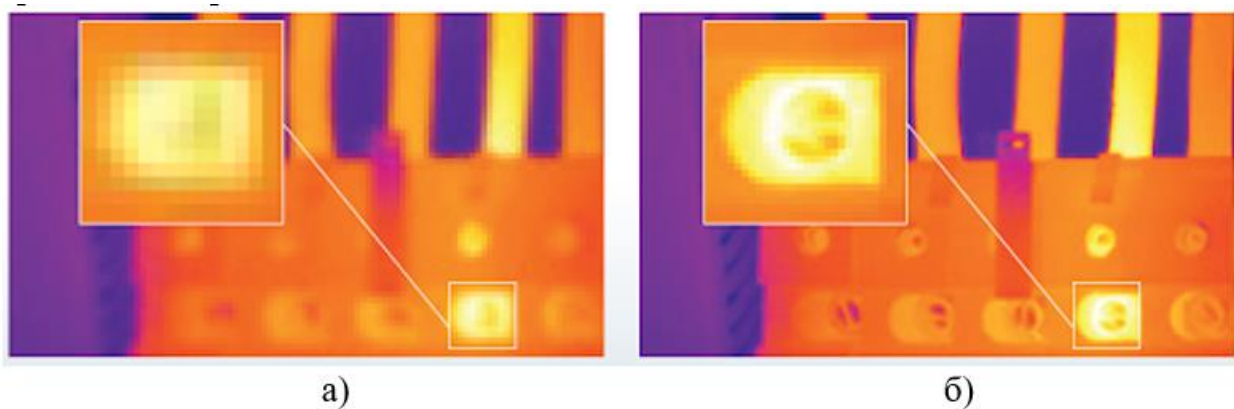


Рис 1. Підвищення роздільної здатності термограми: а) – початкове зображення, б) – оброблене зображення

Під час роботи з термографічними зображеннями можуть виникнути труднощі за спроби отримати оптимальне значення температурного контрасту через наявність теплової дифузії. Відомий метод кінцевих різниць теплового контрасту (КРТК), який заснований на використанні дискретного перетворення Фур'є та побудові комп'ютерної моделі поширення теплових хвиль. КРТК застосовується для підвищення контрастності та достовірності виявлення дефектів. Покращення температурного контрасту досягають за рахунок обчислення відносної похибки між прогнозованими значеннями температурних сигналів та реальними. Результати досліджень показують, що запропонована методика дозволяє покращити контраст між дефектними та бездефектними ділянками та частково компенсувати вплив теплової дифузії. Дана методика не враховує поширення температурних хвиль всередині об'єкту контролю. Окрім того, для її реалізації необхідні знання щодо реальних фізико-технічних параметрів об'єкту, що не завжди є можливим [3].

Для боротьби із шумами на термограмах часто застосовується медіанна фільтрація. У цьому методі для фільтрації центрального пікселя використовується квадратне вікно розміром $2k + 1$, де k змінюється від 1 до N , а N – це кількість пікселів. Пікселі у вікні спочатку сортуються за зростанням, а значення центрального пікселя замінюється на значення середнього елемента відсортованої послідовності. Перевага використання цього методу полягає в тому, що він не потребує додаткових даних про характеристики об'єкту контролю та ґрунтується виключно на наявній піксельній інформації. До

недоліків можна віднести недостатню ефективність у випадку дослідження об'єктів з високими температурами [4].

Отже, в ряді випадків розглянуті методи дозволяють покращити якість термограм за одним із напрямів. Однак, кожен із існуючих методів спрямований на вирішення конкретної проблеми та потребує індивідуальних алгоритмів реалізації. Фактично для різних термограм потрібно підбирати оптимальні методи та їх параметри у кожному випадку контролю, що робить їх неуніверсальними та дуже ускладнює автоматизацію. Але з появою глибинних нейронних мереж стало можливим вирішити дану проблему, оскільки вони є гнучким та універсальним засобом для обробки зображень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згорткова нейронна мережа (ЗНМ) - це особлива реалізація нейронної мережі, яка використовується в машинному навчанні в задачах обробки зображень. ЗНМ складаються з прошарків нейронів, пов'язаних синаптичними вагами зі зміщеннями. Проста ЗНМ є послідовністю прошарків, в яких здійснюють перетворення над вхідними даними із використанням активаційних функцій. ЗНМ складаються з комбінації двох основних блоків: згортки та повнозв'язного. Блок згортки складається з прошарків двовимірної згортки та прошарків підвибірки. Цей блок дозволяє здійснити найбільш важливу операцію – виділити діагностичні ознаки із вхідних даних. Повнозв'язний блок складається з прошарків класичної нейронної мережі прямого розповсюдження. Даний блок вирішує завдання класифікації або прогнозування на основі вхідних даних, отриманих із блоку згортки [5].

Щоб використовувати нейронну мережу для реконструкції термограм, її спочатку потрібно навчити. Для навчання можуть використовуватись високоякісні термограми, отримані в лабораторних умовах за допомогою обладнання з високими параметрами. Потім якість отриманих термограм штучно погіршується із використанням алгоритмів стиснення, розмиття, додавання шумів тощо. Таким чином, отримується повноцінний набір навчальних даних - на вхід мережі під час навчання буде подаватись погіршене зображення, а в якості бажаного результату на виході буде демонструватись первинне якісне зображення. ЗНМ самостійно визначатиме, яким саме чином із неякісного зображення отримати якісне. Для підвищення ефективності, навчання потрібно проводити на якомога більшій кількості термограм [6].

Навчену нейронну мережу можна використовувати для обробки нових даних, які не зустрічались під час навчання. В такому випадку, для проведення контролю можна використовувати вже більш доступне обладнання, а також проводити контроль не лише в лабораторних умовах. Оскільки мережа вже навчена усувати вплив небажаних факторів, то вона автоматично буде покращувати якість термограм, отриманих за несприятливих умов.

Очевидною перевагою такого методу є автоматизація процесу обробки термограм, покращення їх якості, і, як наслідок, достовірності контролю. Використання нейронних мереж дозволить за допомогою єдиного універсального алгоритму здійснювати обробку термограм одразу за трьома

напрямами – підвищити роздільну здатність, зменшити вплив теплової дифузії та виконати фільтрацію шумів на зображенні. Водночас, нейронна мережа буде покращувати на термограмах якість тільки тих об'єктів, які вона бачила під час навчання. У випадку зміни об'єкту контролю, результати можуть погіршитися. Тому обсяг навчальних зразків маж бути якомога більшим, інакше використання системи буде обмежене конкретним об'єктом контролю.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод реконструкції термограм дозволить одночасно вирішувати три задачі покращення якості термограм. Існуючі роботи за даним напрямом показали, що використання методів глибинного навчання в задачах реконструкції зображень є найбільш перспективним інструментом серед інших методів. Системи аналізу термограм із використанням нейронних мереж можуть бути застосовані для обробки даних пасивного теплового контролю будь-яких об'єктів. Основною складністю на даному етапі є необхідність в об'ємній базі експериментальних даних. Також важливим завданням для подальших досліджень є вибір найбільш оптимальної архітектури нейронної мережі та параметрів її навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Carey W. K. Regularity-preserving image interpolation / W. K. Carey, D. B. Chuang, S. S. Hemami. // IEEE Trans Image Process. – 1999. – №9.
- [2] Anbarjafari G. Satellite image resolution enhancement using complex wavelet transform / G. Anbarjafari, H. Demirel. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter. – 2010. – №1. – С. 123–126.
- [3] Bhandari A. K. Enhancement of Low Contrast Satellite Images using Discrete Cosine Transform and Singular Value Decomposition / A. K. Bhandari, A. Demirel, P. K. Kumar. // World Academy of Science. – 2011
- [4] Shrestha S. Signal & Image Processing / Suman Shrestha. // International Journal (SIPIJ). – 2014. – №4.
- [5] Momot A. S. Thermal defectometry of composite materials using artificial neural networks / A. S. Momot. // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна: збірник тез доповідей. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 154-155.
- [6] 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 – ас. Момот А.С.

УДК 004.032.26

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ТЕРАГЕРЦОВИХ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБІВ АЕРОКОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Розглянуто основні методи неруйнівного контролю виробів із композиційних матеріалів аерокосмічного призначення. З метою підвищення ефективності контролю пропонується використання терагерцового випромінювання. Зокрема, для вдосконалення процесу контролю пропонується візуалізація даних, отриманих із використанням терагерцового випромінювання шляхом побудови 3D-зображень внутрішньої структури об'єктів та їх подальшого автоматизованого аналізу за допомогою методів машинного навчання.

Ключові слова: терагерцове випромінювання, композитні матеріали, 3D-зображення, глибинне навчання.

ВСТУП

Композитні матеріали широко використовуються в авіаційній і космічній техніці в деталях, що піддаються змінним навантаженням. В ході експлуатації конструкцій з композиційних матеріалів неминуче виникають різні дефекти. Від своєчасного виявлення дефектів залежить працездатність та надійність всього виробу, що в аерокосмічній галузі є критичним. Вихід із ладу космічного апарату може призвести до аварій, значних матеріальних збитків, а часом і становити загрозу людському здоров'ю та навіть життю. Тому актуальним є пошук методів підвищення ефективності та достовірності контролю виробів аерокосмічного призначення. Зокрема, найбільш повну інформацію щодо технічного стану об'єкту контролю можна отримати на основі 3D-зображення його внутрішньої структури.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Серед методів неруйнівного контролю, які дозволяють побудувати 3D-зображення внутрішньої структури об'єкту, можна виділити акустичні методи. Але такі методи мають ряд недоліків, такі як високі коефіцієнти загасання пружних коливань в ПКМ, різка відмінність акустичних властивостей матеріалів шарів багат шарових конструкцій, а також шорсткість і кривизна поверхонь деталей і конструкцій, що ускладнює їх використання. Тому для побудови тривимірних зображень виробів аерокосмічного призначення акустичні методи практично не застосовуються [1].

Іншим методом комп'ютерна томографія. У разі правильного вибору режимів і параметрів контролю можна досягти високої якості отриманих зображень як за чутливістю, так і за роздільною здатністю. Все ж комп'ютерна томографія має ряд недоліків: висока вартість технології, необхідність отримання 360 ... 720 знімків об'єкту контролю при його круговому обертанні на 360 °, жорсткі обмеження за габаритами та вимоги до безпеки.

Отже, існує обґрунтований запит на пошук нових методів неруйнівного контролю. Одним із перспективних напрямків вважається використання терагерцового (ТГц) випромінювання. В роботі [2] зазначається, що ТГц дефектоскопи, окрім огляду деталей орбітального апарату на предмет прихованих дефектів, дозволяють точно визначити розташування компонентів під елементами обшивки. ТГц випромінювання, на відміну від рентгенівського,

є неіонізуючим, тому процес сканування досліджуваних зразків є безпечним. Останнім часом, з'явилася можливість візуалізації ТГц випромінювання, що дозволяє вдосконалити процеси діагностики та виявлення дефектів.

Процедура терагерцової томографічної візуалізації може бути використана для отримання тривимірних зображень в терагерцовому діапазоні частот, за аналогією до зображень в оптичному, інфрачервоному або рентгенівському діапазонах електромагнітного спектру. В роботі [3] стверджується, що актуальність використання ТГц випромінювання з метою формування зображення обумовлена наступними перевагами: довжина хвилі ТГц випромінювання (в межах 3000-30 мкм) дозволяє спостерігати дифракцію навіть на великих об'єктах; отримання зображення з субміліметровою роздільною здатністю; при прямому детектуванні ТГц випромінювання в часовій області, можливе також отримання комплексних спектрів, що дозволяє реєструвати інформацію про амплітуду і фазу поглинутої або відбитої від зразка хвилі та аналізувати нові інформативні параметри.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У разі використання ТГц випромінювання, для отримання просторової інформації в основному використовується піксельне сканування. Під час сканування у кожній точці в площині об'єкта відбувається реєстрація імпульсних сигналів ТГц випромінювання, які пройшли крізь об'єкт контролю або відбилися від нього. Отримання тривимірного зображення структури об'єкта можливе в результаті подальшої комп'ютерної обробки. В класичній ТГц спектроскопії повне тривимірне зображення об'єкта отримується в результаті сканування об'єкта сфокусованим пучком терагерцових хвиль, що накладає обмеження на роздільну здатність. Також зазвичай досліджують тільки амплітудну інформацію про ТГц поле, нехтуючи інформацією про фазу, що часто виявляється недостатнім для точного відновлення зображення об'єкта. У майбутньому можливі удосконалення, пов'язані з використанням напівпровідникових або оптичних лазерних джерел та детекторів [4].

Для автоматизації аналізу тривимірних зображень, отриманих із використанням терагерцового випромінювання, можна використовувати методи машинного навчання [5]. Найбільш ефективним в даній області є застосування глибинних нейронних мереж. Особливістю таких систем є навчання в процесі вирішення великого числа варіантів задач, а не пряме алгоритмічне вирішення конкретної задачі. На сьогодні, в області аналізу зображень найбільш ефективним є використання згорткових нейронних мереж.

Згорткова нейронна мережа (ЗНМ) має спеціальну архітектуру, яка дозволяє їй максимально ефективно розпізнавати образи. Основною перевагою є те, що ступінь попередньої обробки даних для ЗНМ є значно нижчим порівняно з іншими алгоритмами класифікації. Навчання таких мереж відбувається на основі попередньо підготовленої бази зображень [6].

Внаслідок автоматичного розпізнавання і класифікації дефектів та визначення їх параметрів під час аналізу терагерцових зображень за допомогою методів машинного навчання підвищується ефективність та достовірність

контролю. Це досягається завдяки зменшенню часу обробки та аналізу даних, усунення суб'єктивної складової помилки, здатності ЗНМ автоматично виявляти найбільш значущі діагностичні ознаки.

ВИСНОВКИ

Вимоги до надійності деталей, які експлуатуються в умовах багаторазових космічних польотів, передбачають достовірний контроль якості матеріалів. В даній роботі проаналізовано методи та шляхи підвищення ефективності контролю деталей аерокосмічних апаратів. Перспективним напрямом є використання терагерцового випромінювання для побудови 3Д-зображень виробів, виготовлених з композиційних матеріалів. Процес отримання терагерцових зображень є менш високовартісним, більш безпечним і технологічно простішим, ніж використання інших методів.

Аналіз тривимірних терагерцових зображень внутрішньої структури об'єктів можна автоматизувати із використанням глибинного навчання. Такий підхід дозволить зменшити роль оператора в процесі прийняття діагностичних рішень, зменшити часові затрати на проведення контролю та підвищити його загальну ефективність. Найбільш актуальним завданням для подальших досліджень є створення методів формування бази навчальних зразків для нейронних мереж, а також вибір оптимальних за показником достовірності роботи мережі параметрів навчання та архітектури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Nagem R.J. Residual life predictions of composite aircraft structures via nondestructive testing. Part 1: Prediction methodology and via nondestructive / R.J. Nagem, J.M. Seng, J.H. Williams // *Materials Evaluation*. - 2000. - №9. - pp. 1065-1074
- [2] Ospald F. Aeronautics composite material inspection with a terahertz time-domain spectroscopy system. / F.Ospald, W.Zouaghi, R.Beigang // *SPIE*. – 2014. – p. 15.
- [3] Jepsen, P.U., D.G. Cooke, and M. Koch, Terahertz spectroscopy and imaging - Modern techniques and applications. *Laser & Photonics Reviews* / P.U. Jepsen, D.G. Cooke, M. Koch, - 2011. - pp. 124-166.
- [4] Oden, J. Imaging of broadband terahertz beams using an array of antenna-coupled microbolometers operating at room temperature / J. Oden // *Opt. Express*, - 2013. - pp. 4817-4825.
- [5] Галаган Р.М. Застосування нейромережевих технологій для вирішення обернених задач неруйнівного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 144.
- [6] 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 – ас. Момот А.С.

УДК 620.179.1

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДЕФЕКТΟΣКОПІЇ

Анотація. Стаття присвячена аналізу методів роботи сучасних дефектоскопів, їх застосуванню та перспективам використання. У роботі виконано порівняння існуючих типів дефектоскопів, визначені основні переваги та недоліки кожного класу приладів. Наведено приклади використання таких пристроїв для проведення технічної діагностики у різних сферах життєдіяльності людини.

Ключові слова: дефектоскопія, дефект, класифікація дефектоскопів, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Розвиток високоточних приладів і наукомісткого машинобудування дозволили створити ряд унікальних пристроїв, використання яких дозволяє суттєво спростити, прискорити або зробити більш надійними різні механізми. Одним з таких пристроїв є дефектоскоп. Дефектоскоп є важливим помічником у контролі якості в процесі виробництва і при перевірці компонентів під час експлуатації, для неруйнівного контролю і аналізу матеріалів. Основна мета застосування приладу полягає в тому, щоб уникнути нещасних випадків, пов'язаних з травмами, майновим збитком і шкодою навколишньому середовищу. Дефектоскопи можна класифікувати наступним чином: ультразвукові, вихрострумові, магнітні, в залежності від методу контролю [1].

КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТΟΣКОПІВ

Розглянемо коротко загальну класифікацію дефектоскопів.

Ультразвукові. Дефектоскопія є найбільш поширеним методом серед усіх застосувань промислового ультразвукового контролю. Дефектоскопи використовують чітко встановлену та абсолютно неруйнівну ультразвукову технологію для проходження звукових хвиль крізь метали, композити, пластмаси та кераміку для виявлення прихованих недоліків, таких як тріщини, порожнечі та м'якість, що можуть призвести до виходу з ладу конструкції або приладу. Звукові хвилі розповсюджуються передбачувано та створюють характерні «ехо-візерунки», які можна реєструвати та записувати за допомогою портативних інструментів, що робить їх досить корисними в якості інструмента перевірки.

Як ультразвуковий пристрій, дефектоскопи використовують перетворювач для створення вібрацій і отримання відлуння, що повертається (дивись рис. 1).

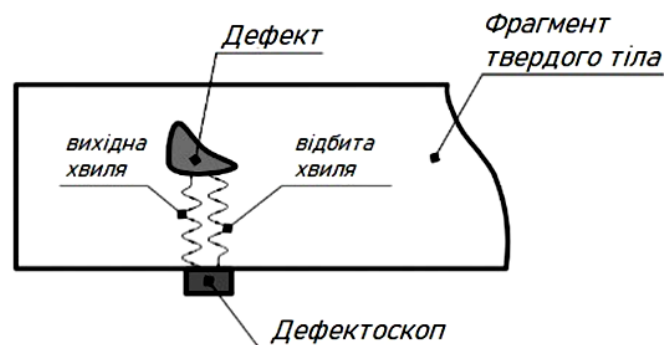


Рисунок 1. Принцип роботи ультразвукового дефектоскопа

Коли акустичні хвилі проходять через середовище, вони роблять це у передбачуваному напрямку та зі швидкостями, характерними для конкретно цього середовища. Коли буде досягнута така межа, як новий носій або дефект, вібрації повторно передбачувано повернуться до перетворювача. Відбитий сигнал перетворюється на схему форми хвилі, яку можна проаналізувати на наявність невідповідностей.

Ультразвукова дефектоскопія є порівняльним методом. Використовуючи відповідні еталонні стандарти, поряд із знаннями про поширення звукової хвилі та загальноприйнятими процедурами тестування, навчений оператор може визначити конкретні характеристики, включаючи дефекти, за діаграмою форми відбитої хвилі в досліджуваному матеріалі.

Вихрострумові. Залежно від параметру сигналу, що реєструється, вихрострумові дефектоскопи (ВСД) можуть бути частотними, амплітудними та фазовими. Одночасне використання двох з перелічених методів дозволяє створити амплітудно-фазові [2] і амплітудно-частотні схеми ВСД [3].

Розглянемо принцип дії ВСД: якщо поруч з об'єктом з феромагнітного матеріалу (скажімо, зі сталі) створити змінне магнітне поле, всередині матеріалу об'єкта контролю індукуються вихрові струми (струми Фуко) (дивись рис. 2). Вихрові струми, в свою чергу, також створюють магнітне поле, яке протидіє зовнішньому магнітному впливу. Параметри вторинного магнітного поля реєструються [4]. Якщо всередині матеріалу об'єкта контролю є неоднорідність (тріщини, порожнини, інші дефекти), це вплине на конфігурацію вихрових струмів, і, отже, на параметри створюваного ними магнітного поля. Фіксуючи ці зміни, можна отримати інформацію про внутрішні дефекти досліджуваного об'єкта [5].

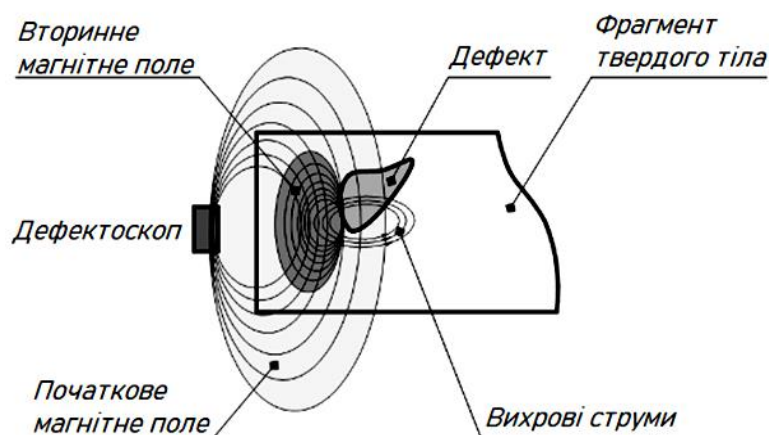


Рисунок 2. Принцип роботи вихрострумового дефектоскопа

Дефектоскопи вихрового струму широко застосовуються для діагностики при технічному обслуговуванні літаків, виявлення приповерхневих тріщин, тріщин на болтах та інших типів тріщин і корозії [6].

Магнітні. Магнітний дефектоскоп – це раціональне рішення для контролю, діагностики та аналізу цілісності структури матеріалів з металів і феромагнітних сплавів. Прилад оперативно і точно визначає місце розташування різних дефектів: пошкоджень, відколів, подряпин, тріщин. Пристрій широко

застосовується в виробничих умовах на металургійних комбінатах, підприємствах суднобудування, в газовій, хімічній, нафтовій галузях, комунальному господарстві, авіаційній сфері.

Основа принципу цієї методики контролю полягає в наступному: магнітний ефект не змінює свого напрямку на ділянці, що не має дефектів. На ділянках зниженої проникності, наприклад, через неоднорідність металу (тріщини, неметалеві включення і т.д.) частина ліній магнітного поля виходять з компонента і потім повертаються всередину, створюючи таким чином магнітні полюси (N та S). В результаті над дефектом з'являється магнітне поле. Оскільки магнітне поле є неоднорідним по відношенню до дефекту, магнітні частинки, які увійшли в це поле, потрапляють під силу, що притягує їх до місця найбільшої концентрації ліній магнітного поля, де і розташований дефект. Частинки в області дефекту намагнічуються та притягуються одна до одної як магнітні диполі так, що створюються ланцюгові структури, орієнтовані уздовж ліній магнітного поля.

Кожний з розглянутих типів дефектоскопів має свої переваги та недоліки, порівняльний аналіз яких представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз дефектоскопів

<i>Класифікація</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
Ультразвукові	Висока точність визначення розміру, форми дефекту; найбільша глибина проникнення в порівнянні з іншими методами; мінімальна підготовка перед проведенням контролю; контроль проводиться дуже швидко; результати отримуються в режимі реального часу.	Великі труднощі представляє контроль виробів складної форми і малих розмірів.
Вихрострумові	Можливість контролю об'єктів складної форми; досить висока швидкість діагностики дефектів; висока достовірність результатів;	Висока вартість; обмежений перелік матеріалів для контролю;
Магнітні	Висока оперативність і точність дослідження; можливість генерації потужних магнітних полів; максимальний захист від зовнішніх завад; простота експлуатації, легкість догляду за приладом; зручний формат відображення результатів.	Вузька спрямованість; вимогливість до температурного режиму.

СУЧАСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕФЕКТОСКОПІВ

На сьогоднішній день дефектоскопи використовуються в транспортній сфері, різних областях машинобудування, хімічної, нафтогазової промисловості, в енергетиці, будівництві, науково-дослідних лабораторіях для визначення властивостей твердого тіла і молекулярних властивостей та в інших галузях; застосовуються для контролю деталей і заготовок, зварних, паяних та клейових з'єднань, спостереження за деталями агрегатів [7]. Деякі дефектоскопи дозволяють перевіряти вироби, що рухаються зі значною швидкістю (наприклад, труби в процесі прокатки), або самі можуть пересуватися з великою швидкістю відносно об'єкту контролю (наприклад, рейкові дефектоскопи, візки та вагони-дефектоскопи).

ВИСНОВКИ

Сучасний дефектоскоп – дуже затребуваний пристрій. Завдяки даному приладу неруйнівного контролю є можливість виявити візуально невидимі осередки корозії (наприклад, під захисним покриттям), неоднорідність структури матеріалу, приховані раковини, порожнини та інші порушення цілісності, зміни в хімічному складі сплавів або інші дефекти, що виникли в процесі експлуатації чи при виготовленні виробу. Своєчасно проводити дефектоскопічний контроль дуже важливо, тому що будь-які недосконалості і недоліки сприяють зміні фізичних властивостей матеріалів та можуть послужити причиною руйнування виробу або конструкції. Особливо це важливо на об'єктах, де працюють люди, тому що руйнування конструкції або виробу може послужити причиною безлічі людських жертв.

Проведений аналіз дає змогу зробити висновок, що найбільш розповсюдженим класом дефектоскопів у наш час є ультразвукові (акустичні) прилади контролю, що обумовлено їх високою точністю, достовірністю отримуваних результатів та наявності широкого вибору моделей на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] About Flaw Detectors. – Режим доступа: <https://www.instrumart.com/MoreAboutCategory?CategoryID=5818>. – 05.04.2020.
- [2] Баженов В. Г. Ортогональний амплітудно-фазовий метод вимірювання при проектуванні вихрострумових дефектоскопів на базі мікроконтролерів / В. Г. Баженов, К. А. Гльойнік, С. В. Ходневич // Вісник національного технічного університету ХПІ, серія «Механікотехнологічні системи та комплекси». – том 44. – 2017. – С. 60-64.
- [3] Flaw detector. – Режим доступа: https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/flaw-detector/kat_162405.htm. – 07.04.2020.
- [4] Bazhenov V. Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer / V. Bazhenov, A. Protasov, K. Gloinik // MRRS 2017 – Proceedings of the 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium. – 8075051. – pp. 155-158.
- [5] Eddy-current testing. – Режим доступа: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Eddy-current_testing. – 09.04.2020.
- [6] Bazhenov, V. H. Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers / V. H. Bazhenov, K. A. Hloinik // Scientific proceedings NDT days 2016 XXXI International Conference «Defectosopia 16». – Sozopol, Bulgaria. – june 6-10, 2016.
- [7] Technique of magnetic particle inspection of rail transport parts. – Режим доступа: http://www.promprilad.ua/en/article_3.html. – 10.04.2020.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 004.032.26

М.В. Наконечний, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. У роботі представлено тепловий метод визначення типу матеріалу об'єкту. Розглянуто систему, яка здатна класифікувати об'єкти з різних матеріалів в режимі реального часу, використовуючи лазерну термографію та класифікатор на базі машинного навчання. Результати дослідження демонструють можливість отримання високої точності автоматизованого визначення типу матеріалу, навіть коли набір даних складається з температурних профілів, отриманих за різних умов контролю.

Ключові слова: класифікація матеріалів, тепловий контроль, машинне навчання, нейронні мережі.

ВСТУП

Робототехнічні системи, які можуть виконувати телеопераційні роботи у відповідальних та складних сферах (наприклад, охорона здоров'я, автомобілебудування, безпека тощо), в основному покладаються на візуальний та / або слуховий зворотний зв'язок для взаємодії з віддаленим оператором. При виконанні точних завдань із проведення маніпуляцій на відстані існує гостра потреба у вимірюванні фізичних властивостей навколишнього середовища, задля поліпшення якості виконання цих завдань. Проблема, з якою зустрічається цей підхід, полягає в тому, що поверхні різних матеріалів можуть мати дуже схожі фактури і навпаки, певний вид матеріалу може мати різну поверхню завдяки різним способам виготовлення та обробки. В даній роботі розглянуто перспективний підхід, що використовує поєднання теплового неруйнівного контролю з машинним навчанням для реалізації швидкого та точного способу класифікації виробів, виготовлених з різного матеріалу. Використання такого методу дозволить автоматизовано проводити класифікацію широкого діапазону найрізноманітніших матеріалів.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Найпоширенішим методом класифікації матеріалів на основі аудіовізуальних сигналів є використання спектроскопії, яка вивчає взаємодію світла з молекулами зразків. Однак, спектроскопічні вимірювання вимагають ретельної та трудомісткої підготовки зразків і можуть бути вкрай чутливими до змін умов освітлення у навколишньому середовищі, що робить неможливим швидке та мобільне налаштування спектроскопічних приладів. З постійно зростаючою швидкістю збору аудіовізуальних даних та можливостями їх зберігання, все більш ефективними в задачах оцінки властивостей матеріалів стають методи машинного навчання.

Авторами роботи [1] розроблено метод визначення коефіцієнту тертя поверхні в різноманітних середовищах для підвищення продуктивності двоногого робота в задачах планування руху. В роботі запропоновано оцінювати тертя поверхні на основі візуальних входних даних з камери, виконуючи класифікацію матеріалу поверхні у кожному пікселі зображення та прогножуючи розподіли ймовірності значень коефіцієнту тертя для кожного матеріалу. Класифікація матеріалів виконувалась за допомогою згорткових нейронних

мереж. Незважаючи на те, що сучасні камери дозволяють отримати високоякісну та детальну інформацію для розпізнавання матеріалів з їх поверхнями, метод візуального визначення матеріалу має ряд обмежень, які в основному пов'язані з різноманітністю зовнішнього вигляду кожного з матеріалів (наприклад, пластикова стінка може виглядати так, як і дерев'яна).

Вагому інформацію про властивості матеріалу надає безпосередній фізичний контакт між вимірювальним приладом та досліджуваним об'єктом. Для розпізнавання матеріалів на основі такого підходу використовуються декілька діагностичних ознак об'єкта, які отримуються під час контакту з об'єктом. Це можуть бути вібрації, контактні сили та теплові взаємодії. В роботі [2] запропоновано метод гаптичного дослідження для розпізнавання матеріалу поверхні об'єкта за допомогою спеціально розробленого пальця. На основі динамічного моделювання ковзного контакту, значень коефіцієнтів тертя та нормальної сили, швидкості ковзання та вібрації, отриманих в результаті контакту, здійснюється ідентифікація властивостей поверхні, включаючи статичні та кінетичні параметри тертя, в'язкість та текстуру.

Фізичний контакт з об'єктом контролю дозволяє досягти високої точності у визначенні типів матеріалів, проте дорога вартість та складність конструкції ускладнює використання даного методу та створення ефективного мобільного приладу. Тому перспективним є застосування методів класифікації матеріалів, які не потребують фізичного контакту з об'єктом та є простими в реалізації. Одним із таких методів є активний тепловий неруйнівний контроль [3]. Схема реалізації даного підходу показана на рис. 1. Програмний контролер дає команду контролеру спалаху сформувати лазерний промінь з необхідною тривалістю та часовою формою сигналу. Лазерне джерело нагріває у свою чергу перетворює електричний сигнал у світловий. Сформований світловий сигнал спрямовується в точку вибірки за допомогою виконавчого механізму. Виконавчий механізм керується програмним контролером, щоб переконатися, що об'єкт дійсно сканується. Тепловізор реєструє кілька зображень із заданим часовим проміжком між ними – записується послідовність термограм. Класифікація виконується на основі аналізу теплових профілів в нагрітій лазером точці. Для кожного типу матеріалу ці профілі будуть відрізнятися.

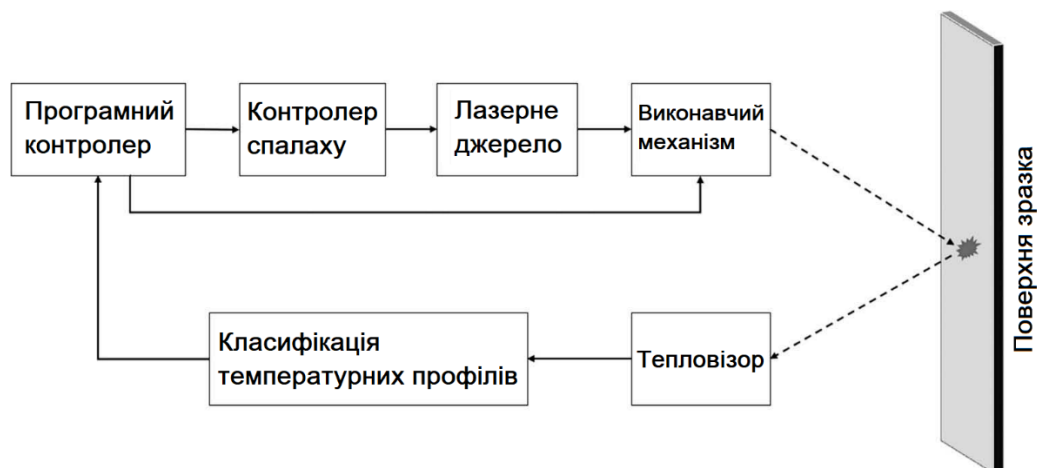


Рис. 1. Схема реалізації теплового методу визначення типу матеріалу

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Впорядкована за часом послідовність термограм формує набір необроблених даних, на основі якого виділяються необхідні температурні профілі та подаються на вхід до програмної підсистеми визначення матеріалу. Вихідними даними такої підсистеми є мітки класу об'єкту, тобто його класифікація за конкретними типами матеріалів. Проте температурні профілі різних матеріалів можуть бути схожими або перетинатися в певних областях, тому використання класичних алгоритмів класифікації суттєво зменшує достовірність контролю. У зв'язку з цим, для автоматичної класифікації температурних профілів варто використовувати методи машинного навчання. Найбільш перспективним засобом є нейромережеві технології, які широко використовуються в інтелектуальному аналізі даних. Мета полягає в тому, щоб створити модель, яка прогнозує значення цільової змінної (мітки класу об'єкту) на основі множини змінних на вході (температурних профілів) [4].

Головними перевагами нейронних мереж (НМ) над традиційними алгоритмами вважають наявність системи навчання та швидкодію, за рахунок чого нейронні мережі здатні адаптуватися до різних змін. Тому, незалежно від обсягу даних, результат отримується набагато швидше, ніж в класичних методах. Також можна зазначити універсальність нейромереж, простоту їх застосування, завадостійкість, ефективність роботи в умовах нелінійності, здатність автоматично виділяти діагностичні ознаки в процесі навчання.

Для класифікації температурних профілів найбільш оптимальним типом нейронних мереж є мережі прямого розповсюдження зі зворотним поширенням помилки. Такі мережі передбачають поширення сигналу тільки в одному напрямку: від входу до виходу. В архітектурі НМ прямого поширення відсутні петлі зворотного зв'язку, тобто вихідні значення будь-якого прошарку не впливають на цей прошарок. Даний тип мереж зазвичай застосовується для розпізнавання образів і класифікації сигналів [5].

Властивість, яку детектує той чи інший штучний нейрон, визначається значеннями його синаптичних ваг. Під час навчання, спочатку мережа ініціалізується випадковими вагами. На вхід подається навчальний приклад температурного профілю та обчислюється вихідний стан мережі. Формується функція помилки, тобто різницю між тим класом матеріалу, який має бути на виході мережі та фактично отриманим значенням. Далі ваги коректуються так, щоб зменшити цю помилку. Навчена НМ отримує здатність ефективно працювати із вхідними даними, яких вона не бачила під час навчання.

Отже, враховуючи наведені переваги, існує можливість автоматизовано провести достовірну класифікацію температурних профілів, навіть якщо вони отримані за різних умов контролю, містять шуми чи є неповними. Вхідними даними для підсистеми класифікації матеріалів на базі НМ будуть слугувати температурні профілі, а на виході мережа формуватиме мітки відповідних їм класів. Кількість прихованих прошарків та нейронів у них обирається експериментальним шляхом під час навчання, і залежить від складності поставленої задачі (кількості класів матеріалів, наявності шумів тощо). Ще одним недоліком може бути необхідність в об'ємній базі навчальних даних [6].

ВИСНОВКИ

Враховуючи недоліки існуючих на сьогоднішній день методів визначення типу матеріалу, доцільним є застосування технологій теплового контролю. Тепловий метод дозволяє спростити процес діагностики, зменшити часові витрати на її проведення та підвищити загальну ефективність вимірювань. Оскільки патерн охолодження матеріалу формує унікальний температурний профіль, характерний тільки для певного типу матеріалу, він може слугувати надійним показником для класифікації. Завдяки ряду переваг, для автоматизації класифікації теплових профілів пропонується використовувати нейронні мережі. Застосування нейромережових технологій дозволить автоматизувати процес класифікації матеріалів та підвищити його ефективність у порівнянні з традиційними алгоритмами. Запропонований метод може бути використаний в складі робототехнічних систем для вирішення задач визначення типу матеріалів в різноманітних галузях промисловості. Актуальним завданням на даному етапі є пошук архітектури та підбір параметрів мережі, за яких буде досягатись найвища достовірність класифікації матеріалу за різних умов контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Brandao M. Material recognition CNNs and hierarchical planning for biped robot locomotion on slippery terrain / M. Brandao, Y. Shiguematsu, K. Hashimoto // Cancun. – 2016. – С. 81-88.
- [2] Liu H. Surface material recognition through haptic exploration using an intelligent contact sensing finger / H. Liu, X. Song, J. Vimbo // Vilamoura. – 2012. – С. 52–57.
- [3] Галаган Р.М. Застосування нейромережових технологій для вирішення обернених задач неруйнівного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 144.
- [4] Aujeszky T. Thermography-based material classification using machine learning / T. Aujeszky, G. Korres, M. Eid // IEEE International Symposium on Haptic Audio-Visual Environments and Games – Abu Dhabi. – 2017. – С. 1-6.
- [5] Momot, A. Defect classification in active thermal testing with the use of neural networks / A. Momot // Матеріали III науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі» з міжнародною участю – NDT – UA 2019, 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна. – Київ : УТ НКТД, 2019. – С. 16-18
- [6] Головинов А.О. Преимущества нейронных сетей перед традиционными алгоритмами / А.О. Головинов, Е.Н. Климова // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. V междунар. научно-практической конференции.– № 5(5). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 11-15.

Наук. керівник – ас. Момот А.С.

УДК 520.82.054

Д.В. Петренко, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕОБХІДНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЛЮКСМЕТРІВ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ ТА ОХОРОНІ ПРАЦІ

Анотація. Стаття присвячена аналізу сучасних сфер застосування люксметрів, їх параметрів та стану розвитку технології на сьогодні. У роботі приведено короткий опис принципу роботи таких оптико-електронних приладів, порівняльний аналіз характеристик новітніх моделей та їх можливостей. Актуальність даної роботи також полягає в детальному огляді різноманітних сучасних сфер життєдіяльності людини, в яких необхідно проводити контроль рівня освітленості.

Ключові слова: фотометрія, люксметр, освітленість, неруйнівний контроль.

ВСТУП

На сьогоднішній день цифрові портативні люксметри набули широкої сфери застосування в різних сферах життєдіяльності людини. Вони використовуються для вимірювання рівня освітленості, мають високу точність, малі габаритні розміри та вагу. Їх необхідно застосовувати скрізь, де існує необхідність правильного розподілу та встановлення системи освітлення, як для побутових, так і виробничих потреб. Це різноманітні фірми, підприємства, лікарні, громадські місця, школи, торговельні центри та багато інших приміщень та споруд. Проводити вимірювання освітленості доцільно не тільки під час встановлення освітлювальних систем, але й періодично. Така необхідність обумовлена багатьма факторами, наприклад, поступовим забрудненням та зміною параметрів ламп з плином часу, що суттєво знижує рівень освітленості приміщень.

АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ПРИЛАДУ

Люксметри належать до класу оптико-електронних приладів. Принцип їх дії базується на перетворенні світлового потоку, який потрапляє на фоточутливу частину приймача випромінювання, в електричний струм. При цьому в замкнутому ланцюзі приладу виникає рух електронів, енергія якого прямо-пропорційна ступеню освітленості фотоелемента. При використанні фільтрів (світло-поглинаючих насадок) діапазон вимірювання рівня освітленості може бути значно розширений [1].

Типовий люксметр складається з таких основних елементів (рис. 1):



Рисунок 1. Елементи люксметра

1. LED дисплей [2];
2. кнопка On/off;
3. кнопка Max і Min значення;
4. кнопка призупинення вимірювання;
5. кнопка вибору діапазону вимірювання;
6. кнопка входу в основне меню;
7. кнопка автоматичного запису значення;
8. фотодетектор.

Калібрування приладу є досить складною задачею з точки зору технічної реалізації, при виконанні процедури потрібне виконання обов'язкових умов:

- спектральна і просторова кореляція;
- лінійність в широкому динамічному діапазоні;
- калібрування по джерелу зі спектральним складом випромінювання;
- оцінка похибки вимірювань освітленості.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛЮКСМЕТРІВ

Люксметри мають досить широку сферу застосування, що включає в себе такі області, як сільське господарство, метрологія, охорона праці тощо.

Всі життєво-важливі процеси для переважної кількості живих істот Землі напряму пов'язані зі світлом, це стосується людей, рослин і тварин. Дія світла, слабкого або надто сильного, негативно впливає на людей. Недостатній рівень освітленості викликає сонливість, знижує ефективність прийняття рішень та дій, призводить до передвчасної втоми, суттєво знижує продуктивність праці при цьому значно зростає ймовірність помилок, що, в свою чергу, призводить до травм, захворювань і навіть летальних випадків. У зв'язку з цим перевірка освітленості робочих місць серед багатьох заходів з охорони праці відіграє дуже важливу роль. Існують міжнародні стандарти ISO щодо рівня та розподілу освітленості робочих місць в залежності від призначення приміщення та видів діяльності в ньому. Деякі з них наведені нижче:

- офіси з використанням комп'ютерів – 500 лк;
- офіси з креслярськими роботами – 1000 лк;
- офіси великої площі – 750 лк;
- коридори та холи – 100 лк;
- сходи та ескалатори – 150 лк.

Також люксметри широко використовуються в інших сферах. Наприклад, з їх допомогою вимірюється, контролюється і підтримується необхідний рівень освітленості для рослин, що вирощуються в тепличних умовах. Ступінь яскравості світла для рослин безпосередньо впливає на фотосинтез, правильний ріст та розвиток культур. Помірне освітлення являється найбільш оптимальною умовою для більшості рослин, але найкраще для кожного типу рослин створювати рівень освітленості, який найбільше б відповідав природнім умовам. За допомогою люксметрів можливо визначати найоптимальніше місце для рослин в теплиці, на підвіконні або, якщо рослина вже має місце, регулювати освітленість за допомогою ламп.

На сьогоднішній день уявити своє життя без штучного освітлення практично неможливо, усюди на нашому шляху зустрічаються лампи: дім, робота, магазини – лампи розжарювання, люмінесцентні, галогенні, компактні люмінесцентні лампи, світлодіодні лампи тощо. Однією з головних характеристик ламп є світловий потік – кількість світла, що випромінюється, чим вищий цей показник, тим яскравіше світитиме лампа. Тому проводять контроль цього параметру за допомогою люксметрів ще на етапі виробництва лампочок. Також за допомогою цього приладу можна побачити, чи пульсує лампа під час

роботи, що може свідчити про наявність проблеми (несправності), яка з часом може негативно вплинути на якість зору людини.

У приладобудуванні люксметри використовуються для контролю параметрів приладів, що випромінюють світло, таких як: ліхтарі, прожектори, ультрафіолетові опромінювачі та багато інших пристроїв.

Також цей прилад використовується при капілярному неруйнівному контролі та являється однією з головних умов застосування цього методу. Контрольована поверхня повинна розглядатися при штучному або денному світлі при освітленості не менше 500 люкс на контрольованій поверхні. При цьому потрібно уникати відбиття світла.

При візуальному неруйнівному контролі деталі, посудини чи ділянки об'єкта освітленість має становити, за необхідності із застосуванням допоміжного освітлення, щонайменше 500 лк при місцевому візуальному контролі та 160 лк при загальному огляді.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ ЛЮКСМЕТРІВ

У даний час існує велика кількість різновидів люксметрів, коротко розглянемо деякі з них для порівняння можливостей та характеристик [3]:

1. Люксметр Flus MT-906 (рис. 2, а) – компактний і надійний в експлуатації вимірювальний прилад, призначений для контролю за рівнем освітленості. Відмінні риси даної моделі – це максимально можлива простота в роботі, висока якість збірки. Діапазон вимірювання: 0 лк – 100 000 лк.

2. Люксметр Mastech MS6612 (рис. 2, б) – прилад фірми Mastech, що дозволяє точно і швидко вимірювати умови освітленості. Люксметр необхідний для контролю робочих і житлових умов, вимірювання максимального або контролю достатнього рівня освітленості доріг, одержуваного від різних світлових джерел. Діапазон вимірювання: 0 лк – 200 000 лк.

3. Люксметр Flus ET-952 (рис. 2, в) вважається одним із кращих в своєму класі. Прилад відповідає всім міжнародним стандартам якості, простий в експлуатації та надійний, має високу точність вимірювання освітленості в видимому діапазоні. Відмінною особливістю є повністю замінний кремнієвий фотодетектор. Діапазон вимірювання: 0 лк – 400 000 лк.



Рис. 2. а) Люксметр Flus MT-906; б) Люксметр Mastech MS6612; в) Люксметр Flus ET-952

Сучасний стан технологічного розвитку дозволив запропонованим вище новітнім люксметрам виконувати найрізноманітніші задачі з високою точністю

та швидкістю [4, 5]. Моделі відрізняються діапазоном вимірюваних значень освітленості, точністю, набором функцій для підвищення ефективності й зручності роботи та типом кріплення фотоприймального блоку, що обумовлює можливість вимірювання рівня освітленості в важкодоступних місцях.

ВИСНОВКИ

Люксметр на сьогоднішній день є надзвичайно затребуваним пристроєм, застосування якого є доцільним в різних аспектах життя людини. Необхідність застосування фотометричної техніки для проведення процедур у сфері охорони праці є безперечною, а деякі методи неруйнівного контролю передбачають обов'язкове використання люксметрів для оцінки умов проведення діагностики.

Сучасні моделі люксметрів лідируючих світових виробників є загальнодоступними і дозволяють швидко та ефективно вимірювати рівень освітленості навіть у важкодоступних місцях персоналом, яких має мінімальний досвід роботи з цією технікою [6].

Подальший розвиток технологій фотометричної техніки дозволить значно розширити сферу застосування даного приладу й використовувати його скрізь, наприклад, для автоматизованого контролю та регулювання рівня освітленості в будь-яких видах житлових і виробничих приміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Прилади для визначення рівня освітленості і методика його визначення. – Режим доступа: <https://remzhuk.ru/uk/pribor-ispolzuemyi-dlya-izmereniya-osveshcheniya-lyuksmetr-pribor-dlya-izmereniya/>. – 10.04.2020.
- [2] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной нанoeлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.
- [3] Електронні компоненти та обладнання. – Режим доступа: <https://electronoff.ua/search?name=люксметр>. – 12.04.2020.
- [4] Муравьёв А. В. Перспективы применения нанотехнологий в микроэлектронике при производстве дисплеев / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2018: материалы 11-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2018. – С. 311-313.
- [5] Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьёв // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – с. 38.
- [6] Протасов А. Г. Особливості професійної підготовки фахівців з неруйнівного контролю та технічної діагностики у вищому навчальному закладі / А. Г. Протасов // Проблеми інженерно-педагогічної освіти (Харків). – 2006. – №13. – С. 96-99. [0]

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 621.386

А.В. Петруша, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. Розглянуто можливість використання методів машинного навчання у неруйнівному контролі. Проаналізовані способи побудови моделей машинного навчання. Показано доцільність використання нейронних мереж у автоматизованих системах контролю для об'єктів критичної інфраструктури. Моделі навчання можуть бути побудовані для аналізу зображень УЗІ або оптичних систем.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, неруйнівний контроль, машинне навчання, нейронні мережі.

ВСТУП

Методи машинного навчання використовуються задля спрощення процесу прийняття рішення щодо стану певного об'єкту або процесу.

Автоматизовані системи неруйнівного контролю, дають змогу отримувати значні за обсягом масиви даних. Ці дані можна використовувати як початкову вибірку для моделей машинного навчання, для майбутнього використання у процесі прийняття рішення про стан об'єкту за певними нормативними документами.

Метою роботи є аналіз можливостей використання нейронних мереж для певних методів неруйнівного контролю.

АНАЛІЗ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ЯК ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Машинне навчання в основному – це сукупність методів використання алгоритмів для парсингу даних, навчання на них та визначення чи прогнозування чогось у світі [1].

Існує багато різних типів алгоритмів машинного навчання, сотні щодня публікуються, і вони, як правило, групуються за стилем навчання (навчання з учителем чи без учителя), або за схожістю, формою чи функцією навчання (класифікація, регресія, дерево рішень, кластеризація, глибоке навчання тощо). Незалежно від стилю чи функції навчання, всі комбінації алгоритмів машинного навчання складаються з наступного:

- Представлення (маппінг або співставлення вхідних даних до формату який розуміє комп'ютер);
- Оцінювання (scoring function);
- Оптимізація (метод пошуку очікуваного результату/прогнозування; наприклад сімплекс метод).

Наразі методи машинного навчання сприяють вирішенню задач в багатьох сферах діяльності. Наприклад, для задач обробки зображень використовують CNN (Convolutional Neural Network) мережі [2], для задач прийняття рішень за певним формальним (численним) набором даних можуть використовувати Multilayer Perceptron або Recurrent Neural Network.

Будувати власні моделі навчання зараз можна використовуючи різні мови програмування:

- Python – бібліотеки scikit-learn, keras, tensorflow [3], opencv;

- C# – ML.NET;
- C++ – opencv, tensorflow;
- Matlab – neural network toolbox.

Зазвичай використовують бібліотеки, в яких уже реалізовані алгоритми для функції скорінгу та методи оптимізації. Все, що потрібно, - це сформувані та подати тренувальну вибірку даних до об'єкту обраної нейронної мережі, навчити модель та виконувати прогнозування на нових даних.

Також сучасні провайдери хмарних технологій надають готові (налагоджені) моделі для рішення певного скоупу задач. Наприклад Microsoft Azure надає спеціальне рішення Azure Cognitive Services [4].

Служби когнітивних сервісів пропонують кожній розробці доступні засоби штучного інтелекту, для роботи з якими не потрібен досвід у сфері машинного навчання. Все, що необхідно, - це викликати API (Application program interface), який надасть свої можливості комп'ютерного зору, обробки голосових сигналів, пошуку та обробки інформації, а також більш швидко приймати рішення. При використанні таких систем потрібно лише виконати веб запит до API, яке надає клауд провайдер, у відповідь буде отримано проаналізовану інформацію, яка є результатом прогнозування. На рис. 1 представлено архітектурну схему зчитування тексту з зображення за допомогою Azure Cognitive Services. Першим етапом картинка завантажується до віддаленої файлової системи, далі контент файлу відправляється до Computer Vision API шляхом web запиту, на відповідь віддається результат аналізу, тобто текст з завантаженої картинки, цей текст зберігається до бази даних задля подальшої обробки.

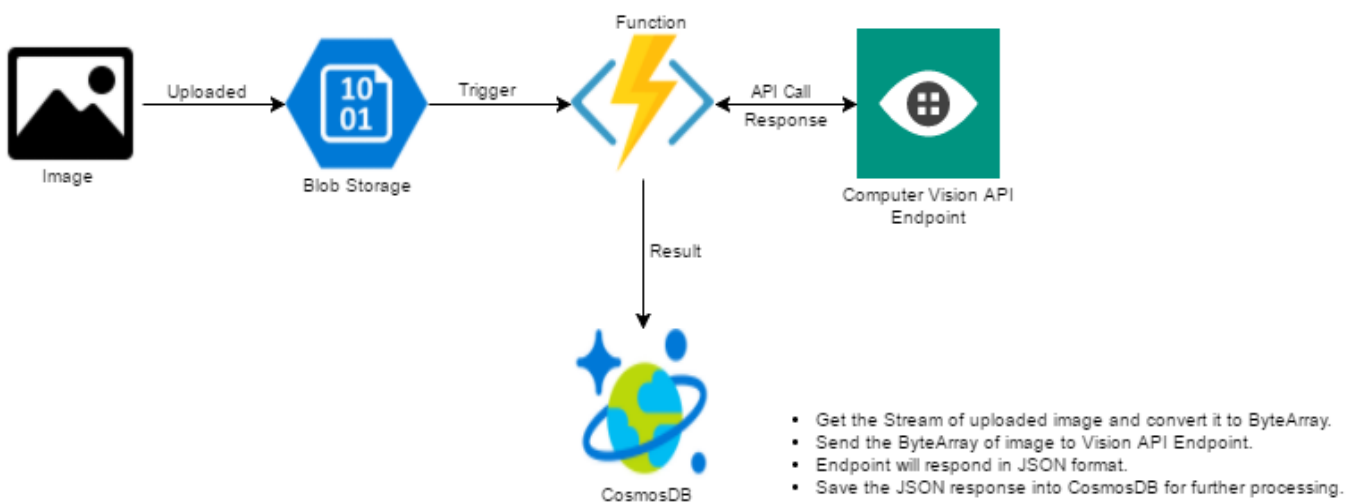


Рисунок 1. Приклад використання Azure Cognitive Services

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Багато задач неруйнівного контролю потребують певної автоматизації [5]. Для об'єктів критичної інфраструктури процес контролю повинен проводитись безперервно та без участі оператора. В автоматизованих системах оператор має

задачу саме з прийняття рішення про стан об'єкту контролю за певними нормативними документами. В таких системах доцільно використовувати методи машинного навчання. Наприклад, в оптичних системах [6,7] чи приладах УЗІ [8], де первинною інформацією є зображення, задля прийняття рішення доцільно використовувати згорткові нейронні мережі. Модель, що натренована на тестовому (відкаліброваному) набору даних, зможе вказувати на певну ділянку у зображенні, на якій може бути дефект. На рис. 2 зображений приклад накладання фільтрів на зображення УЗІ за допомогою бібліотеки tensorflow для виділення певних областей.

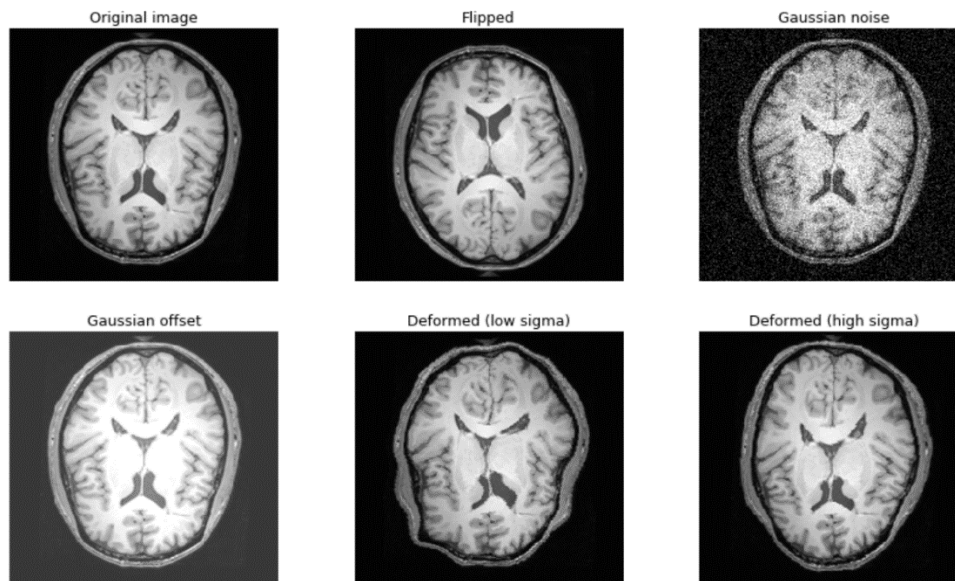


Рисунок 2. Приклад обробки зображення за допомогою CNN

Дані перетворення можуть суттєво спростити процес прийняття рішення оператору.

Методи неруйнівного контролю можна умовно поділити за типом первинної інформації, тобто параметром, який отримано з первинного перетворювача. Такі параметри як амплітуда, частота або початкова фаза цифрового сигналу. Наприклад розглянемо вібродіагностику – метод неруйнівного контролю, який заснований на аналізі цілого комплексу параметрів вібрації з метою визначення стану об'єкту. Тобто параметри, які нам потрібні задля прогнозування, – час, коли була зареєстрована вібрація, частота або амплітуда сигналу. Далі принцип роботи моделі навчання полягає в наступному: дефекти деталей, вузлів машин і агрегатів призводять до зміни рівня вібрації на відповідних частотах, які модель ідентифікує і співвідносить з конкретним типом дефекту (описаним в тренувальній вибірці), дозволяючи таким чином без зупинки і розбирання виявити несправність або спрогнозувати її розвиток. Для вирішення даної задачі доречно використовувати нейронну мережу багатошарового перцептронну, тому як відповідь (результат прогнозування) – бінарна характеристика, яка є індикатором наявності або відсутності дефекту на певній ділянці, що була проконтрольована у певний момент часу, який зазначено у вхідній моделі.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто поняття машинного навчання та задачі, які можна вирішувати за його допомогою. Описані основні принципи побудови моделей навчання, наведений список мов програмування та бібліотек, використання яких є доречним для задач машинного навчання.

На основі аналізу можливостей машинного навчання обґрунтовано висновок про те, що їх поєднання в єдиному комплексі з автоматизованими системами неруйнівного контролю дає змогу створювати потужні моделі навчання для спрощення процесу прийняття рішення щодо стану об'єкта контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] What is machine learning. — Режим доступа:www.URL: <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>
- [2] What are convolutional neural networks. — Режим доступа:www.URL: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>
- [3] Introduction to biomedical image analysis with tensorflow. — Режим доступа: www.URL: <https://blog.tensorflow.org/2018/07/an-introduction-to-biomedical-image-analysis-tensorflow-dltk.html>
- [4] Azure Cognitive Services overview. — Режим доступа:www.URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cognitive-services/cognitive-services-and-machine-learning>
- [5] Galagan R.M. Analysis of application of neural networks to improve the reliability of active thermal NDT / R. M. Galagan, A. S. Momot // KPI Science News. – Kyiv. – 2019. – № 1 (2019). – P. 7-14 DOI: <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.1.157374>
- [6] 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.
- [7] Бруслик М. О. Системи комп'ютерного зору в технології доповненої реальності та їх використання в навчанні / М. О. Бруслик, О. В. Муравйов // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна: збірник статей. КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, 2018. – С. 389–391.
- [8] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

Науковий керівник к.т.н., доцент Галаган Р.М.

УДК 621.386

А.В. Петруша, студент гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ВІДДАЛЕНОГО СХОВИЩА ДАНИХ ДЛЯ БАГАТОКОНАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ВИХРОСТРУМОВО КОНТРОЛЮ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Анотація. Розглянуто питання організації віддаленого сховища даних для багатоканальних систем неруйнівного контролю, проаналізовано можливості візуалізації даних. Показано, що в сховище можна записувати дані про стан об'єкту у режимі реального часу, дані збираються за допомогою різних методів неруйнівного контролю, зокрема методів вихрострумового контролю. У сховище можуть потрапляти і зберігатись такі дані, як амплітуда, частота або фаза електричного сигналу, інші числові дані, які характеризують стан об'єкту контролю та його окремих ділянок в певні моменти часу.

Ключові слова: вихрострумований контроль, неруйнівний контроль, віддалене сховище даних, бази даних.

ВСТУП

Об'єкти критичної інфраструктури потребують постійного, неперервного контролю. Прикладами таких об'єктів є мости, газопроводи, енергогенеруючі агрегати, тощо. Руйнування таких об'єктів може мати фатальний характер, тому важливо моніторити стан об'єктів, для того щоб вчасно виявляти дефекти, їх розміри та оцінювати ступінь загроз.

Для розв'язання цієї задачі використовують багатоканальні системи неруйнівного контролю, які дають змогу отримувати значні за обсягом масиви даних. В таких системах цілком доцільним і виправданим є зберігання даних у віддалених сховищах. Дані з такого сховища можна завантажувати з будь-якої точки планети і аналізувати поточний стан об'єкта та його передісторію. Така організація процесу контролю дає змогу відстежувати стан об'єкту в реальному часі та приймати оперативні управлінські рішення щодо можливості його подальшої безаварійної експлуатації.

В таких сховищах доцільно зберігати основні фізичні характеристики об'єктів контролю та параметри інформаційних сигналів – амплітуду, частоту, початкову фазу, тощо, та будь-які інші числові характеристики, які певним чином пов'язані з об'єктом контролю.

Метою доповіді є висвітлення результатів дослідження можливості створення віддаленого сховища даних, отриманих від багатоканальних приладів та систем вихрострумового неруйнівного контролю.

АНАЛІЗ ВІДДАЛЕНОГО СХОВИЩА ДАНИХ

Сховище даних (Data Warehouse) – це база даних отриманих під час збору інформації від різноманітних джерел, з підвищеним ступенем захисту та довгостроковим зберіганням. Сховище даних зазвичай використовується для підключення та аналізу даних різних форматів отриманих з неоднорідних джерел. Сховище даних є ядром системи ВІ (Business Intelligence), яка побудована для аналізу даних, звітності, візуалізації та доступна з різних терміналів.

Електронне збереження великих обсягів інформації дає змогу одночасно сприймати та зберігати інформацію від розгалуженої в просторі системи первинних приладів контролю. Основним елементом сховища даних є сутність (таблиця), яка має в якості властивостей, заздалегідь визначені характеристики.

Сховище даних повинно мати три сутності які мають реляційний зв'язок один до багатьох. Модель даних у сховищі зображена на рис. 1.

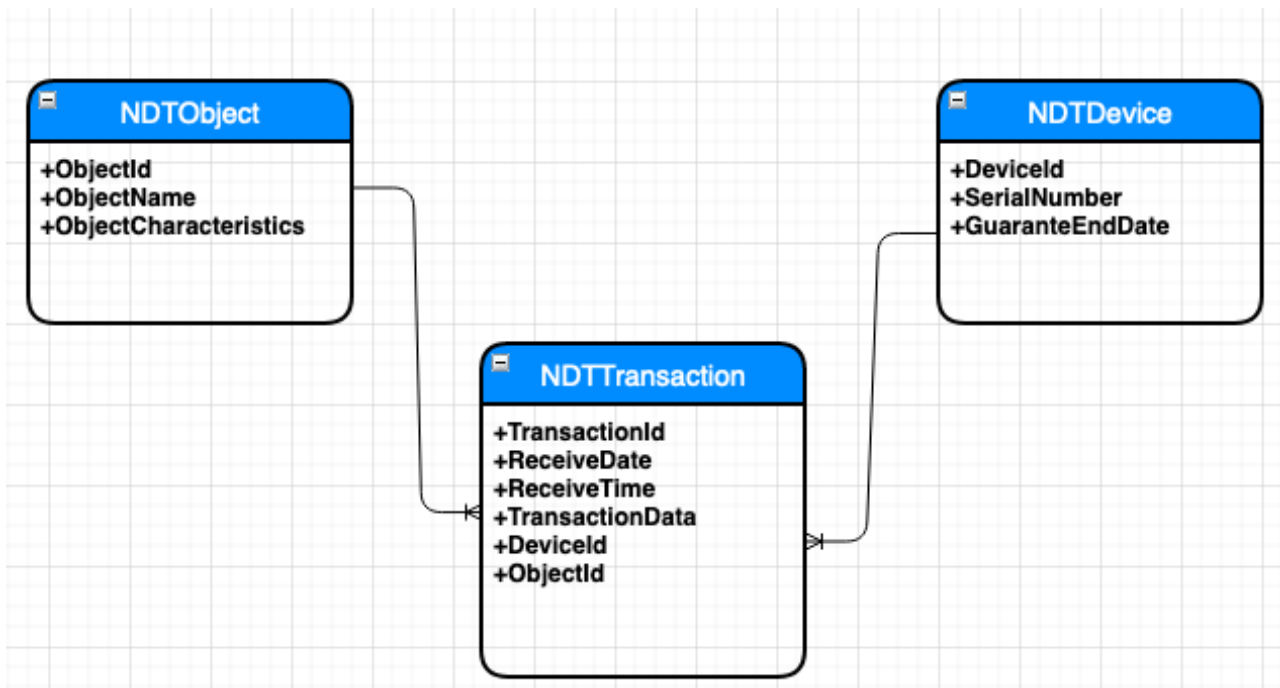


Рисунок 1. Модель сховища даних

Представлена на рис. 1 модель сховища складається з 3 сутностей, а саме NDTObject, NDTDevice та NDTTransaction, з наступними властивостями.

- NDTObject – характеризує об’єкт контролю.
 - ObjectId – унікальний ідентифікатор об’єкту контролю. Тип даних UUID
 - ObjectName – назва об’єкту контролю. Тип даних строка (не унікальне поле)
 - ObjectCharacteristics – механічні, геометричні, електрофізичні, властивості об’єкту та його матеріалу
- NDTDevice – характеризує прилад (мікроконтроллер та перетворювач) який відправляє сигнал до сховища.
 - DeviceId – унікальний ідентифікатор приладу контролю. Тип даних UUID
 - SerialNumber – серійний номер приладу чи первинного перетворювача. Тип даних строка
 - GuaranteEndDate – дата виходу приладу з експлуатації. Тип дата
- NDTTransaction – характеризує отримане значення параметрів інформаційних сигналів від конкретного приладу встановленого на конкретному об’єкті контролю (назвемо це значення транзакцією)
 - TransactionId – унікальний ідентифікатор транзакції. Тип даних UUID
 - ReceiveDate – дата отримання значення амплітуди. Тип даних Дата

- **ReceiveTime** – час отримання значення амплітуди (в дату **ReceiveDate**). Тип даних Час.
- **TransactionData** – значення транзакції отримане з девайсу. Тип даних **Object**.
- **DeviceId** – унікальний ідентифікатор приладу з якого отримане значення амплітуди (поле ключ до сутності **NDTDevice**)
- **ObjectId** – унікальний ідентифікатор об'єкта контролю (поле ключ до сутності **NDTObject**)

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ СХОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ POWER BI

Після збереження даних до сховища, постає питання формування звіту або візуалізації даних отриманих з приладів вихрострумовевого контролю, за певний проміжок часу. Наразі для таких задач існують BI(Business Intelligence) системи які мають наступні можливості:

- підключення до будь якого сховища даних
- вибірка даних за певними критеріями
- графічне відображення отриманої вибірки
- збереження звіту в зручні формати (PDF, Excel, Word)

Однією з таких систем є Microsoft Power BI, яка посідає перше місце в світі серед подібних систем, та має можливість підключення до більш ніж 100 різних сховищ, баз даних та систем. Дані звіту доступні до перегляду з будь-якого девайсу користувача, телефону, планшета, ноутбуку, тощо, головне це мати підключення до мережі інтернет. Для формування вибірки даних зі сховища PowerBi може використовувати мову SQL (Structured Query Language) – світовий стандарт для роботи з реляційними базами даних (таблицями), або вбудовану мову DAX яка дозволяє оперувати даними сховища не знаючи про його тип (табличний, документарний, тощо).

На рис.2 зображений приклад звіту отриманого зі сховища за допомогою PowerBI.

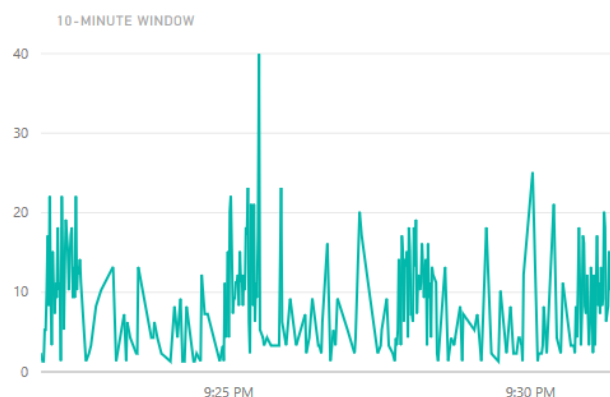


Рисунок 2. Приклад звіту з віддаленого сховища

Звіт який зображений на рис. 2, може динамічно змінюватися при надходженні нових даних до сховища, які будуть задовольняти умовам вибірки звіту. Це забезпечують можливості системи Power BI, які в режимі реального

часу сканують сховище, на наявність нових даних для коректної візуалізації отриманих сигналів.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто поняття віддаленого сховища даних для багатоканальної системи вихрострумowego контролю. Спроектована модель сутностей сховища даних, дано опис властивостей сутностей. Показано, можливість візуалізації даних отриманих у сховищі за допомогою системи PowerBI.

На основі аналізу можливостей сховища даних обґрунтовано висновок про те, що їх поєднання в єдиному комплексі з системами вихрострумowego неруйнівного контролю дає змогу створювати потужні засоби моніторингу крупно габаритних об'єктів критичної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2: В 2 кн.: Вихретоковый контроль/ Ю.К.Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.: ил. Ермолов И. Н., Останин Ю. А. Методы и средства неразрушающего контроля качества. – М.: Высшая школа, 1988. – 368 с.
- [2] Герасимов В. Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. «Методы и приборы вихретокового контроля промышленных изделий». М.: Энергоатомиздат, 1983. 242с.
- [3] What is data warehouse. — Режим доступа: www.URL:https://www.guru99.com/data-warehousing.html
- [4] What is power bi. — Режим доступа: www.URL:https://powerbi.microsoft.com/en-us/what-is-power-bi/

Науковий керівник д.т.н., проф. Куц Ю.В.

УДК 371.134

Салаков А.А., студент групи ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ І ОЦІНКИ ДЕФЕКТІВ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ ТЕПЛОВИМУ КОНТРОЛІ

Анотація. В даній роботі обґрунтовано використання теплового неруйнівного методу контролю для композиційних матеріалів. Було представлено метод аналізу термограм з використанням термографічних інформаційних функцій, що дозволить автоматизувати процес аналізу термограм та оцінки дефектів. Метод аналізу було реалізовано засобами математичного середовища MathCAD.

Ключові слова: Тепловий неруйнівний контроль, композиційні матеріали, термограма.

ВСТУП

Композиційні матеріали (КМ) широко використовуються у сучасному виробництві. Через специфіку їх властивостей, одним з найбільш перспективних методів дефектоскопії виробів з КМ є тепловий метод неруйнівного контролю (ТМ). КМ широко використовуються як у авіа- та ракетобудуванні, так і у будівництві, при виготовленні посуду або меблів [1].

Однак, виробам з КМ притаманні специфічні дефекти, які утворюються як при виробництві, так і під час експлуатації. Візуально вони не помітні на поверхнях елементів із КМ, однак їх наявність може призвести до серйозного ослаблення конструкції і згодом стати причиною руйнації. Традиційні методи неруйнівного контролю, часто, не дають повної картини дефектного стану виробів з КМ [2]. Тому сучасні виробники використовують тепловий неруйнівний контроль (ТК).

ТК заснований на візуалізації та аналізі динаміки температурного поля на поверхні об'єкта контролю за допомогою спеціальних технічних засобів і алгоритмів, які дозволяють вловлювати інфрачервоне випромінювання та перетворювати його в зображення - термограму об'єкту. Як правило, досліджувана поверхня попередньо нагрівається (активний ТК) [3]. У цьому випадку, інформація про наявність внутрішніх дефектів і їх параметрів полягає в амплітудних характеристиках теплового поля в кожній точці поверхні.

Як об'єкт для аналізу було обрано пластину (зразок), в якій матеріалом сполучення є універсальний епоксидний клей (УЕК), а наповнювачем - порошок шунгита з вмістом вуглецю 30,9%. У зразку на глибині 1 мм, було створено дефект типу порожнечі, термограма якого представлена на рис. 1.

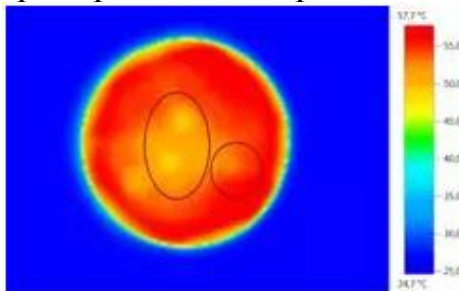


Рис. 1. Термограма зразку з дефектом типу порожнечі

ЦИФРОВІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМ

На сьогоднішній день існують безліч різних методів аналізу, але будь-який цифровий метод аналізу термограм заснований на отриманні чисельних значень амплітудних характеристиках теплового поля в кожній точці об'єкту контролю. Для реалізації цих задач найактивніше використовуються такі середовища як *MATLAB* (широкий набір інструментів для обробки сигналів), *MathCAD* (математичне середовище з великим набором інструментів обчислення), *Expert MVR-Company* (спеціально розроблене середовище для обробки термограм), а також штучні нейронні мережі.

ПЗ *Expert MVR-Company* призначене для отримання істинних значень температур поверхні. Обробка термограм проходить до збігу значення температур в реперних ділянках термограми з істинними температурами поверхні.

До переваг відноситься: інформація про обробку термограм із зазначенням використаних методів і отриманих результатах наводиться у вигляді підсумкового звіту; має 5 інструментів для обробки результатів: точка, область, профіль, гістограма та ізотерма.

Головний недолік використання ПЗ: аналіз повинен проводитись термографістом не нижче 2 рівня кваліфікації, що має великий практичний досвід в розшифровці термограм [4].

Засоби *MATLAB* мають більш широкі засоби цифрової обробки. Розглянемо лише два:

1) *Фур'є* - аналіз вважається одним із найкращих методів для обробки термограм. Цей метод заснований на використанні одновимірного перетворення Фур'є до функції зміни температури у часі.

Перевага цього методу полягає в можливості отримувати високі показники співвідношення сигнал/шум, завдяки високій чутливості. Проте головний недолік в тому, що результат перетворення Фур'є залежить від кількості термограм у послідовності.

2) *Вейвлет* – аналіз відрізняється від аналізу Фур'є видом базисної функції. По суті, вейвлет-перетворення можна розглядати як кросс-кореляцію сигналу з набором хвильових функцій (вейвлетів) різної ширини. Для аналізу термограм, найбільш вдалим є вейвлети Гауссівської групи або вейвлети Морле.

Для обох методів необхідна наявність великої кількості термограм у початковій послідовності. Завдяки високій чутливості, дозволяють отримати усі структури, але в умовах нерівномірного нагріву, або при наявності інших завад дані методи є малоефективними, оскільки з'являються паразитні структури і артефакти [5].

Штучні нейронні мережі (НМ). З розвитком технологій в світі, активно почали використовуватися НМ. Основною їх перевагою є їх здатність навчатися, що дозволяє автоматично вивчати приховані закономірності у вхідних наборах даних, що робить їх високоефективними в ТМ. НМ працюють зі складними нелінійними залежностями, вирішуючи багатопараметрові задачі. Але головний їх недолік полягає в формуванні об'ємної бази навчальних даних, відсутність єдиного підходу до вибору параметрів навчання мережі та оптимізації її

параметрів, таких як число нейронів та прошарків. Процес навчання вимагає значних часових та обчислювальних витрат [5].

При обробці інформації графічних форматів (термограм) з метою проведення контролю технічного стану об'єктів акцент робиться не тільки на візуалізацію інформації, але і на визначенні числових характеристик зображень. Тому, в зазначеній сфері використовують математичні середовища, в яких є можливість виразити особливості графічних зображень числами і, відповідно, провести необхідну математичну обробку. Для цієї задачі ідеально підходить математичне середовище *MathCAD*.

МЕТОД АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМ В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

Розподіл температур по поверхні $T(x,y)$ несе інформацію о наявності та типі дефекту.

Засобами *MathCAD* рисунок перетворюємо в числову матрицю, яка має зі значенням від 0 до 255. Фрагмент матриці зображений на рис. 2.

MathCAD дозволяють отримати субматриці трьох складових кольорів:

червоного, зеленого та синього. Вихідна функція двовимірного розподілу температури по поверхні об'єкта контролю $T(x,y)$ представляється термограмою:

$$F(t^\circ) = \sum \sum T(x, y, t^\circ)$$

Значення $F(t^\circ)$ характеризує відносний розмір поверхні об'єкта з даною температурою t° .

...	66	67	68	69	70	71	72	73
37	50	50	50	50	51	53	79	81
38	50	51	51	52	54	79	81	81
39	50	51	51	52	80	80	95	96
40	51	51	53	80	82	95	97	98
41	51	53	80	81	95	97	98	100
42	52	81	83	96	96	98	99	101
43	80	82	95	97	99	100	101	103
44	81	96	98	100	101	103	104	105
45	95	97	98	100	101	104	108	109
46	97	99	101	102	103	109	110	111
47	98	100	102	104	108	110	111	111
48	99	100	102	103	109	110	111	111

Рис. 2. Фрагмент матриці кольорового зображення

Отримана термограма інтегрується в межах $[x_1; x_2]$ $[y_1; y_2]$ для отримання впорядкованого масиву, представленого нижче (табл. 1).

Табл. 1. Перетворення термограми в упорядкований масив

t_1°	t_2°	t_3°	t_4°	...	t_n°
F_1	F_2	F_3	F_4	...	F_n

ОЦІНКА ДЕФЕКТУ ЗА АНАЛІЗОМ ТЕРМОГРАМИ

Аналіз проводиться при порівнянні двох функцій: зразка прийнятого за бездефектний та випробуванім зразком. Потужність теплових процесів в діапазоні температур $[t_1; t_2]$, як об'єкта, так і його фрагментів розраховується за формулою:

$$P = \int_{t_1}^{t_2} F(t^\circ) \cdot t^\circ dt$$

В якості критерію для оцінки потужності використовується коефіцієнт дефектності, який визначається як [6]:

$$K_{\text{деф}} = \frac{P_2 - P_1}{P_1},$$

де:

$$P_1 = \int_0^{\infty} F_1(t^\circ) \cdot t^\circ dt$$

$$P_2 = \int_0^{\infty} F_2(t^\circ) \cdot t^\circ dt$$

Розрахунки інтегралів до чисельних значень проводяться в середовищі *MathCAD*. Оцінка критичності дефекту проводиться по значенню коефіцієнта $K_{\text{деф}}$ відповідно до таблиці. Таблиця критичності дефекту підібрана для аналізу представлена нижче (табл. 2).

Табл. 2. Таблиця критичності дефекту

<i>Оцінка критичності дефекту</i>	<i>Норма</i>	<i>Норма з відхиленнями</i>	<i>Норма зі значними відхиленнями</i>	<i>Брак</i>
$K_{\text{деф}}$	до 1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	більше 1,6

ВИСНОВКИ

В цій роботі було обгрунтовано використання теплового методу для контролю композиційних матеріалів. Було розглянуто термограму зразка з композиційного матеріалу з дефектом типу порожнечі.

Для автоматизації процесу аналізу і оцінки дефектів було запропоновано використання термографічних інформаційних функцій. Були розглянуті методи аналізу термограм з використанням: пакетів MATLAB, MathCAD, Expert MVR-Company та штучних нейронних мереж. Метод аналізу та оцінки було реалізовано засобами математичного середовища MathCAD, оскільки він краще за всіх підходить для реалізації цих задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Меттьюз Ф., Ролінгс Р. Композитні матеріали: Механіка і технологія. Москва: Техносфера, 2004. 408 с.
- [2] Троїцький В.А., Карманов М.Н., Троїцька Н.В. Неруйнівний контроль якості композиційних матеріалів. Технічна діагностика та неруйнівний контроль. 2014. № 3. С. 29-33
- [3] Госсорг Ж. Інфрачервона термографія (Основи, техніка, застосування). Москва: Мир, 1988. 400 с.
- [4] MVR. Аналіз термограмм [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mvr-company.ru/analiz-termogramm/>
- [5] Галаган Р. М. Аналіз методів цифрової обробки термограм / Р. М. Галаган, А. С. Момот. // Вісник НТУУ "КПІ", серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – №55. – С. 110–115.
- [6] Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Перспективи використання спектральних методів // Енергетика Татарстану. 2005. №2. С. 36-40.

Наук. керівник – завідувач кафедри, д.п.н., професор Протасов А.Г.

УДК 004.032.26

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ОХОРОННИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ НА ОСНОВІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. В роботі розглянуто метод побудови автоматизованої підсистеми аналізу даних охоронних тепловізійних систем на базі згорткової нейронної мережі. Розроблено архітектуру мережі та виконано тестування її роботи на реальних даних. Підтверджено високу ефективність використання інтелектуальних технологій в задачах контролю безпеки.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, тепловізори, охоронні системи, глибинне навчання.

ВСТУП

На сьогоднішній день, в світі спостерігається стрімкий розвиток нових технологій. Зокрема, спостерігається тенденція до використання інтелектуальних систем аналізу даних в найрізноманітніших областях. Новітні розробки впроваджуються не лише у галузях промисловості. Одним з найбільш актуальних напрямків є підвищення рівня безпеки населення. Питання контролю та попередження випадків виникнення загрозливих ситуацій в місцях зі значною концентрацією людей є особливо важливим. В основі належного рівня безпеки для життя та здоров'я громадян лежить ефективно та своєчасне виявлення небезпечних або заборонених предметів та достовірність цієї інформації.

Одним з ефективних засобів контролю безпеки є використання систем на основі охоронних тепловізорів. Такі тепловізори дозволяють в максимальному діапазоні робочих температур отримувати чіткі зображення контрольованих осіб навіть на великих відстанях. Для зниження ймовірності неправдивого спрацювання охоронної системи, зображення має бути як можна більш якісним. Окрім того, в питаннях безпеки значну роль відіграє час виявлення та реакції на загрозливу ситуацію. Тому процес аналізу даних охоронних тепловізорів та контролю безпеки в цілому має бути максимально автоматизованим. Найбільш перспективним методом забезпечення виконання наведених вимог є використання глибинного навчання для обробки отриманих за допомогою охоронних тепловізорів термограм [1].

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Розвиток тепловізійних систем контролю безпеки не стоїть на місці. Проте доступ до наукових публікацій за даним напрямом переважно є обмеженим, оскільки розробки безпекових систем відбуваються в режимі підвищеної секретності. В публікації [2] описані основні наукові проблеми та завдання в області розробки охоронних тепловізорів. Зазначається, що покращення технологічного процесу виробництва тепловізійного обладнання та використання сучасних систем цифрової обробки даних у майбутньому призведе до все більш широкого використання таких охоронних систем. В якості методу обробки термограм запропоновано використовувати штучні нейронні мережі.

Авторами роботи [3] розроблене спеціалізоване програмне забезпечення Acor Prolog, яке призначено для реалізації охоронних систем з використанням зображень в інфрачервоному та терагерцовому діапазонах. На даному етапі,

описана в роботі система дозволяє лише отримати вказані зображення та імпортувати їх до програмного середовища для аналізу знімків оператором. З метою пошуку найбільш оптимального методу автоматизації процесу обробки зображень, розробники Actor Prolog надають вільний доступ до об'ємної бази експериментальних зображень. На кожному інфрачервоному та терагерцовому знімку із бази зображені актори, які мають приховані небезпечні предмети. Відкрита колекція зображень може бути використана для формування набору навчальних даних для згорткових нейронних мереж з метою розробки автоматизованої інтелектуальної охоронної системи.

Отже, у розглянутих роботах сформовані основні принципи проектування сучасних систем тепловізійного контролю безпеки. Актуальним невирішеним завданням є автоматизація обробки даних, отриманих за допомогою охоронних тепловізорів. На першому етапі можливе створення систем на основі алгоритмів глибинного навчання, які будуть вирішувати задачу виявлення та класифікації небезпечних предметів у контрольованій особі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є автоматизація аналізу даних, отриманих за допомогою тепловізійної охоронної системи на базі проекту Actor Prolog. Головним завданням є розробка та оцінка ефективності використання алгоритмів на основі глибинного навчання для автоматизованої класифікації експериментальних зображень. На основі досвіду авторів роботи [3], для обробки набору експериментальних даних було розроблено згорткову нейронну мережу. Вхідне зображення за результатами роботи мережі автоматично відносилось до одного із семи класів за типом виявленого небезпечного предмету: автомат, пістолет, граната, ніж, пляшка, металева пластина або безпечний предмет (відсутність небезпечного).

Для створення автоматизованої системи аналізу термограм було використано мову програмування Python, яка містить широкий набір інструментів для аналізу зображень, машинного навчання та візуалізації даних. Розробка нейронної мережі відбувалась за допомогою фреймворку TensorFlow – обчислювальної бібліотека для побудови моделей машинного навчання. В якості бекенду використовувалась бібліотека Keras. Нейронна мережа містила два згорткових та два повнозв'язних прошарки (рис. 1). Також використовувались прошарки підвибірки та дропауту. Вихідний прошарок містить 7 нейронів, що відповідають семи класам виявлених предметів.

Отриману базу експериментальних зображень було поділено на три підмножини, а саме: навчальна (4300 зразків), валідаційна (950 зразків) та тестова (950 зразків) вибірки. Навчальна вибірка використовується власне для навчання мережі; валідаційна вибірка в процесі навчання слугує для підбору гіперпараметрів мережі; тестова вибірка є набором зображень, які використовуються для оцінки якості роботи мережі після закінчення навчання.

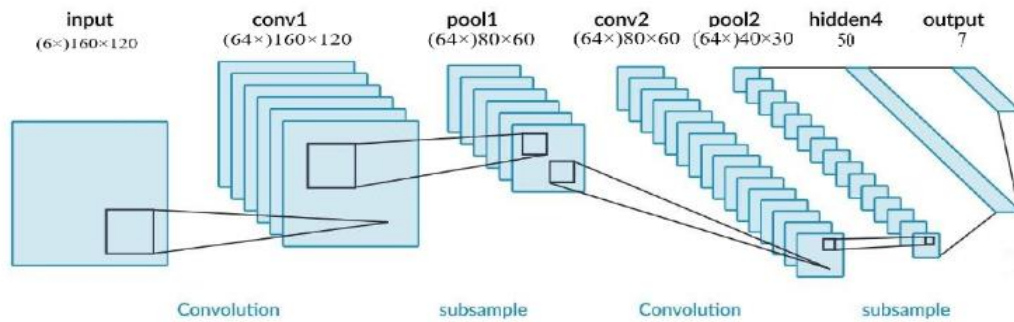


Рис.1. Архітектура нейронної мережі

В результаті навчання на початковому наборі даних, нейронна мережа показала низьку ефективність. Це пояснюється одноманітним характером навчальних зображень. Для покращення результатів навчання була використана аугментація даних [4]. Аугментація забезпечувалась вбудованим генератором зображень Tensorflow, за допомогою якого кожне навчальне зображення випадковим чином модифікувалось: віддзеркалювалось, оберталось на певний кут, змінювало розмір, контраст, яскравість або ніяк не змінювалось. Завдяки такому підходу, вдалося досягти штучного збільшення репрезентативності набору даних для навчання нейронної мережі та підвищити достовірність класифікації.

В таблиці 1 представлено результати роботи нейронної мережі на навчальній, валідаційній та тестовій вибірках без модифікації навчального набору даних та із застосуванням аугментації. Використовувалось 100 епох навчання. Графік навчання розробленої нейронної мережі показано на рис. 2.

Таблиця 1. Результати навчання нейронної мережі

<i>Аугментація даних</i>	<i>Точність класифікації на навчальній вибірці, %</i>	<i>Точність класифікації на валідаційній вибірці, %</i>	<i>Точність класифікації на тестовій вибірці, %</i>
Без аугментації	85,54	71,83	63,17
З аугментацією	98,69	97,02	99,37

Як видно з таблиці 1, навчена нейронна мережа забезпечує достовірність виявлення і класифікації небезпечних предметів на рівні до 99,37%. Однак, в реальних умовах головним недоліком даної системи є велика залежність від характеру одягу людини. Наявність багат шарового або теплового одягу (наприклад, зимової куртки) на людині призводить до погіршення можливостей виявлення небезпечного предмету на термограмах. Для вирішення цієї проблеми пропонується проводити аналіз зображень не лише у інфрачервоному, а й у терагерцовому діапазоні. В той же час, використання такого підходу на сьогоднішній день ускладнено як високою вартістю охоронних тепловізорів, так і складністю отримання терагерцових зображень та обмеженим радіусом ефективного використання терагерцового випромінювання.

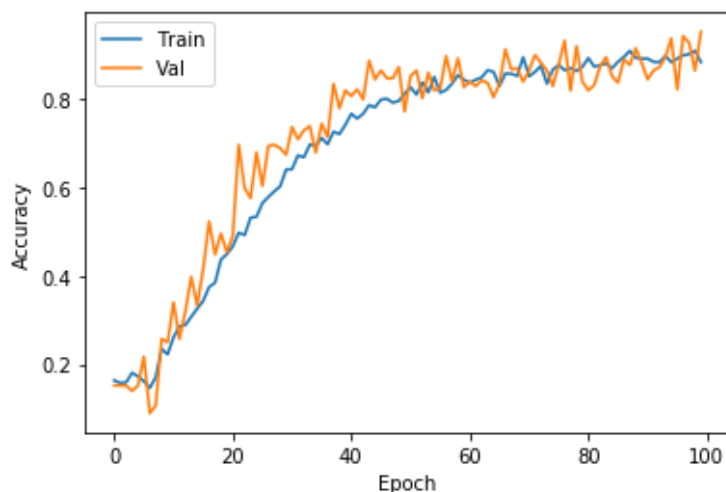


Рисунок 2. Графік навчання нейронної мережі

ВИСНОВКИ

В даному дослідженні розроблено алгоритми автоматизованого аналізу інфрачервоних зображень з метою визначення наявності у особи прихованих небезпечних предметів та класифікації їх за типом. Для вирішення поставленої задачі використано згорткові нейронні мережі. В ході аналізу експериментальних даних із відкритих джерел встановлено, що з метою покращення результатів роботи нейронної мережі необхідно використовувати штучне збільшення репрезентативності даних (аугментацію). Такий підхід дозволив автоматизувати процес аналізу даних охоронних тепловізорів та реалізувати автоматичну класифікацію виявлених заборонених предметів за семи класами з достовірністю до 99,37% на тестовій вибірці. Проаналізовано та запропоновано шляхи вдосконалення системи за допомогою використання терагерцового випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Galagan R. M. Analysis of application of neural networks to improve the reliability of active thermal NDT / R. M. Galagan, A. S. Momot. // KPI Science News. – 2019. – №1. – pp. 7–14.
- [2] Складчиков, І. О. Використання нейронних мереж в тепловізійних системах контролю безпеки / І. О. Складчиков // Збірник праць XV Всеукраїнської н-п. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні”, 10-11 грудня 2019 р. – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 286–289
- [3] Морозов А.А. Анализ видеоизображений в реальном времени средствами языка Акторный Пролог/ А.А. Морозов, О.С. Сушкова // Компьютерная оптика. - 2016. – № 6. – с. 947-957
- [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.

Наук. керівник – ас. Момот А.С.

УДК 681.586

Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ МЕМС ДАТЧИКІВ В COMSOL MULTIPHYSICS

Анотація. В статті розглянуто основні проблеми розроблення та виробництва сучасних МЕМС пристроїв. Виконано аналіз мікроелектромеханічних систем на базі модулів МЕМС. Проаналізовано можливості використання моделювання МЕМС датчиків в середовищі COMSOL Multiphysics з метою досягнення максимальної точності контролю та ефективності розрахунку чисельної моделі датчиків.

Ключові слова: МЕМС, моделювання, датчики, COMSOL Multiphysics.

ВСТУП

На сьогодні одним з найбільш інтенсивних і динамічних напрямків світової індустрії, що розвиваються, стала мікросистемна техніка. Її стрімкий розвиток ґрунтується на застосуванні удосконалених мініатюрних датчиків інерційної і зовнішньої інформації, мікродвигунів і перетворювачів. Застосування нових технологій мікроелектромеханічних систем (МЕМС) дозволило зменшити геометричні характеристики датчиків, їх енергоспоживання та вартість. Все це розширило сферу застосування мікросистемної техніки в різних галузях та сферах діяльності.

З огляду на широкі можливості МЕМС пристроїв, вирішення проблем проектування та виробництва таких пристроїв є актуальною задачею для прецизійного мікроелектронного приладобудування. Така задача може бути вирішена шляхом застосування нових технологій, технічних рішень та методик проектування на основі нових математичних моделей та програмних продуктів. Досягнення високої якості МЕМС пристроїв ставить перед розробниками комплекс таких актуальних завдань: визначення фізичних властивостей нових конструкційних матеріалів, зменшення похибок виготовлення чутливих елементів, зменшення похибки вимірювання датчиків, розвиток і поліпшення вітчизняної технології МЕМС, скорочення термінів проектування і виготовлення прототипів нових МЕМС, комплексна перевірка проектів до початку фактичного виробництва за допомогою сучасних електронних засобів [1].

Найбільш поширеними на сьогодні є інерційні датчики (датчики кутової швидкості, гіроскопи, інклінометри і акселерометри). Це пов'язано з тим, що висока необхідністю виявлення руху та керування ним у багатьох галузях промисловості. Так в оборонній та аерокосмічній галузях використання інерційних вимірювальних пристроїв (ІВП) та інших систем, в основі яких гіроскопи, поширене для завдань навігації, управління польотом та інш. Сучасний розвиток нових матеріалів, методів та засобів передачі та опрацювання інформації відкрив нові сфери застосування інерційних систем, такі як цивільна промисловість, медицина, транспорт, авіабудування тощо.

МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Процеси проектування і моделювання мікроелектромеханічних систем (MEMS) є дуже важливими і відповідальними. При конструюванні резонаторів, гіроскопів, акселерометрів та приводів з малими лінійними розмірами необхідно враховувати вплив на їх роботу багатьох фізичних явищ. Середовище COMSOL

Multiphysics ідеально підходить для моделювання мікроелектромеханічних систем через наявність в ньому модуля MEMS (Мікроелектромеханічні системи) з відповідними засобами моделювання. В даному середовищі є інтерфейси для різних пов'язаних фізичних явищ, включаючи взаємодію електромагнітних полів з об'єктами, вплив тепла та взаємодія рідини з ними. До такої моделі можна включати різні методики демпфування: демпфування в тонких газових плівках, анізотропні коефіцієнти втрат в твердих тілах і матеріалах з п'єзоефектом, термопружне демпфування. При моделюванні пружних коливань та хвиль ідеально узгоджені шари забезпечують відповідну сучасним вимогам ступінь поглинання вихідної енергії пружної взаємодії [2, 3].

Інструменти середовища моделювання п'єзоелектричних і п'єзорезистивних ефектів дозволяють працювати з будь-якими комбінаціями композитних п'єзопружних-діелектричних матеріалів. У модулі MEMS присутні засоби аналізу стаціонарних і перехідних режимів, аналізу власних частот, параметричного аналізу, аналізу квазістатичних і частотних характеристик. Можна визначати зосереджені параметри ємності, повного опору і повної провідності, а також моделювати підключення до зовнішніх електричних ланцюгів з використанням списків SPICE. Модуль MEMS, розроблений на основі базових можливостей COMSOL Multiphysics, можна використовувати для оцінювання впливу практично всіх явищ, пов'язаних з механікою в мікромасштабі.

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНІ ПРИВОДИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Відомо, що при зменшенні розмірів пристрою вплив електростатичних сил посилюється і врахування цього в процесі моделювання MEMS пристроїв є дуже важливим. Типове застосування модуля MEMS - це мікроелектромеханічні резонатори з електростатичним порушенням, що працюють за постійної напруги зміщення. У модулі MEMS є спеціалізований інтерфейс для електромеханіки, який у випадку з резонаторами MEMS використовується для розрахунку зсуву резонансної частоти при зміні постійної напруги зміщення. При цьому резонансна частота зменшується при підвищенні прикладеної напруги через зменшення жорсткості електромеханічної системи. З огляду на малі розміри пристрою, резонансна частота знаходиться в мегагерцовому діапазоні навіть для простої згинальної моди коливань. Крім того, збільшення ролі електромагнітних сил при зменшенні розмірів дозволяє створити ефективний ємнісний привід, який неможливо отримати при звичайних розмірах приводу. Крім того, в модулі MEMS присутній інтерфейс Electromechanics (Електромеханіка) для врахування впливу ізотропної електрострикції [2].

ТЕРМІЧНІ ПРИВОДИ І ТЕПЛОВІ НАПРУГИ

При зменшенні розмірів зростає роль теплових сил в порівнянні з силами інерції. Це забезпечує достатньо високу швидкодію мікроскопічних термоприводів для застосування в мікромасштабі. Модуль MEMS можна використовувати для моделювання джоулевого нагріву і виникнення теплових напружень, включаючи деталі розподілу втрат на опір. Теплові ефекти також грають важливу роль при виробництві багатьох промислових

мікроелектромеханічних систем, оскільки термічні напруги в обложених тонких плівках грають велику роль в різних додатках. У модулі MEMS є спеціальні фізичні інтерфейси для розрахунку теплових напружень з розширеними можливостями обробки і візуалізації вихідних даних, включаючи поля напружень і деформацій, основні напруги і деформації, діючі значення напруг, поля зміщень і багато іншого.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДАТЧИКА ТИСКУ ШЛЯХОМ ЙОГО МОДЕЛЮВАННЯ

За допомогою розрахунку розподілу швидкості і тиску для різних рівнів граничних напружень, які діють на датчик тиску, існує можливість аналізу здатності датчика виявляти зміни в навколишньому середовищі. Це покладено в основу моделювання з урахуванням зростання граничних напружень, яке супроводжується наближенням об'єкта до датчика. Ця зміна в граничних напруженнях також змінює швидкість і тиск датчика [3].

За результатами моделювання, на рисунку 1 видно, що датчик фіксує зміни тиску при зростанні граничних напружень.

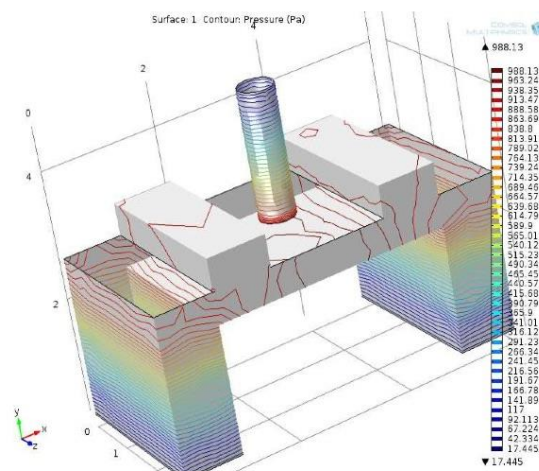


Рисунок 1. Графічне відображення розподілу тиску в MEMS-датчику тиску.

Чутливість такої моделі визначається, як зміна опору тензOMETричного датчика на одиницю зміни механічної напруги. Аналіз результатів моделювання показав збільшення опору, який виникає при зміні тиску, що свідчить, що змодельований датчик є доволі чутливим для виявлення перепаду тиску в 5 Н/м².

В цілому, подібний пасивний датчик тиску не тільки досить чутливий, щоб добре виконувати свої функції, але, до того ж, він енергетично вигідний, безпечний та ізольований. Змодельована конструкція є хорошою енергозберігаючою альтернативою для застосування в процесі підводних вимірюваннях тиску.

Таким чином, інтерфейси різних фізичних процесів, таких як взаємодія рідини з різними об'єктами, п'єзорезистивних ефектів і моделі гіперпружних матеріалів, доступні в програмному забезпеченні COMSOL, надають можливість безпосереднього моделювання датчиків такого роду для різних сфер застосування.

ВИСНОВКИ

МЕМС технології є дуже затребуваними в усьому світі, та використовуються в багатьох сферах: індустріальній, громадянській, військово-морській, аерокосмічній і оборонній. Але зарубіжна МЕМС - продукція, яка доступна на вітчизняному ринку, в більшості випадків не відповідає технічним вимогам замовників (через меншу, ніж потрібно точність, діапазон, стабільність вимірювань і т.д.).

В даній роботі приведено результати аналізу моделі МЕМС пристрою, побудованої за принципами, викладеними в [4]. Для того, щоб виконувати свою роботу по забезпеченню взаємодії людини з інтернетом речей, мікроелектромеханічні системи повинні функціонувати так, як очікується, і тоді, коли очікується. Розробники і виробники повинні бути впевнені, що їх датчики і МЕМС-пристрої забезпечують потрібні робочі характеристики, незважаючи на їхні маленькі розміри, складний пристрій і жорсткі запити ринку, що вимагає нових та інноваційних розробок в найкоротші терміни. Саме для цього зручно використовувати середовище COMSOL, яке містить зручний набір орієнтованих на МЕМС фізичних інтерфейсів, які використовуються для вирішення електричних, механічних, теплових та інших задач. Це дозволить: використовувати великі технічні бібліотеки моделей електромеханічних, оптичних, мікрорідинних, СВЧ і магнітомеханічних компонентів, точність яких перевірена лабораторними дослідженнями; скоротити до мінімуму час виготовлення прототипів МЕМС-виробів (від вихідного ТЗ до готового пристрою); істотно знизити вартість розробки і час виходу виробу на ринок; отримати попереднє уявлення про типову технологічність схеми виробництва того або іншого МЕМС- виробу в залежності від вихідного ТЗ; здійснювати роботу в наскрізній системі проектування МЕМС-пристроїв (з функціями моделювання), що забезпечує широкий доступ до МЕМС технологій оптимальним за вартістю і часом способом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Урманов Д. М. КОНЦЕПЦИЯ по развитию производства МЭМС-изделий в России на период до 2017г. [Електронний ресурс] / Д. М. Урманов // Русская Ассоциация МЭМС – Режим доступу до ресурсу: http://www.microsystems.ru/news/news_155/concept.pdf.
- [2] Анализируйте микроэлектро- механические системы с помощью модуля МЭМС [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/mems-module>.
- [3] Янкин С. Как моделировать МЭМС-датчики в COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / Сергей Янкин – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/video/modeling-mems-sensors-in-comsol-webinar-ru>.
- [4] Fairclough С. Моделирование МЭМС-Датчика Давления Заимствованного у Пещерных Рыб [Електронний ресурс] / Caty Fairclough. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/blogs/simulating-a-mems-based-pressure-sensor-inspired-by-a-cave-fish/>.

Наук. керівник – ст.викладач Лисенко Ю.Ю.

УДК 004.932

Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп, к.т.н., О. В. Муравйов
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. Робота присвячена дослідженню застосування мультиспектрального комплексування зображень видимої та інфрачервоної областей спектру для підвищення інформативності та завадостійкості результатів вимірів у тепловому неруйнівному контролі. Виконано аналіз таких методів з метою визначення доцільності їх використання в оптичних методах неруйнівного контролю. Розглянуто переваги та недоліки використання мультиспектрального комплексування зображень у тепловому неруйнівному контролі.

Ключові слова: комплексування, мультиспектральні зображення, теплові методи, неруйнівний контроль, оптичний контроль.

ВСТУП

Тепловий метод займає визначне місце серед методів неруйнівного контролю. Цей метод заснований на реєстрації теплового випромінювання – оптичних хвиль у інфрачервоному спектрі. На сьогодні тепловий контроль широко застосовується в будівництві, промисловості, теплоенергетиці, аерофотозйомці. Серед приладів теплового неруйнівного контролю найбільш популярними є тепловізори. Тепловізор – прилад для спостереження розподілу теплових полів. Результатом роботи пристрою є формування термограми, відображення розподілу температури як колірного поля, де певній температурі відповідає певний колір або відтінок. Основними перевагами використання теплового неруйнівного контролю є: безконтактність, швидкодія, можливість роботи з об'єктом контролю з будь-якого матеріалу, широкий спектр інформації, можливість комбінування з іншими методами. Головним недоліком є вплив зовнішніх перешкод на результат контролю.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для зменшення впливу зовнішніх перешкод на результат теплового контролю доцільно використовувати комплексування зображень (в англійській літературі – image fusion) – поєднання двох або більшої кількості зображень з метою підвищення інформативності результату.

Комплексування зображень в залежності від вхідних даних можна поділити на [1]:

- комплексування однотипних зображень, наприклад, у видимому спектрі довжин хвиль, в один момент часу та з різних точок спостереження (англ. multiview image fusion);
- комплексування різнотипних зображень, наприклад, у видимому й інфрачервоному спектрах (англ. multimodal image fusion);
- комплексування зображень, отриманих у різний час, наприклад, для виявлення змін (англ. multitemporal image fusion);
- комплексування зображень з різними фокусними відстанями об'єктиву (англ. multifocus image fusion);
- комплексування зображень однієї сцени з метою зменшення шумів та спотворень (англ. fusion for image restoration);

- комплексування з метою отримання більшої роздільної здатності результуючого зображення (англ. super resolution image fusion).

Методи комплексування можна поділити на 3 групи (рис. 1): комплексування на рівні пікселів; комплексування на рівні ознак; комплектація на рівні рішень.

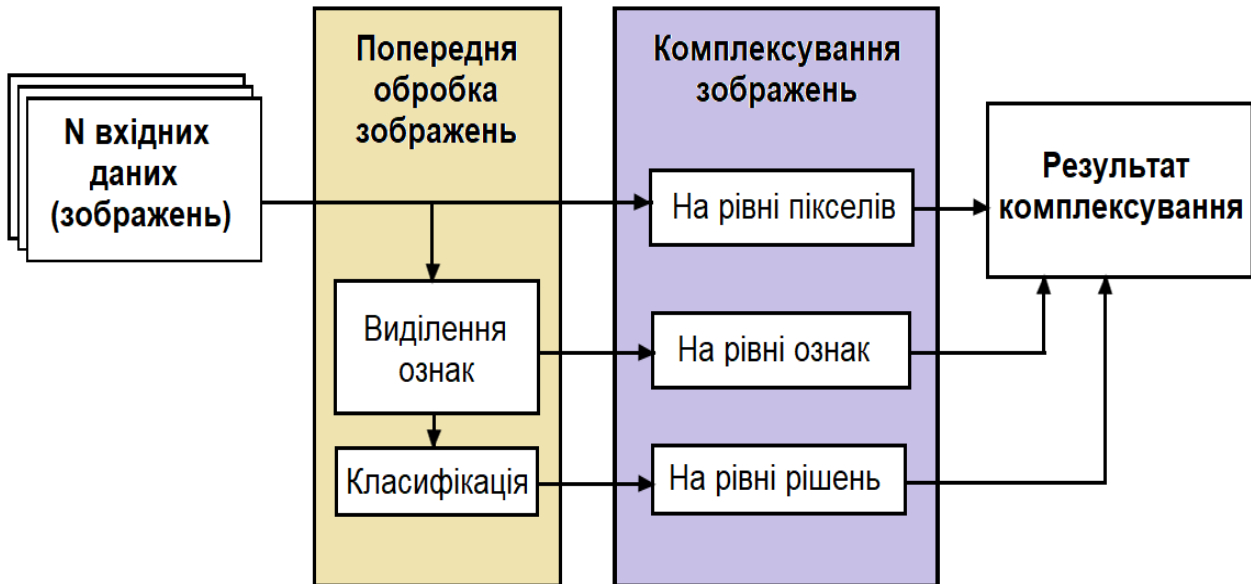


Рис. 1. Схема комплексування зображень для трьох груп: комплексування на рівні пікселів, комплексування на рівні ознак, комплексування на рівні рішень

Найпоширенішими є методи комплексування на рівні пікселів, адже вони є найпростішими. Результуюче зображення в даному випадку отримується шляхом виконання математичних операцій над пікселями вхідних зображень. Наприклад, метод максимумів (рис. 2), робота якого полягає в виділенні на результуючому зображенні пікселів максимальної інтенсивності з вхідних зображень [2].

При комплексуванні на рівні ознак об'єктами для операцій є вже певні характерні області. Виділення таких областей виконується незалежно в кожному вхідному зображенні. Методи з цієї групи розповсюджені менше, адже їх алгоритми досить ресурсовитратні та не існує універсального алгоритму сегментації та розпізнавання.

Найменш поширеною групою є комплексування на рівні рішень, що спричинено абстрактністю результату. Результатом такого методу є вже не комбіноване зображення, а деякий більш інформативний опис реальної картини.

На другому результаті комплексування мультиспектральних зображень (рис. 2) добре видно головну проблему комплексування – просторову неузгодженість. Тобто без просторової узгодженості неможливо отримати максимальну вигоду від піксельної комплектації. Для вирішення цієї проблеми використовують прив'язку зображень – приведення до однієї системи координат множини зображень однієї сцени. Для цього необхідно визначити ключові точки всіх вхідних зображень. Такі точки повинні бути образами однієї і тієї ж ділянки

сцени. Найважливішим параметром їх суміщення є тип характерних ознак зображення, на базі яких визначаються ключові точки.

Оскільки під час комплексування відбувається синтез нового зображення, то використовувати більшість стандартних метрик [3] для оцінювання методів обробки зображень неможна, адже вони використовують еталонні зображення, які в даному випадку відсутні. Тому доцільно використання безеталонних оцінок. У роботі [4] проведено аналіз таких оцінок та надані рекомендації використовувати при мультиспектральному комплексуванні метрику, запропоновану Ксайдісом і Петровічем (С. S. Xydeas, V. Petrović) [5], яка ґрунтується на ефективності перенесення градієнта з вхідних зображень на комплексоване та метрику, запропоновану Цвеїчем та Лозою [6], що працює за принципом блочного порівняння вхідних зображень з результатом комплексування для оцінки ефективності перенесення інформації на результат комплексування вхідних зображень.

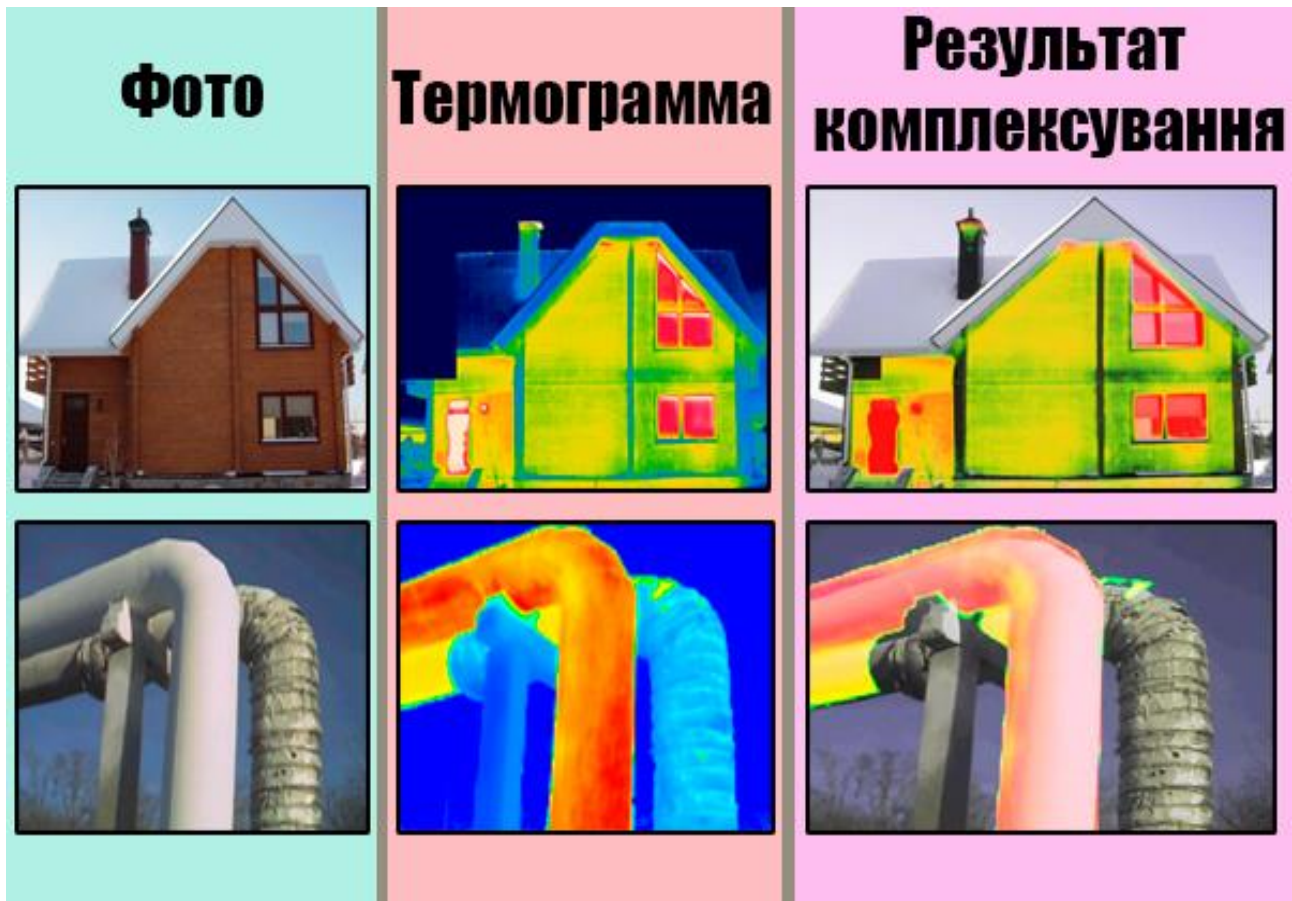


Рис. 2. Результат комплексування зображення у видимому та інфрачервоному спектрах методом максимумів

На основі проведених в Державному науково-дослідному інституті авіаційних систем експериментів по комплексуванню зображень на рівні векторів достовірності виявилось можливим зробити наступні висновки [7]:

- комплексування зображень завжди забезпечує більш високу вірогідність розпізнавання, ніж кожен з каналів окремо. При відмові одного з каналів рішення практично приймається по каналу, що залишився діючим;

- при комплексуванні за методом Демпстера-Шафера більша вага надається показаннями каналу з меншим коефіцієнтом невпевненості;
- при появі перешкод високої інтенсивності комплексування на рівні векторів достовірності дозволяє прийняти рішення навіть тоді, коли ні по одному з каналів окремо його прийняти неможливо.

ВИСНОВКИ

У методів комплексування є певна кількість недоліків, таких як необхідність використання прив'язки зображень та алгоритмів великої складності. Однак, комплексування зображень, без сумнівів, є неперевершеним механізмом для покращення інформативності та зменшення впливу завад при тепловому неруйнівному контролі. Так як більшість сучасних термограм і досі обробляється оператором, цікавими для розвитку стають технології одержання кольорового комплексного зображення, що є більш адаптованими для психофізичного сприйняття людиною в порівнянні з комплексуванням у градаціях сірого.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Гривачевський А. П. Підвищення інформативності мультиспектральних зображень шляхом мультимодального комплексування / А. П. Гривачевський, І. Н. Прудіус // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування.* – 2018. – № 73. – С. 40-49.
- [2] Сторожик Д. В. Комплексування зображень, як спосіб покращення якості бінарної сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна: збірник праць конференції.* – 2019. – С. 290-293.
- [3] Protasov A. Reconstruction of the thermal field image from measurements in separate points / A. Protasov // *5th IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2017; National Aviation University (NAU) Kyiv; Ukraine.* – 2017. – С. 89-92.
- [4] Liu Z. Objective assessment of multiresolution image fusion algorithms for context enhancement in night vision: a comparative study / Z. Liu, E. Blasch, Z. Xue, J. Zhao, R. Laganier, W. Wu // *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence.* – Vol. 34, № 1. – 2012. – P. 94-109.
- [5] Xydeas C. S. Objective Image Fusion Performance Measure / C. S. Xydeas, V. Petrović // *Electronics Letters.* – Vol. 36, № 4. – 2000. – P. 308-309
- [6] Svejic N. A Similarity Metric for Assessment of Image Fusion Algorithms / N. Svejic, A. Loza, D. Bul, N. Canagarajah // *Int'l J. Signal Processing.* – Vol. 2, № 3. – 2005. – P. 178-182.
- [7] Визильтер Ю. В. Проблемы Технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // *Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010: Труды научно-технической конференции-семинара.* – М.: 2011. – С. 11-44.

УДК 004.932

Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Анотація. Робота присвячена дослідженню застосування мультиспектрального комплексування зображень у медичній томографії для підвищення інформативності та завадостійкості результатів вимірювань. Виконано аналіз таких методів з метою визначення доцільності їх використання в методах неруйнівного контролю. Розглянуто переваги та недоліки використання мультиспектрального комплексування зображень у ультразвуковому неруйнівному контролі.

Ключові слова: комплексування, мультиспектральні зображення, неруйнівний контроль, ультразвуковий неруйнівний контроль, ультразвукова томографія, комп'ютерна томографія.

ВСТУП

Техніка комплексування зображень – це об'єднання даних з зображень для більш інформативного візуального сприйняття та підвищення ефективності подальшої комп'ютерної обробки цих даних [1]. В останній час ця процедура отримала широке розповсюдження. Отриманні результати дослідження [2], проведеного в Державному науково-дослідному інституті авіаційних систем, говорять, що: комплексування зображень завжди збільшує вірогідність розпізнавання; при появі перешкод високої інтенсивності, комплексоване зображення дозволяє прийняти рішення, навіть коли неможливо прийняти рішення по жодному окремому каналу. Термін “об'єднання” традиційно розуміється, як накладення зображень одне на одне, однак також класифікують методи, при яких зображення можуть бути розділені після попередньої реєстрації ядра [3].

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі аналізується можливість комплексування набору даних у реальному часі – ультразвукова томографія та даних, що попередньо отримані з комп'ютерного томографа [4]. Дане комплексування зображень дає змогу об'єднати найкращі характеристики обох методів, спостереження у динаміці під час ультразвукової томографії та якість зображення внутрішньої будови пацієнта, що отримане під час комп'ютерної томографії. На рис. 1 зображено результат комплексування без поєднання зображень, зелена область на комп'ютерній томограмі відповідає області ультразвукової томограми.

Для комплексування мультиспектральних даних, що отримані в різний час, необхідно визначити просторове ядро. Тобто необхідно виконати прив'язку зображень – приведення до однієї системи координат множини зображень однієї сцени. Одним із способів отримання такого ядра є визначення однакових ключових точок зображення для усіх вхідних зображень та побудова матриці перетворення. Маючи інформацію про взаємне розташування подібних образів на зображеннях, оцінюється ступінь неузгодженості зображень і одне з них трансформується використовуючи афінне геометричне перетворення таким чином, щоб мінімізувати дане неузгодження. Афінне геометричне перетворення

зберігає прямі лінії та відношення між ними, отже всі точки, що лежали на прямій, продовжують лежати на прямій після перетворення [5].

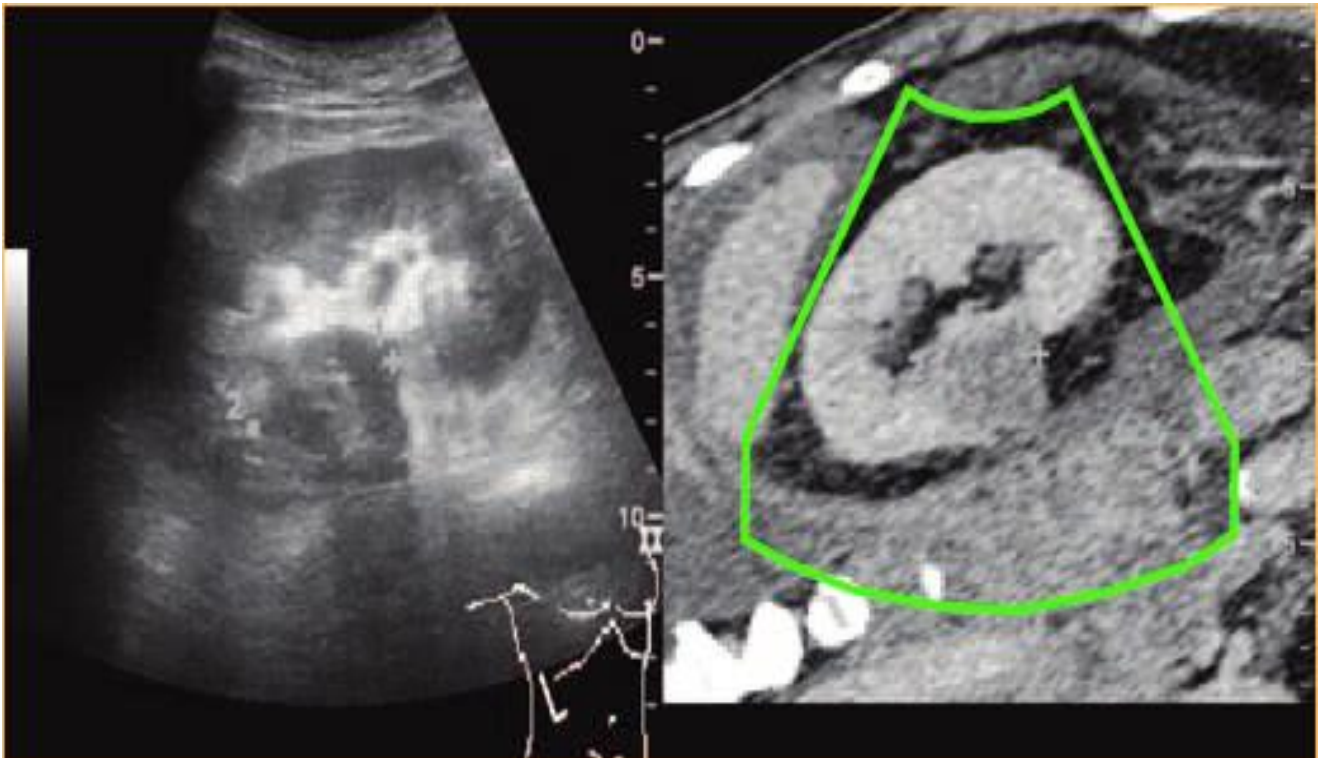


Рис. 1. Результат комплексування ультразвукової (ліворуч) та комп'ютерної (праворуч) томограм

На ринку медичних томографів є декілька систем, що підтримують комплексування даних з комп'ютерного томографа або магнітно-резонансного томографа. В таких системах данні систем інших типів передаються завчасно, а комплексування виконується динамічно під час ультразвукового обстеження пацієнта. Ці томографи підтримують комплексування, як і з поєднанням зображень, так і без, лікар може сам обирати режими в залежності від задачі [6].

В підтвердження ефективності даного підходу можна привести декілька досліджень. В дослідженні [7] використовувалось комплексування ультразвукової та комп'ютерної томографії для характеристики ураження печінки. Це дослідження показало, що даний метод дозволяє краще виявляти та класифікувати місцеві ураження печінки. В роботі [8] оцінювали ефективність такого комплексування для ін'єкції в крижово-клубовий суглоб, дослідження проводилося на трупах та пацієнтах, що страждали від крижово-клубового захворювання. Автори отримали високу точність та переконалися у доцільності використання комплексування.

ВИСНОВКИ

Комплексування мультиспектральних зображень є технологією, що швидко розвивається. Вона була випробувана багатьма областями, включаючи медичну томографію. Ефективність комплексування даних, отриманих від ультразвукового та комп'ютерного томографа, підтверджена клінічними дослідженнями на тваринах та людях. У комплексуванні є деяка кількість

недоліків, серед яких необхідність використання прив'язки зображень та алгоритмів великої складності. Але, навіть враховуючи ці недоліки, комплексування мультиспектральних зображень у медичній томографії дає суттєвий приріст інформативності, особливо під час хірургічного втручання у організм пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Сторожик Д. В. Комплексування зображень, як спосіб покращення якості бінарної сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна: збірник праць конференції.* – 2019. – С. 290-293.
- [2] Визильтер Ю. В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // *Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010: Труды научно-технической конференции-семинара.* – М.: 2011. – С. 11-44.
- [3] Yamada A. Magnetic resonance and ultrasound image-guided navigation system using a needle manipulator / A. Yamada, T. Junichi, S. Naka та ін. // *Medical Physics, № 36.* – 2019. – С. 850-858.
- [4] Yamamoto S. Sentinel Lymph Node Detection in Breast Cancer Patients by Real-Time Virtual Sonography Constructed With Three-Dimensional Computed Tomography-Lymphography / Yamamoto, S., Maeda, N., Tamesa, M., Nagashima, Y., Suga, K., & Oka // *The breast journal, 16(1).* – 2010. – С. 4-8.
- [5] Гривачевський А. П. Суміщення зображень сформованих сенсорами різної фізичної природи в процесі комплексування сигналів в мультиспектральних системах моніторингу / А.П. Гривачевський, С.Є. Фабіровський // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”.* –2017. – No 874: Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 73-80.
- [6] Ewertzen C. Real-time image fusion involving diagnostic ultrasound / Ewertzen, C., Săftoiu, A., Gruionu, L. G., Karstrup, S., & Nielsen, M. B. // *American Journal of Roentgenology, 200(3).* –2013. – С. 249-255.
- [7] Lee M. W. Image fusion of real-time ultrasonography with computed tomography: factors affecting the registration error and motion of focal hepatic lesions / Lee M. W., Park H. J., Kang T. W. та ін. // *Ultrasound in medicine & biology, 43(9)* –2017. – С. 2024-2032.
- [8] Bendtsen T. F. The suprasacral parallel shift vs lumbar plexus blockade with ultrasound guidance in healthy volunteers—a randomised controlled trial. / Bendtsen T. F., Pedersen E. M., Haroutounian S. та ін. // *Anaesthesia, 69(11).* –2017. – С. 1227-1240.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 620.19

Тасаж В.С., студент гр. ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБРОБКА ДАНИХ, ЩО ОТРИМАНІ У РЕЗУЛЬТАТІ КОНТРОЛЮ МЕТОДОМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

Анотація. Стаття присвячена огляду методів обробки даних, що отримані у результаті контролю методом вільних коливань. Показані різні методи обробки сигналів та описані технічні труднощі, пов'язані з можливістю модифікації методу.

Ключові слова: обробка сигналу, метод вільних коливань, спектр

ВСТУП

У даний час в області дефектоскопії застосовується велика кількість діагностичних приладів, які використовують різні фізичні принципи виявлення дефектів. Вибір того чи іншого способу обумовлений здебільшого фізичними властивостями об'єкта контролю. Велике поширення набули методи акустичного контролю, в області використання яких і будемо розглядати обробку даних на прикладі одного із найвідоміших методів - методу вільних коливань (МВК).

МЕХАНІЗМИ ОБРОБКИ ДАНИХ

Тривалий час МВК широко не розвивався і використовувався в основному в різного роду аналізаторах дефектів шаруватих середовищ, тобто працював у вузькій області застосування. Це пояснюється тим фактом, що існуючі на той момент перетворювачі акустичного сигналу, аналогові спектральні аналізатори та індикатори результатів вимірювань не забезпечували необхідної достовірності вимірювань.

Фізика процесів, що відбувається при ударі і подальшому поширенні акустичних коливань, виявилася набагато складніше, ніж вважалось раніше. Старі конструктивні рішення і методи обробки сигналів не дозволяли виділити стійку інформативну складову у складному сигналі, отриманому при перетворенні загасаючого акустичного коливання. І тільки в наш час, з розвитком сучасних технологій у всіх напрямках, з'явилася можливість вивести цей метод на новий рівень.

Суть методу вільних коливань полягає в наступному. Якщо тверде тіло збудити різким ударом, то в ньому виникнуть вільні коливання. При наявності дефекту параметри коливальної системи змінюються, що веде до зміни амплітуди, частоти власних коливань і декременту загасання.

Збуджений акустичний сигнал, що має затухаючий характер і складається з безлічі гармонік, записується мікрофоном та перетворюється в цифровий код за допомогою аналогово-цифрового перетворювача.

Для подальшої роботи застосовують такі основні механізми обробки даних:

- Згладжування сигналу. Суть даної операції зводиться до зменшення раптових стрибків у сигналі, викликаних сторонніми шумами або іншими факторами. Застосовується як для "сирого" сигналу, так і для частотного спектра.

- Фільтрація шумів. Цей метод служить для ослаблення випадкової складової (шуму) і виділення корисного сигналу. Для оцінки корисної складової

сигналу застосовуються параметричні і непараметричні методи. До параметричних методів відноситься апроксимація корисної складової сигналу.

- Дискретне або швидке перетворення Фур'є (ДПФ).
- Статистична обробка результатів вимірювань, яка враховує статистичний розподіл частот по всіх вибірках, беручи до уваги оцінюваний рівень потужності кожної частотної складової в заданому діапазоні.

Оцінювання спектра дискретизованих детермінованих і випадкових процесів зазвичай виконується за допомогою процедур, що використовують перетворення Фур'є. У результаті його застосування відбувається розкладання сигналу (рис. 1) на гармонійні складові, такі як частота і амплітуда, тобто отримуємо спектр вихідного сигналу.

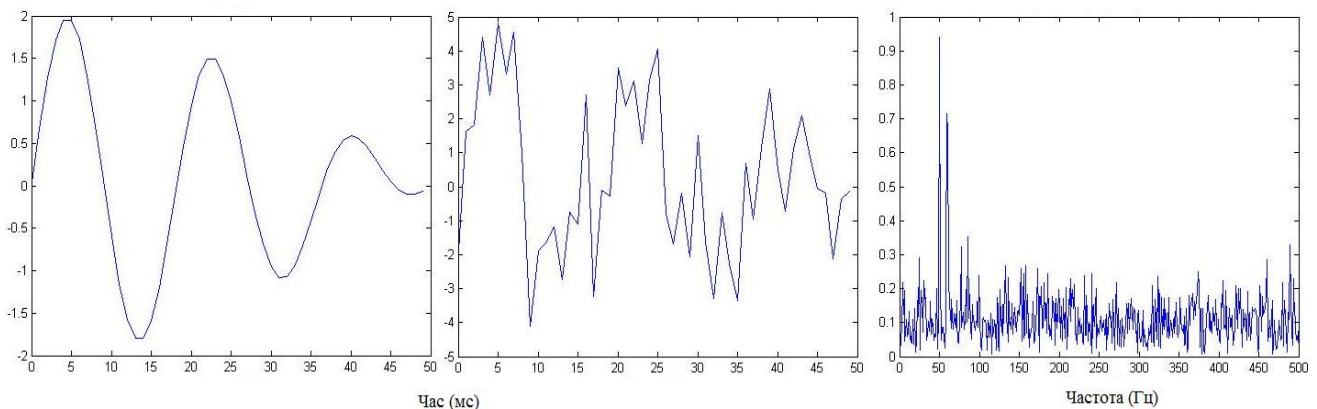


Рис 1. На рисунку зображений чистий сигнал, його зашумлена версія та графік частотного спектра амплітуд. Визначити частотні складові сигналу при такому шумі дозволяє перетворення Фур'є.

Найчастіше, перетворення Фур'є застосовують до безперервних функцій дійсного аргументу, результатом якого є безперервна функція частоти. Однак на практиці доводиться працювати з дискретним сигналом. Для побудови спектра дискретної функції застосовується дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), яке задається формулою:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n [\cos(\frac{2\pi kn}{N}) - i \sin(\frac{2\pi kn}{N})], k = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

де:

- N - кількість вимірювань за період значень сигналу, а також кількість компонентів розкладання;
- $x_n, n = 0, \dots, N-1$, - виміряні значення сигналу;
- $X_k, k = 0, \dots, N-1$, - N комплексних амплітуд синусоїдальних сигналів, що складають вихідний сигнал;
- k - індекс частоти.

З останнього видно, що перетворення розкладає сигнал на синусоїдальні складові (які називаються гармоніками) з частотами від N коливань за період до одного коливання за період.

Для побудови спектрів, візуалізації графіків та реалізації нейронних мереж (рис. 2) для визначення наявності дефектів в об'єкті контролю (ОК) можна застосовувати програмне середовище LabVIEW. В даному випадку штучна нейронна мережа виступає в якості класифікатора.

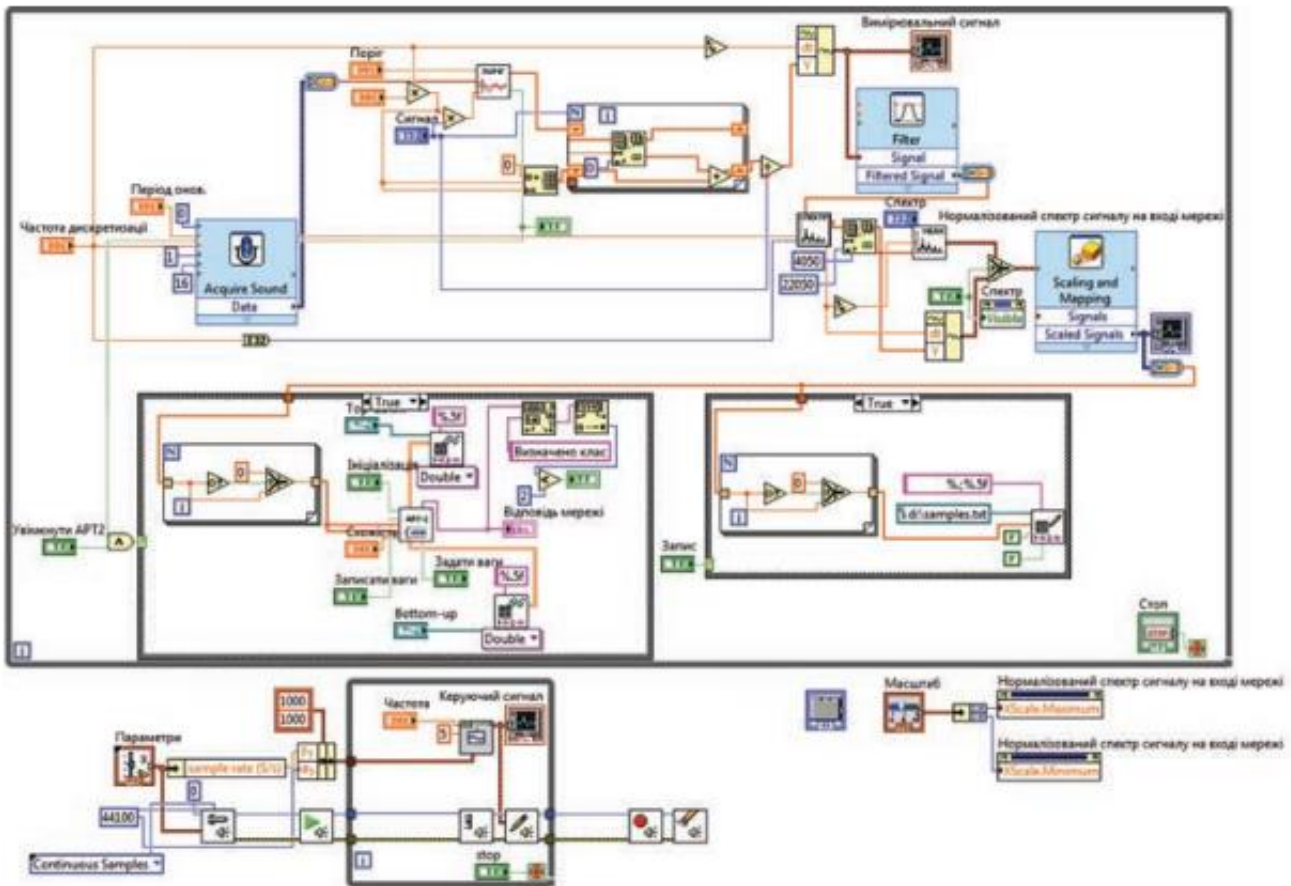


Рис 2. Блок-діаграма віртуального приладу системи класифікації технічного стану об'єктів з використанням нейронних мереж в середовищі LabVIEW

Застосування штучних нейронних мереж обумовлено тим, що коливання, які виникають в ОК, мають складну форму, і це значно ускладнювало б використання інших методів обробки результатів вимірювань.

Однак для того, щоб отримати правильні результати, необхідно вибрати такий тип мережі, яка була б придатною саме для обробки даних, отриманих у результаті контролю МВК. Тому аналіз різних типів НМ та вибір оптимальної є важливою подальшою задачею у цих дослідженнях.

ВИСНОВКИ

Детально описаний алгоритм та наведені основні методи обробки акустичного сигналу в методі вільних коливань. Наведене практичне застосування ДПФ. У ситуації, що склалася для подальшого розвитку методу вільних коливань, пропонується застосовувати нейронну мережу, тип якої повинен бути обраний під час подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Галаган Р.М. Реалізація нейромережевих алгоритмів класифікації технічного стану композиційних матеріалів за результатами акустичного контролю / Р. М. Галаган, А. С. Момот // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Київ. – 2017. – №1. – С. 43-46 (DOI 10.15407/tdnk2017.01.07)
- [2] Белалами С. Неразрушающий контроль опор линий электропередачи методом свободных колебаний. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – 91 с.
- [3] Исследование свободных колебаний струны в постоянном магнитном поле / Гурьев Д. К. // [Электронный ресурс]. - https://mipt.ru/upload/medialibrary/d74/gurev.dk_issledovanie-svobodnykh-kolebaniy-struny-v-postoyannom-magnitnom-pole.pdf

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 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДРОНІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Анотація. У даній роботі наведені різні аспекти застосування інтелектуальних систем аналізу даних в складі алгоритмів роботи промислових дронів в задачах неруйнівного контролю технічного стану вітряних електростанцій. Проведено аналітичний огляд існуючих проектів, в яких дрони використовуються як засіб контролю вітряних електростанцій. Запропоновано використання методів машинного навчання для автоматизації процесу розпізнавання і класифікації дефектів, а також потенційної автоматичної навігації і попереднього усунення виявлених пошкоджень.

Ключові слова: неруйнівний контроль, згорткові нейронні мережі, дрони, вітряні електростанції.

ВСТУП

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць в світі по використанню енергії вітру. Необхідність контролю вітрових електростанцій (ВЕС) обґрунтована тим, що вітроенергетичні генератори не тільки становлять небезпеку для птахів, які масово розбиваються об лопаті їх генераторів, а й повинні в цілодобовому режимі забезпечувати безперебійну роботу. Вітряний генератор є великомасштабною і технічно складною конструкцією. Поява будь-яких дефектів або відхилень від нормальних режимів роботи може привести до тяжких наслідків, аж до руйнування генератора.

Проведення контролю технічного стану промислових об'єктів - важлива частина роботи національної інфраструктури будь-якої країни. Результати перевірок допомагають ліквідувати "вузькі місця" в системі і в потрібний час виконувати роботи з технічного обслуговування. Все частіше зустрічаються приклади успішного досвіду застосування безпілотників в енергетичній сфері [1]. Цей досвід говорить про те, що дрони підвищують ефективність роботи, знижують потенційний ризик для людей і устаткування, а також сприяють скороченню витрат на перевірки і виконання різних технічних робіт.

Перспективним і актуальним завданням на сьогоднішній день є автоматизація проведення контролю з використанням безпілотних апаратів. Дрони, забезпечені штучним інтелектом, зможуть самі приймати рішення щодо технічного стану обладнання, не вимагаючи участі операторів і техніків. Такі дрони зможуть підлітати до вітряної турбіни не тільки для її огляду, а й для установки датчика і навіть ремонту. Головна особливість інтелектуальних дронів полягає в тому, що вони не управляються дистанційно і самі приймають рішення. Це означає також і те, що роботи можуть проводити перевірки там, куди не доходять радіосигнали і куди неможливо протягнути контрольні кабелі.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Для вітряних електростанцій характерні такі дефекти, як наявність слабких ланок і джерел енергетичних втрат, дефекти металу або, що більш імовірно, дефекти кріплень сусідніх елементів. Зазначені дефекти можуть бути як закладені на етапі виробництва і монтажу конструкції, так і виникати в процесі

роботи ВЕС в результаті впливу зовнішніх факторів. Одними з основних методів контролю вітряних електростанцій є візуально-оптичний і тепловий. Вони знайшли свою популярність завдяки таким перевагам, як безконтактність і простота в реалізації.

Візуальний метод контролю відрізняється малою трудомісткістю і простотою контролю. Поряд з перевагами візуально-оптичний метод має і недоліки, до яких відносяться недостатньо високі достовірність і чутливість, тому метод можна застосовувати для виявлення лише поверхневих дефектів [2].

В даний час метод теплового неруйнівного контролю (ТНК) став одним з найбільш затребуваних в теплоенергетиці, будівництві та промислового виробництва, так як він дозволяє виявляти приховані порушення в роботі внутрішніх механізмів. Наприклад, в разі неполадок, на підставі термограм можна проаналізувати температурне поле і визначити можливі відхилення від норми. За неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан об'єктів контролю[3].

Для аналізу застосування безпілотних літальних апаратів з практичної точки зору можна навести приклад їх використання в Шотландії, де автономні маневрені роботи здатні не тільки оглядати пошкоджені електростанції, а й самостійно їх ремонтувати [4]. Ще одним прикладом підвищення якості контролю є досвід компаній DJI і DroneUA. За їхніми даними, використання дронів скорочує час робіт і підвищує достовірність контролю. Основними перевагами проведення візуального і теплового неруйнівного контролю з використанням безпілотників є висока продуктивність, доступність і гнучкість запропонованих рішень [5].

Зазначені безпілотні летальні апарати керуються операторами з землі, основна роль яких полягає в зборі коректних даних і побудові маршруту інспекції, іноді аналізу в реальному часі. Будь-які рішення щодо технічного стану елементів вітряних електростанцій приймається дефектоскопістом на підставі аналізу тисяч отриманих фотографій і відеозаписів, і результат безпосередньо залежить від досвіду фахівця. Подібні дослідження досить часовитратні, а результат не завжди гарантує достовірність і ефективність контролю. В зв'язку з чим, для вирішення подібних проблем пропонується використання інтелектуальних алгоритмів аналізу даних на підставі методів машинного навчання, зокрема, нейронних мереж.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В основі неруйнівного контролю з використанням дронів лежить отримання фотографічних або термографічних даних (рис. 1). Для цього необхідно підняти дрон в повітря, безпосередньо отримати дані, потім їх слід обробити і прийняти рішення на підставі аналізу. Виконання всіх елементів цієї послідовності дій можна автоматизувати з використанням інтелектуальних алгоритмів. З технічної точки зору, для успішної роботи потрібно три елементи: дрон, в якості платформи, яка несе на собі корисне навантаження, саме корисне навантаження у вигляді фото- та інфрачервоних камер та інших датчиків, а також програмне забезпечення для управління і автоматичного аналізу даних.

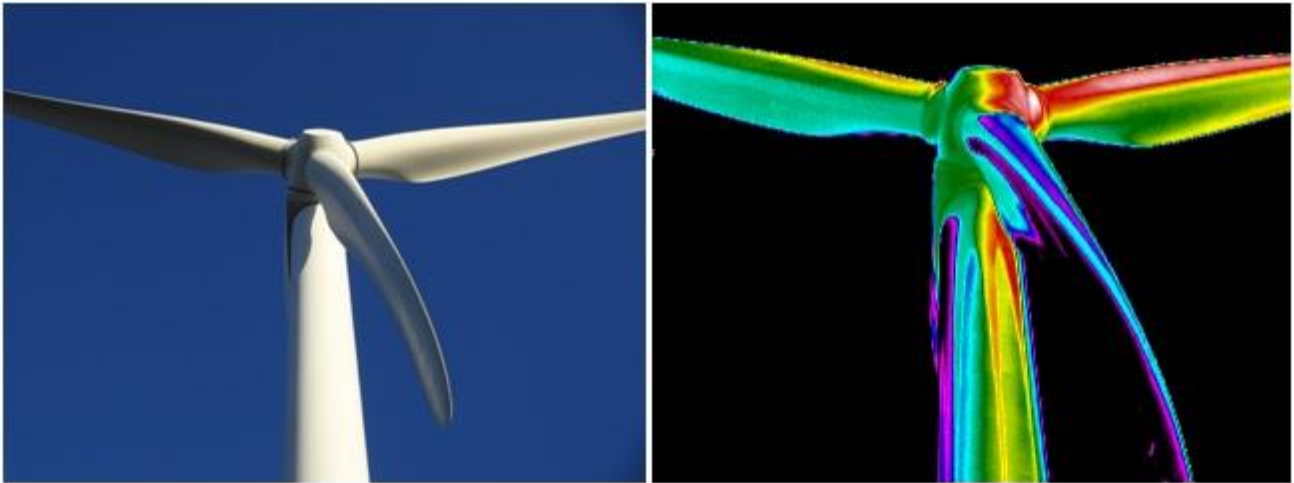


Рис.1. Візуальне зображення та термограма вітрового електрогенератора

Як інструмент для автоматизації аналізу отриманих фотознімків і термограм можуть бути використані згорткові нейронні мережі. Розпізнавання зображень за допомогою даних мереж засноване на глибокому навчанні, ідея якого полягає в тому, щоб максимально близько змоделювати роботу людської нервової системи - а саме, її здатності до навчання і виправлення помилок. Такий підхід сьогодні вирішує багато завдань ефективніше, ніж людський зір. Його перевага полягає в тому, що для контролю створюється програмний продукт, який підвищує швидкість і якість виявлення дефектів. В цьому і полягає головна особливість мережі - вона здатна самостійно навчатися і діяти на підставі попереднього досвіду, з кожним разом роблячи все менше помилок [6].

Також для найбільшої ефективності пропонувану систему аналізу даних необхідно реалізувати прямо на борту дрона. Такий підхід дозволить приймати йому рішення перебуваючи в польоті без участі оператора. У разі виявлення дефекту, дрон може самостійно визначити і позначити координати даної вітряної станції на карті з докладним описом дефекту, прикріпивши фото і термограми дефектної ділянки. Завдяки закладеному алгоритму безпілотику буде мати можливість наблизитися до конкретного дефектного ділянки для детального дослідження. У разі відсутності відхилень від норми при скануванні вітряної станції - дрон з використанням алгоритмів автоматичної навігації самостійно продовжує рух до наступної точки маршруту. Таким чином, весь процес польоту, збору і аналізу даних буде виконуватися без участі оператора.

Використання безпілотних літальних апаратів допоможе з легкістю виявити дефекти, які найбільш часто зустрічаються в роботі вітряних електростанцій. Наприклад, використовуючи нейронні мережі, за допомогою тепловізора на дроні є можливість виявляти енергетичні втрати, так як вони будуть приводити до перегріву елементів системи, кабелів або механізмів. Також з використанням машинного навчання не важко виявити слабкі ланки або дефекти металу. Однак існує ряд недоліків такого способу контролю у вигляді обмежень за часом роботи, дальності і висоті польоту, нездатності утримати висоту у разі втрати зв'язку. Також немалоймовірні затримки отримання результатів, складності регулювання кута нахилу камери тощо.

ВИСНОВКИ

Використання інтелектуальних систем аналізу даних дозволяє зменшити роль оператора в прийнятті рішень, підвищити рівень безпеки і скоротити часові витрати. Ключовим моментом в ефективності результату запропонованих алгоритмів обробки даних є якість і технічні параметри обладнання, яке використовується для отримання фотознімків і термограм. Важливими параметрами вважаються обмеження, які накладає апаратна частина дрона, так як саме від них залежить практична реалізація запропонованих ідей. Тому всі подальші дослідження повинні проводитися з урахуванням останніх досягнень в області алгоритмів автоматичного управління та навігації, конструювання безпілотних апаратів і їх технічного оснащення.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Микийчук М. М. Метрологічне забезпечення моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів / М. М. Микийчук, Н. С. Зіганшин // Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник / М. М. Микийчук, Н. С. Зіганшин. – Львів: Львівська політехніка, 2018. – №4(79). – С. 47–53.
- [2] Радько О. В. Вибір методів контролю якості конструкційних елементів машин та механізмів / О. В. Радько, Н. А. Медведєва, О. І. Кремешний // Теоретичні основи розробки систем озброєння / О. В. Радько, Н. А. Медведєва, О. І. Кремешний. – Київ: Національний авіаційний університет, 2015. – №2(42). – С. 127–130.
- [3] Galagan R. M. Statistical analysis of thermal nondestructive testing data / R. M. Galagan, A. S. Momot. // Advanced Information Systems. – Kharkiv. – 2019. – №3. – pp. 58–62.
- [4] Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey / A. Otto, N. Agatz, J. Campbell et. al. // Networks. – 2018. – №72. – С. 411–458.
- [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
- [6] Скопа О. О. Коцептуальні положення розвитку нейронних мереж / О. О. Скопа // Наукові записки УНДІЗ / О. О. Скопа. – Одеса: Міжнародний гуманітарний університет, 2008. – №1(3). – С. 18.

Наук. керівник – ас. Момот А. С.

УДК 620.179

А.Ю. Якимчук, студентка гр. ПК-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ДОППЛЕРОГРАФІЇ У МЕДИЦИНІ

Анотація. Оглядова стаття призначена для ознайомлення з сучасними методами доплерографії в медицині, короткий їх огляд, сфери застосування цих методів.

Ключові слова: ефект Допплера, доплерографія, ультразвук, ехографія, елайзінг.

ВСТУП

Сьогодні у зв'язку з неідеальним навколишнім середовищем (забрудненість повітря, смог, шкідливі випари), у зв'язку зі збільшенням об'ємів шкідливої їжі, яку ми вживаємо щодня, та іншими індивідуальними чинниками, значно збільшилась кількість серцево-судинних захворювань. Для їх ранньої діагностики широко застосовують ультразвукову доплерографію.

Допплерографія заснована на ефекті Допплера. Сутність цього ефекту полягає в тому, що частота коливань, які збуджує випромінювач і частота тих же коливань, які фіксує приймач, може відрізнятись у випадку випромінювач та приймач рухаються відносно один одного [1].

До основних методів ультразвукової доплерографії можна віднести наступні [2]:

- Імпульсний доплер;
- Неперервний доплер;
- Кольорове доплерівське картування;
- Енергетичний доплер.

НЕПЕРЕРВНИЙ ДОППЛЕР

Цей вид доплерографії з'явився на ранній стадії розвитку ультразвукових систем, тому був першим і, деякий час, єдиним використовуваним методом. Метод називається неперервним, тому що при його роботі випромінюються і приймаються синусоїдальні сигнали великої тривалості. Насправді тривалість ехосигналів, що обробляються в системі, обмежена в часі, це пов'язано з необхідністю вимірювання доплерівського зсуву частоти.

До професійних переваг цього методу треба віднести високу чутливість та точність оцінки спектру частот і швидкостей, можливість отримати характеристики кровотоку, однозначність вимірювання, технічно просту реалізацію.

Недоліками методу можна вважати залежність оцінки отриманих вимірювань від кута між напрямом кровотоку та віссю ультразвукового променя, відсутність роздільної здатності по глибині. Оскільки метод використовується в медицині варто відмітити складність його роботи для лікаря у зв'язку з налаштуванням та визначенням потрібного кута для спостереження.

ІМПУЛЬСНИЙ ДОППЛЕР

На відміну від неперервного Допплера, в імпульсному методі наявна роздільна здатність по глибині. Відомо, що для ехограми використовується

випромінювання саме імпульсних сигналів. Варто зазначити, що чим коротші імпульси в часі, тим краща роздільна здатність по глибині.

Для того щоб спостерігати тільки одну судину, необхідно виділити певний інтервал у часі та аналізувати ехосигнали, що приходять протягом цього інтервалу. Положення самого інтервалу на осі часу визначається глибиною розташування судини.

Варто зазначити, що при використанні коротких сигналів виходить нижча точність вимірювання, ніж при довгих сигналах. Це пов'язано в першу чергу з тим, що при вимірюванні коротких імпульсів завжди присутні різноманітні шуми та перешкоди, що значно ускладнює процес вимірювання. Також значну роль відіграє той факт, що чим менша тривалість сигналу, тим ширший спектр частот. Тому для уникнення цих недоліків при імпульсному доплері використовуються не короткі імпульсні сигнали, а періодичні послідовності імпульсів.

До переваг цього методу слід віднести його здатність надавати дані доплерівського зсуву вибірково з невеликого сегмента, можливість двовимірної реалізації об'єму контролюваного зразку тощо.

Основним недоліком імпульсного доплера є елайзінг. Він проявляється в нездатності методу реєструвати потоки, що рухаються швидше, ніж 1,5 - 2 м / с.

КОЛЬОРОВЕ ДОПЛЕРІВСЬКЕ КАРТУВАННЯ

Кольорове доплерівське картування засноване на кодуванні в кольорі значення доплерівського зсуву [3]. Тому головною відмінністю цього методу від інших є те, що в результаті цифрової обробки сигналу, в певній частині зображення наявна кольорова шкала, за допомогою якої можна проаналізувати швидкість руху структур в кожному з сегментів зображення (рис. 1).

Методика забезпечує візуалізацію потоків крові в серці і великих судинах. Зазвичай, помаранчевий колір відповідає потоку, що йде назустріч датчику, а синій – навпаки, від датчика.

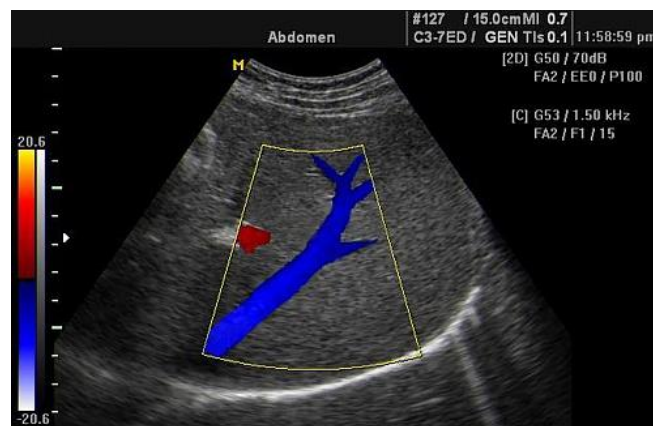


Рис. 1. Кольорова доплерівська ехограма

За виміряними значеннями середнього доплерівського зсуву частоти та знаючи (оцінюючи) доплерівський кут, можна визначити середні значення швидкості руху в елементі. Саме ця інформація допомагає лікарю визначити чи

є патології в людському організмі. Цей метод дозволяє оцінювати не тільки морфологічний стан судин, а і стан кровотоку.

Недоліком методу є те, що отримана інформація є якісною, а не кількісною, низька чутливість та елайзінг. Також за допомогою цього методу неможливо отримати зображення невеликих судин і проаналізувати стан кровотоку по ним. Це значно звужує область застосувань цього методу.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ДОППЛЕР

Метод заснований на аналізі амплітуд всіх отриманих сигналів доплерівського спектру, що відображають щільність еритроцитів в досліджуваному об'єкті. При відображенні отриманого зображення на екрані наявна шкала, що дає нам можливість оцінювати інтенсивність отриманого сигналу. Тобто, при цьому методі в самому кольорі кодується не величина доплерівського зсуву, а інтеграл амплітуд всіх сигналів доплерівського спектра. Саме це дає можливість візуалізувати судини навіть дуже невеликого діаметра.

Недоліком методу є те, що при його використанні неможливо судити про швидкість і напрямок кровотоку. До переваг слід віднести високу чутливість, що дозволяє отримувати відображення усіх ділянок, незалежно від їх розміру та швидкості кровотоку в них.

ВИСНОВОК

Кожен з методів має свою сферу застосування в медицині:

- Неперервний Допплер - аналіз атріовентрикулярного і аортального кровотоку, дослідження кровотоку в периферичних судинах;
- Імпульсний Допплер – в ехокардіології;
- Кольорове доплерівське картування – використовується для досліджування кровотоку в судинах та в ехокардіографії;
- Енергетичний Допплер – використовується для вивчення форм судин.

Поєднання цих методів призведе до об'єднання сфер застосувань, що в свою чергу спростить та пришвидшить діагностику доплерівськими методами людського організму.

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] Осипов Л. В. Ультразвуковые диагностические приборы: практическое руководство пользователя / Л. В. Осипов. – М. : Видар, 1999. – 256 с.
- [3] Ультразвуковая диагностика патологии сосудистой системы [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://doctorspb.ru/articles.php?article_id=1087. [0]

Науковий керівник: к.т.н, доцент Галаган Р.М.

Секція 8.
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ
СИСТЕМИ

УДК 681.121

В. В. Василюк, студент гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ МАСОВОЇ ВИТРАТИ

Анотація. У статті розглянуто методи вимірювання масової витрати, що отримали найбільшого поширення у ракетній і авіаційній техніці, а також для вимірювання витрати нафтогазових потоків. Вивчено переваги і недоліки масових витратомірів прямої дії. Проведений порівняльний аналіз метрологічних характеристик витратомірів, що реалізують вихровий, силовий (вібраційний кориолісовий) і тепловий (калориметричний, термоанемометричний) методи вимірювання дозволив виявити їх індивідуальні експлуатаційні особливості.

Ключові слова: масова витрата, метод вимірювання, витратомір.

ВСТУП

Основним фізичним параметром, що визначає оптимальні режими роботи об'єктів і якість процесів у системах автоматичного регулювання теплоенергетичних установок, різних хімічних процесах, ракетній і авіаційній техніці є масова витрата.

Методи вимірювання масової витрати умовно можна поділити на три групи [1, 2]:

- створення вимірювальних приладів здатних вимірювати безпосередньо масову витрату;
- застосування об'ємних витратомірів у комплексі з перетворювачами густини і обчислювачами;
- створення комбінованих витратомірів, що вимірюють масову витрату опосередкованими методами шляхом автоматичної обробки результатів прямих вимірювань пов'язаних з нею параметрів.

ПРИНЦИПОВІ ОСОБЛИВОСТІ МАСОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Найбільш відпрацьованими і застосовуваними є масові витратоміри прямої дії, що відносяться до силового і теплового класів [1, 2].

У силових витратомірах потік набуває прискорення під дією силового збурення, залежного від масової витрати. Вимірюється будь-який параметр, що характеризує ступінь цього збурення або його ефекту.

Прискорення потоку виникає в процесі зміни його первинного руху. Залежно від характеру цієї зміни і прискорення, що надається при цьому, силові витратоміри поділяють на: кориолісові; гіроскопічні; турбосилові [2].

Найбільшого поширення серед них отримали вібраційні кориолісові витратоміри.

Кориолісовими називають витратоміри, в перетворювачах яких під впливом силового збурення виникає кориолісове прискорення, залежне від витрати [2].

До вібраційних відносяться кориолісові витратоміри, в яких рухомий елемент перетворювача витрати не обертається, а лише здійснює неперервні коливання з постійною амплітудою або з амплітудою, що періодично згасає, під впливом зовнішнього силового збурення [2].

Перевагами кориолісових витратомірів є: висока точність вимірювань; незалежність показань від в'язкості вимірюваного середовища; несуттєвий вплив

профілю швидкості вимірюваного потоку на результати вимірювань; тривалий термін експлуатації; відсутність жорстких вимог до довжини обов'язкових прямих ділянок до і після приладу; простота обслуговування [1, 2].

Недоліками таких приладів є гідравлічні втрати, пов'язані з особливостями конструкції.

Теплові витратоміри базуються на вимірюванні залежного від витрати ефекту теплового збурення на потік або тіло, яке контактує з ним. Такі прилади призначені для вимірювання витрати газу та рідше для вимірювання витрати рідини [2].

Існує багато різновидів теплових витратомірів, що розрізняються способом нагріву, розташуванням нагрівача (зовні або всередині трубопроводу) і характером функціональної залежності між витратою і вимірюваним сигналом.

За характером теплової взаємодії з потоком такі вимірювачі витрати поділяються на: калориметричні, термоконвективні і термоанемометричні [2].

Калориметричні витратоміри базуються на залежності від потужності нагріву середньо масової різниці температур потоку. Перевагами цього класу витратомірів є досить висока точність, що оцінюється (в умовах індивідуального калібрування) приведеною похибкою $\pm(0,5-1,0)\%$, широким діапазоном вимірювань, відносно малою інерційністю [1, 2].

Їх недоліками є складність вимірювальних схем і нестабільність характеристик, пов'язана з корозією приймальних пристроїв і осадженням на них різних частинок, які переносяться потоком [1].

У термоконвективних теплових витратомірах ні нагрівач, ні термоперетворювач не вводяться всередину трубопроводу, а розташовуються зовні. Передача тепла від нагрівача до вимірюваної речовини здійснюється через стінку труби за рахунок конвекції [2].

Перевагами таких вимірювачів витрати є відсутність контакту з вимірюваною речовиною; широкий діапазон швидкостей; висока швидкодія, що дозволяє вимірювати швидкості, змінні з частотою в декілька тисяч герц; підвищена експлуатаційна надійність.

Недоліками приладів у цьому випадку є значна інерційність; крихкість первинних перетворювачів внаслідок динамічних навантажень і високої температури нагрівання [2].

Принцип дії термоанемометрів базується на залежності між втратою тепла тіла, що неперервно нагрівається, та швидкістю вимірюваного середовища, в якому це тіло знаходиться.

Вони застосовуються для вимірювання витрати за відомого співвідношення між місцевою і середньою швидкостями потоку, або коли остання безпосередньо вимірюється за допомогою термоанемометра. Крім того, існують конструкції термоанемометрів, спеціально призначених для вимірювання витрати [2].

Перевагами термоанемометрів є широкий діапазон вимірюваних швидкостей і висока швидкодія [2].

Основним їх недоліком є істотний вплив на показання температури, тиску і різних теплофізичних параметрів вимірюваного середовища [1, 2].

Для виявлення особливостей застосування масових витратомірів, що реалізують різні методи вимірювання, вивчено їх метрологічні і технічні характеристики (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристики витратомірів

Параметр	EMIS-MASS 260 [3]	EMIS-VIHR 200 [4]	VA 420 [5]	Thermatel® Model TA2 [6]
Метод вимірювання	Кориолісовий	Вихровий	Тепловий	
			Калориметричний	Термоанемометричний
Номінальний діаметр (DN), мм	50	50	50	50
Робоче середовище	Рідина, газ	Рідина, газ	Газ	Газ
Мінімальна витрата Q_{min} , кг/год	250 (для рідини і газу)	800 (для рідини); 12 (для газу)	2,4 (для газу)	14,5 (для газу)
Максимальна витрата Q_{max} , кг/год	55 000 (для рідини); 1 000 (для газу);	26 000 (для рідини); 240 (для газу);	1100 (для газу)	1450 (для газу)
Діапазон вимірювання	1:220 (рідина) 1:4 (газ)	1:32 (рідина) 1:20 (газ)	1:450	1:100
Похибка	Залежно від класу точності можуть бути: $\pm 0,15\%$, $\pm 0,25\%$, $\pm 0,5\%$	$\pm 2,0\%$ (для рідини) і $\pm 2,6\%$ (для газів)	$\pm 1,5\%$ від показання + $0,05\%$ від повного значення від каліброва-ної шкали	$\pm 1\%$ від показання + $0,5\%$ від повного значення від відкаліброваної шкали
Втрати тиску, МПа	0,13	0,02	-	-
Робочий тиск, МПа	15	25	1,6	10,5
Температура робочого середовища, °C	-50 ÷ +350	-60 ÷ +460	-30 ÷ +80	-45 ÷ +200
Прямі ділянки до/після	0DN/0DN	10DN/5DN	15DN/5DN	8DN/5DN

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто методи вимірювання масової витрати і особливості їх застосування. Порівняння метрологічних характеристик вимірювачів масової витрати дозволило виявити наступне:

- силовий і вихровий методи вимірювання дозволяють вимірювати масову витрату як рідин, так і газів;
- найбільшого розповсюдження серед силових витратомірів отримали вібраційні кориолісові витратоміри, в яких рухомий елемент первинного

перетворювача здійснює неперервні коливання з постійною амплітудою або з амплітудою, що періодично згасає;

- найточнішими серед розглянутих приладів є кориолісові витратоміри (їх похибка може сягати $\pm 0,15\%$);
- найдовших прямих ділянок при встановленні потребують калориметричні витратоміри;
- кориолісові витратоміри не потребують прямих ділянок;
- найбільший робочий тиск забезпечують вихрові витратоміри;
- найменша вимірювана витрата у калориметричного витратоміра газу;
- найбільшу максимальну витрату мають кориолісовий витратомір для рідини і термоанемометричний – для газу.

Результати порівняння технічних характеристик масових витратомірів різних класів дозволили виявити індивідуальні експлуатаційні особливості кожного методу вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: Учебное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 287 с.: ил.
- [2] Кремлевский П. П., Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 701 с.: ил. – ISBN 5-217-00412-6
- [3] Расходомер массовый «ЭМИС-МАСС 260». [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://emis-kip.ru/pics/uploads/MA_em260_RU_2009_.pdf – Назва з екрану.
- [4] Vortex Flow meters EMIS-VIHR 200 (EV-200). [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://emis-meter.com/upload/iblock/ff7/EV200_205-PPD.-User-Manual.pdf – Назва з екрану.
- [5] VA 420 Расходомер с дисплеем, 4 ... 20 А и импульсный вход. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.cs-instruments.com/fileadmin/cs-data/Bedienungsanleitungen/IMs%20RU/VA420_RUS_V4.02_2010_manua.pdf – Назва з екрану.
- [6] THERMATEL® Усовершенствованный массовый расходомер модели TA2. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.magnetrol.com/sites/default/files/downloads/ru54-631-2_e-ta2.pdf – Назва з екрану.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А. В.

УДК 621.389:535.215

Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., доц. Стельмах Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗАСОБАМИ INTERNET OF THINGS

Анотація. Найпоширенішою енергією у всьому світі є сонячна енергія. Щоб мінімізувати залежність від імпорту енергії необхідно належно обслуговувати сонячні панелі. Потужність, що генерується сонячною панеллю необхідно постійно контролювати. Завдяки використанню Internet of Things (IoT), виробництво електроенергії може бути збільшене завдяки впливу IoT на моніторинг та обслуговування сонячних панелей. В статті описується впровадження моніторингу сонячних панелей завдяки IoT для технічного обслуговування та підвищення ефективності шляхом виявлення несправності.

Ключові слова: Internet of Things, сонячна панель, діагностика, сонячна енергія, датчики струму та напруги, Wi-Fi модуль.

ВСТУП

Сонячна енергія широко доступна у всьому світі та може сприяти мінімізації залежності від імпорту енергоносіїв. Достатньо лише 90 хв впливу сонячних променів на землю, щоб задовольнити потреби всієї планети в електроенергії на цілий рік. Сонячна фотоелектрична панель не спричиняє викидів парникових газів та не виділяє інших забруднюючих речовин.

За даними Міжнародного Агенства Енергетики (МАЕ), поновлювані джерела є найбільш швидкозростаючими джерелами електроенергії, в яких вітряки та сонячні панелі є найбільш технологічно зрілими та економічно доступними. Але зараз спостерігається тенденція збільшення попиту на електроенергію у всьому світі. За даними останнього звіту про розвиток ринку відновлюваних джерел електроенергії (Medium-Term Renewable Market Report) МАЕ, спостерігається зростання на 13% більше ніж у минулорічному прогнозі (в період з 2015 по 2019 рік).

Частка відновлюваних джерел енергії в загальному зростає з 23% у 2015 році до майже 28% у 2019 в рамках світового виробництва електроенергії. Internet of Things (IoT) це система з пов'язаних обчислювальних пристроїв, механічних та цифрових машин, предметів, людей чи тварин, які мають унікальні ідентифікатори, а також можливість передачі даних по мережі при цьому не вимагаючи взаємодії людина-людина або людина-комп'ютер. Фізичні предмети вже не відключаються від віртуального світу, але їх можна дистанційно контролювати через інтернет-сервіси для постійного моніторингу сонячних панелей, щоб задовольнити зростаючі потреби в енергії.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сонячні панелі створюють в 300 разів більше токсичних відходів на одну одиницю енергії, ніж атомні електростанції. Якби сонячна та ядерна енергія вироблялася б в однакових кількостях протягом 25 років, а відходи складали б на футбольних полях, то ядерні відходи досягли б висоти Пізанської вежі (52 метри), а сонячні відходи були б заввишки як дві гори Еверест (16км).

Дослідники звернулись до IoT, який дозволяє контролювати об'єкти дистанційно завдяки існуючій мережевій структурі, та створює можливість екологічно чистої інтеграції фізичного світу в систему на комп'ютеризованій

основі, що в результаті підвищить ефективність, точність та економічну вигоду в додаток до зменшення втручання людей в дану систему [1].

МЕТА РОБОТИ

Впровадження нової економічно вигідної методики на основі IoT для дистанційного моніторингу сонячної фотоелектричної установки та оцінки її працездатності. Це полегшить профілактику виявлення несправностей, аналіз історії роботи пристрою в додаток до моніторингу в реальному часі [2].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

За основу було взято концепцію пристрою IoT, який збирає дані щодо фізичних параметрів використовуючи складну платформу мікроконтролерів, різні типи датчиків та різні режими зв'язку, а потім завантажує дані в Інтернет [3]. Структура запропонованої системи являє собою поєднання налаштованого пристрою IoT з інформаційною системою для агрегації даних [4]. Виробництво електроенергії від сонячних фотоелектричних установок має різний характер за рахунок зміни сонячного опромінення, температури та інших факторів [5].

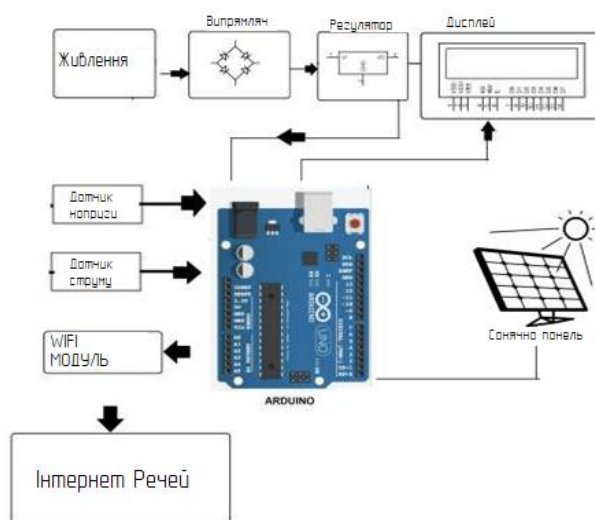


Рисунок 1. Функціональна схема моніторингу IoT

Сучасний огляд програмних засобів, необхідних для цілей запропонованої системи, полягає у віддаленому моніторингу сонячних панелей та виявленні несправностей, а також для постійного моніторингу сонячної панелі та передачі енергії на систему IoT через модуль Wi-Fi. На рис. 1 показана функціональна схема моніторингу IoT сонячної панелі. Потужність, що генерується на сонячній панелі, замірюється за допомогою датчиків струму та напруги.

Вимірjana величина записується як графік за допомогою IoT.

СХЕМА УПРАВЛІННЯ

Основна ціль схеми – моніторинг роботи сонячних панелей. Канал IoT створюється в ThingSpeak. ThingSpeak - платформа для проектів, побудованих на концепції Internet of Things [6]. Дана платформа дозволяє будувати додатки на основі даних, зібраних з датчиків. До основних можливостей ThingSpeak можна віднести: збір даних в реальному часі, обробка даних і їх візуалізація. ThingSpeak API дозволяє не тільки відправляти, зберігати і отримувати доступ до даних, але і надає різні статистичні методи їх обробки.

Програма IoT відправляється в мікроконтролер, де використовується ключ АТР каналу. Arduino підключається до датчиків напруги і струму. Вихідні дані датчика напруги та струму миттєво реєструється через певну тривалість часу. Ці

значення наводяться у вигляді графіка в IoT. Схема управління складається з Arduino, який підключений до датчиків напруги та струму (рис. 2).

Сонячні панелі підключаються паралельно, тому напруга що генерується буде постійною. Поточне значення напруги може змінюватися залежно від освітленості сонячної панелі. Датчики напруги та струму заміряють значення напруги та струму, що генеруються на сонячній панелі. Реле підключається послідовно до кожної сонячної панелі. Сонячні панелі залишаються підключеними паралельно, якщо поточне утворення енергії пропорційне освітленню на сонячній панелі. Якщо освітленість на сонячній панелі вище, а генерація струму низька, реле відповідної панелі спрацьовує і сонячна панель, яку потрібно підтримувати, відключається від паралельного підключення. Для повернення положення сонячної панелі натискається кнопка скидання. Ці значення записуються у графічному форматі за допомогою IoT через Wi-Fi модуль.

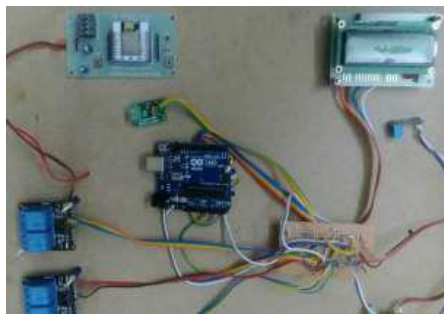


Рисунок 2. Підключення апаратної схеми управління

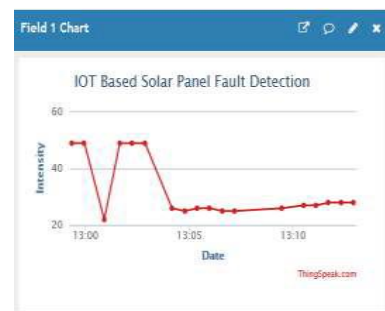


Рисунок 3. IoT графік освітленості

Значення струму, напруги та освітленості реєструються в IoT через Wi-Fi модуль. Так що обслуговування сонячної панелі проводиться ефективно. На рисунку 3 показана інтенсивність сонячної панелі щодо часу. Рівень освітленості вимірюється за допомогою світлозалежного резистора і ці значення вносяться в графік у співвідношенні з часом.

На рис. 4 показано рівень напруги, що генерується в сонячній панелі. Рівень напруги є постійним для всіх сонячних панелей, оскільки вони підключаються паралельно. Рівень напруги, що генерується в певний проміжок часу, записується як графік у відношенні щодо часу.

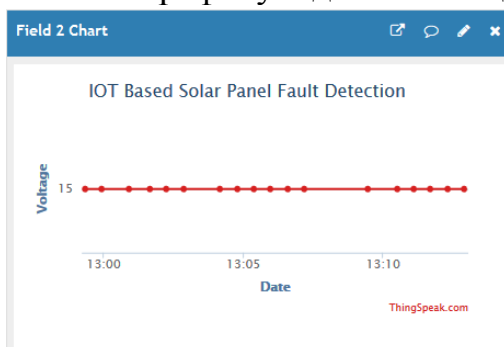


Рисунок 4 .IoT графік напруги

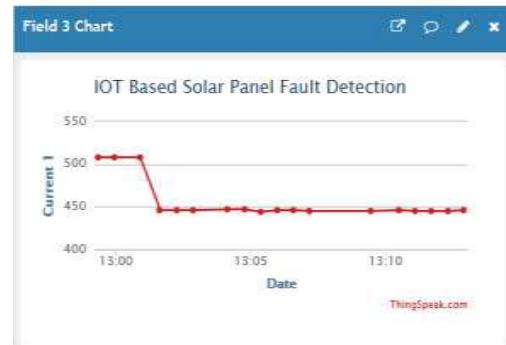


Рисунок 5. IoT графік датчика струму 1

На рис. 5 показано значення датчика струму 1, яке підключено через сонячну панель 1. Поточний рівень збільшується та зменшується відповідно до

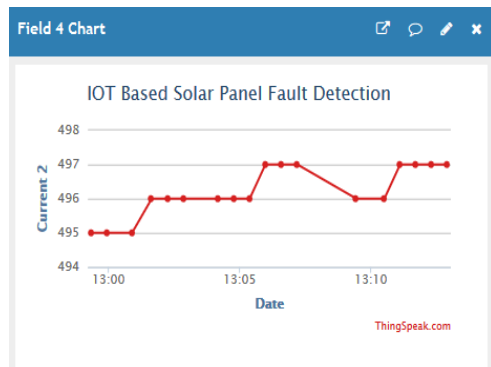


Рисунок 6. IoT графік датчика струму 2

вигляді графіка щодо часу. Усі ці графіки записуються в IoT за допомогою ThingSpeak.

рівня освітленості. Струм, що генерується сонячною панеллю 1, зображується у вигляді графіка щодо часу.

На рис. 6 показано значення датчика струму 2, який підключено через сонячну панель 2. Поточний рівень збільшується і зменшується відповідно до рівня освітленості. Струм, що генерується сонячною панеллю 2, зображується у

ВИСНОВОК

Впровадження технологій відновлюваної енергії - один із рекомендованих способів зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Через часте відключення електроенергії важливо використовувати відновлювану енергію та проводити її моніторинг. Моніторинг дає можливість користувачу аналізувати використання відновлюваної енергії. Ця система економічно вигідна. ККД системи становить близько 95%. В майбутньому планується реалізувати можливість моніторингу робочого ресурсу сонячної панелі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Suprita P, Vijayalashmi M, Tapaskar R. Solar Energy Monitoring System using IoT. Int J Sci Res. 2014; 15:149-55.
- [2]Naga Venkatarao K, Vijay Kumar K. An IoT Based Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Control Unit. International Journal and Magazine of Engineering, Technology, Management and Research. 2015;5:457-65.
- [3]Kulkarni PH, Kute PD. Internet of Things based System for Remote Monitoring of Weather Parameters and Applications. International Journal of Advances in Electronics and Computer Science. 2016;2:68-73.
- [4]Basuvaiyan S, Rathinasabapathy V. IoT based Solar Photo Voltaic Monitoring System. National Convention of Electrical Engineers 2017, 24-25 November 2017. National Institute of Technology Trichy, Trichy: 2017:
- [5]Adhya D, Saha D, Das A, Jana J, Saha H. An IoT Based Smart Solar Photovoltaic Remote Monitoring and Control unit. International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication. 28-30 Jan. 2016 Kolkata, India: 2016.

Наук. керівник – доц. Стельмах Н.В.

УДК 681.121.42

Ю.В. Кучеренко, студентка гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ЛІЧИЛЬНИКІВ ТЕПЛА У БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДИНКУ

Анотація. У статті розглянуто актуальність використання теплових лічильників для системи тепlopостачання, теоретичні засади принципу роботи лічильника тепла, доступні у нашій країні системи дистанційного збору даних з лічильників у багатоповерховому будинку, їхні переваги та недоліки.

Ключові слова: лічильник тепла, витратомір, тепла енергія.

ВСТУП

У сучасних умовах нестабільної економічної ситуації в країні набуває актуальності питання економії енергоресурсів. Одним із ефективних способів енергозбереження в житловому секторі є впровадження засобів регулювання та обліку споживання тепла та опалення. Контроль спожитої теплової енергії у житлових будинках дозволяє значно зменшити її потребу, тобто зменшити споживання невідновлюваних джерел енергії та дозволяє споживачу економити на грошових витратах. Удосконалення існуючих засобів обліку спожитої енергії доцільні для зручності користувача, для оновлення компонентів системи та для надійного функціонування пристроїв системи.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

У нашій країні найбільш поширена система централізованого опалення. Система централізованого опалення працює, передаючи трубопроводами тепло з джерела до споживачів. Сполучення між джерелом та споживачами відбувається через підстанції, на яких розміщені теплові лічильники. За показниками цього лічильника проводиться розрахунок з організацією, що постачає теплову енергію, та визначається сумарна кількість спожитої теплової енергії по квартирах за певним критерієм (наприклад, площа квартири). Теплолічильник вимірює кількість енергії, яка була передана від джерела до споживачів. Спосіб обчислення теплової енергії полягає в наступному: температура, яка передається з контуру джерела до контуру споживача, вимірюється двома датчиками; витратомір дає значення витрати на контурі джерела; і обчислювальний електронний модуль дає значення теплової енергії, яку отримує споживач, використовуючи дані з температурних датчиків.

Витратомір дає сигнал після проходження певного об'єму речовини. Час між сигналами вважають часом інтеграції. Після сигналу обчислювальний модуль вимірює температуру на вході та виході та час між сигналами. Обчислювальний модуль рахує теплову енергію за кожну ітерацію i та середню витрату за час між сигналами V_i , різницю температур ΔT_i та коефіцієнт теплоти k_i , за час між двома ітераціями Δt_i . Загальна кількість спожитого тепла визначається за формулою [1]:

$$Q = \sum_{i=0}^N k_i V_i \Delta T_i \Delta t_i \quad (1)$$

На рис. 1 зображено схему вимірювання величини теплової енергії [2].

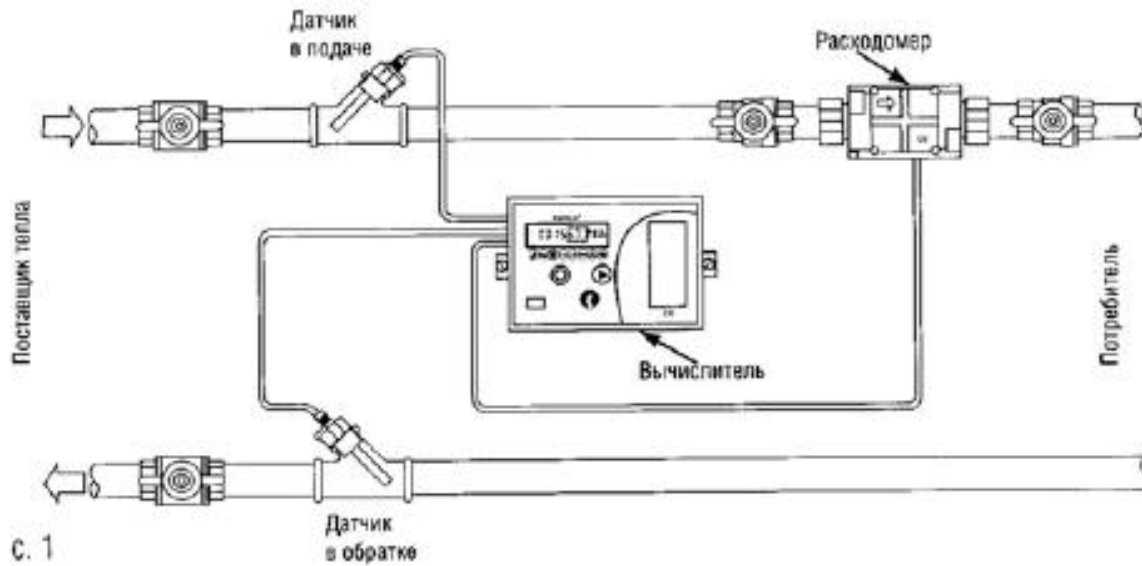


Рисунок 1. Схема вимірювання величини теплової енергії

ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗБОРУ ДАНИХ З ЛІЧИЛЬНИКІВ

Для удосконалення існуючої системи обліку теплової енергії для житлових приміщень можна застосовувати систему дистанційного збору даних з лічильників у багатоповерховому будинку.

У наш час дуже широке застосування мають бездротові технології. Такі технології також зручно використовувати для систем енергозбереження для житлових будинків. В Україні прикладом можуть бути способи дистанційного збору даних представлені компанією «L&G Metering». Компанія пропонує два стандартні варіанти: дротовий інтерфейс M-Bus з передачею даних модемом по GSM/GPRS (Groupe Spécial Mobile/General Packet Radio Service) каналу та радіо інтерфейс на частоті 868 МГц з відкритим протоколом обміну даних.

Системи збору і передачі даних на стандартизованих протоколах обміну даних включають:

- Прилади обліку енергоресурсів;
- Пристрої збору і передачі даних;
- Програмне забезпечення;

Принцип роботи таких систем базується на тому, що при заміні одного компонента на аналогічний іншого виробника, система виконуватиме свої функції.

Система збору даних по радіо каналу включає лічильники тепла, які передають дані по бездротовому каналу; пристрою для прийому даних з лічильників (радіо маршрутизатор); пристрою для відображення зібраних даних з лічильників (планшет або телефон); програмного забезпечення на планшеті чи телефоні. Переваги такої системи полягають в тому, що за рахунок відсутності дротів, система надійніша. Також така система дозволяє обслуговувати необмежену кількість приладів обліку. Недоліками можна назвати обмежений радіус дії радіо сигналу; отримати дані можливо отримати, коли оператор прибув

на об'єкт; передача даних від лічильника дискретна. На рис.2 показано складові цієї системи [3].

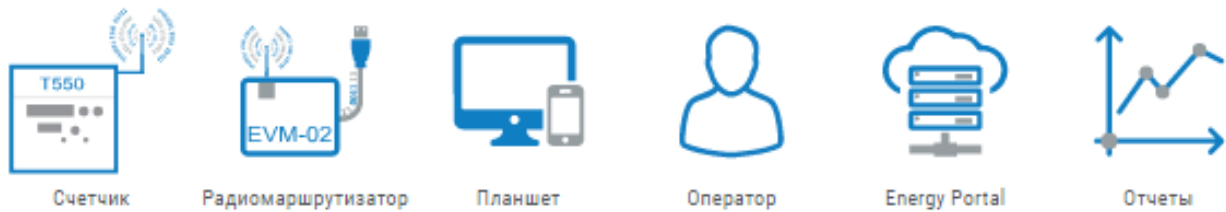


Рисунок 2. Складові системи збору даних по радіо каналу

Система збору даних з використанням GSM/GPRS каналу зв'язку полягає в тому, що на лічильник тепла встановлюється модуль M-Bus, через який здійснюється зв'язок через дротове з'єднання з GSM/GPRS модемом EVM-07s. Модем можна назвати смарт-пристроєм, який працює незалежно від серверів та програмного забезпечення. У результаті на FTP-сервер (File Transfer Protocol) надсилається файл формату *csv із даними теплотічильника. Цей файл можна переглянути через програмний пакет Microsoft Office. На рис. 3 показано складові цієї системи.

Переваги цієї системи можна назвати:

- Будь який лічильник із стандартним інтерфейсом M-Bus працює в системі без додаткових налаштувань;
- Простота підключення лічильників (низький рівень напруги в мережі);
- Довжина лінії зв'язку між лічильником і модемом до 1000 м;
- Мінімальний об'єм трафіка, можливо використовувати контрактну SIM картку.

Недоліками дротової системи збору даних є:

- Обмеження для ліній зв'язку, наприклад для лічильників, які встановлені в квартирі;
- За рахунок можливості пошкодження ліній зв'язку, система менш надійна, ніж бездротова.

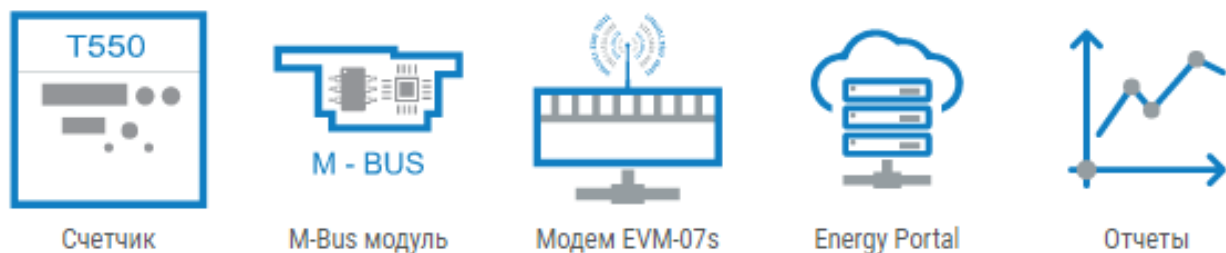


Рисунок 3. Складові системи збору даних з використанням GSM/GPRS каналу зв'язку[3]

ВИСНОВОК

Так як у нашій країні джерела альтернативної енергії не мають широкого застосування, виникає питання раціонального використання енергоресурсів. Споживання енергії зростає також і за рахунок теплопостачання житлових приміщень, тому важливим етапом скорочення споживання енергоресурсів є

заощадження на побутовому рівні. Контроль споживання допомагає організувати його облік, що здійснюється за допомогою лічильників тепла. Безпосередньо споживачі потребують сучасних та зручних рішень для обліку спожитої енергії. У статті було розглянуто способи удосконалення систем збору даних із лічильника тепла, які мають переваги в зручності застосування сучасних технологій передачі даних на допоміжні пристрої користувача. Оновлення систем обліку спожитої енергії має вагомe значення для розвитку приладобудування із застосуванням нових технологій та для застосування у господарстві країни сучасного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Yassin Jomni. Improving Heat Measurement Accuracy in District heating Substations. Lulea University of Technology, 2004
- [2] Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення / Ю. К. Росковшенко, к. т. н., В. П. Штиленко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. - 2013. - Вип. 4. - С. 238-243.
- [3] РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЩЕДОМОВЫХ СЧЕТЧИКОВ. – Режим доступа: [www.URL: http://www.lgmetering.kiev.ua/askue/doma.html](http://www.lgmetering.kiev.ua/askue/doma.html) – Назва з екрану.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Гришанова І. А.

УДК 681.121

А.М. Мельник, студентка гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Анотація. Через постійне зростання цін на природній газ актуальними залишаються питання точного вимірювання його витрати. У статті розглянуто методи вимірювання витрати природного газу, принцип дії приладів, що їх реалізують. Відмічено особливості застосування вимірювальних приладів у складі вузлів обліку, пов'язані з вимогами встановлення і експлуатації. Проведений порівняльний аналіз метрологічних характеристик зазначених приладів підкреслив, що кожен клас витратомірів задовольняє певним умовам експлуатаційного використання.

Ключові слова: витрата, природний газ, метод вимірювання.

ВСТУП

У зв'язку із постійним зростанням цін на природній газ, збільшується потреба у більш досконалому його обліку. Газ є предметом комерційних угод між компаніями, що постачають газ, видобувають його та кінцевими споживачами. Внаслідок наявності великих похибок може виникнути дисбаланс під час фізичного обліку газу від постачальника до споживача, тому для точного визначення витрати або кількості газу потрібно обрати вимірювальний прилад, який задовольняє вимогам до умов експлуатаційного використання на об'єкті.

На сьогоднішній день, витрату природного газу вимірюють за допомогою різних фізичних процесів та явищ, які є підґрунтям методів вимірювання витрати. Йдеться про методи змінного перепаду тиску, тахометричний, ультразвуковий, вихровий, тепловий та інші [1,2].

Найбільшого застосування у сучасній вимірювальній практиці отримали вимірювальні прилади, побудовані на перетворювачах витрати змінного перепаду тиску, тахометричні, ультразвукові і вихрові.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ

Принцип дії витратомірів змінного перепаду тиску базується на залежності від витрати перепаду тиску, створюваного пристроєм, який встановлено в трубопроводі, або елементом останнього [1, 2]. Найбільшого поширення серед приладів цього класу отримали витратоміри зі звужуючими пристроями, у якості яких застосовуються нормальні діафрагми, нормальні сопла, трубки Вентурі, напірні трубки, що не підлягають попередньому калібруванню [1, 2].

Перевагами витратомірів змінного перепаду тиску є: універсальність (можливість застосування для різних середовищ), простота конструкції, надійність, відсутність необхідності у випробувальному метрологічному обладнанні [1, 2].

Недоліками таких приладів є: вплив точності монтажу звужуючого пристрою на точність вимірювань, квадратична залежність між перепадом тиску і витратою, вузький діапазон вимірювання, нерівномірність шкали.

Принцип вимірювання вихрових витратомірів ґрунтується на використанні вихрових коливань, створюваних вимірюваним потоком. Застосування цього явища дозволяє вимірювати значення витрати, використовуючи природні

фізичні властивості досліджуваного потоку, без внесення до нього рухливих чутливих елементів [1].

Для вимірювання витрат газу застосовуються вихрові витратоміри двох груп [1, 2]:

- з нерухомим тілом обтікання; при обтіканні тіла з обох його сторін почергово виникають зривисті вихори, що створюють пульсації тиску;
- з осцилюючим струменем, що витікає з отвору, здійснює автоколивання, створюючи при цьому пульсації тиску.

До переваг вихрових витратомірів можна віднести: відсутність рухомих елементів в трубопроводі, лінійність шкали, стабільність та точність показань, незалежність показань від температури і тиску вимірюваного середовища, широкий діапазон вимірювань [1, 2].

Недоліками таких приладів є: чутливість до вібрацій та зміни температури, непридатність для вимірювання за малих швидкостей потоку [1, 2].

Серед тахометричних вимірювальних приладів найбільш розповсюдженими для вимірювання потоків газу є швидкісні (турбінні лічильники і витратоміри) і камерні: з еластичними стінками камер (мембранні лічильники) і з рухомими розділювальними елементами (роторні лічильники) [1, 2].

Перевагами тахометричних витратомірів є: мала інерційність, відсутність потреби у живленні, проста обслуговування і ремонту [1, 2].

Недоліками тахометричних витратомірів є: необхідність індивідуального градування, наявність рухомих елементів конструкції, які зношуються, вплив в'язкості вимірюваного середовища на покази [1, 2].

Принцип дії ультразвукових витратомірів базується на використанні ефекту зсуву ультразвукових коливань потоком контрольованого середовища. При розповсюдженні ультразвуку в рухомому середовищі час його проходження від джерела до приймача визначається не тільки швидкістю розповсюдження ультразвукової хвилі, але й швидкістю руху самого середовища. Різниця часу проходження ультразвукової хвилі за напрямом потоку та проти нього пропорційна швидкості потоку, а отже, й об'ємній витраті [1, 2].

Переваги ультразвукових витратомірів окреслюються наступним: простотою конструкції первинного перетворювача, низьким енергоспоживанням, відсутністю рухомих частин та гідравлічного опору, високою точністю [1, 2].

Серед недоліків таких приладів слід відмітити: складність вимірювальних схем, залежність показань від тиску та температури вимірюваного середовища [1,2].

Для порівняння зазначених методів вимірювання розглянемо метрологічні й експлуатаційні характеристики витратомірів газу, що їх реалізують з типорозміром G100 (табл. 1).

Таблиця-1. Характеристики витратомірів

<i>Назва</i>	<i>БК</i> [3]	<i>СВГ.МЗ</i> [4]	<i>DELTA</i> [5]	<i>TZ/FLUXI</i> [6]	<i>Курс-01</i> [7]
Метод вимірювання	Змінного перепаду тиску	Вихровий	Тахометричний		Ультразвуковий
			роторний	турбінний	
Типорозмір	G100	G100	G100	G100	G100
Діаметр номінальний (DN), мм	100	100	50, 80	80	100
Похибка, %	$Q_{\min} \div 0,01 Q_n \pm 3,0$ $0,01 Q_n \div Q_{\max} \pm 1,5$	$Q_{\min} \div 0,1 Q_{\max} \pm 2,0$ $(0,1 \div 0,9) Q_{\max} \pm 1,5$ $(0,9 \div 1) Q_{\max} \pm 1,5$	$Q_{\min} \div Q_t \pm 2,0$ $Q_t \div Q_{\max} \pm 1,0$	$Q_{\min} \div Q_t \pm 2,0$ $Q_t \div Q_{\max} \pm 1,0$	$Q_{\min} \div Q_t \pm 2,0$ $Q_t \div Q_{\max} \pm 1,0$
Втрата тиску*, Па	300	–	325	240	250
Мінімальна витрата Q_{\min} , м ³ /год	1	125	0,8	8	1
Максимальна витрата Q_{\max} , м ³ /год	160	2500	160	160	160
Поріг чутливості, м ³ /год м ³ /год	0,02	62,5	0,07	1,6	0,3
Температура вимірюваного газу, °С	-25÷+40	-40 ÷ +100	-30 ÷ +60	-20 ÷ +60	-50 ÷ +70
Динамічний діапазон	1:160	1:20	1:200	1:20	1:160
Прямі ділянки до і після	–	20DN/5DN	0DN/0DN	2DN/0DN	5DN/3DN

*Примітка: «–» - дані не наведено

ВИСНОВКИ

Розглянуто методи вимірювання витрати природного газу, що отримали найбільшого поширення у вимірювальній практиці. Кожен з методів має індивідуальні особливості, пов'язані з вимогами встановлення і експлуатації.

Проведений аналіз метрологічних і експлуатаційних характеристик витратомірів для типорозміру G100, що реалізують розглянуті методи, свідчить про наступне [3 – 7]:

- найточнішими є тахометричні та ультразвукові витратоміри (їх похибка складає від 1,0 % до 2,0 % у різних діапазонах зміни витрати);
- висока чутливість притаманна витратомірам змінного перепаду тиску та роторним;
- найменшу втрату тиску забезпечують турбінні витратоміри;

- найбільшу максимальну витрату мають вихрові вимірювачі витрати;
- найменша мінімальна витрата у вимірювального приладу роторного класу;
- широкий діапазон температур вимірюваного газу дозволяє застосовувати вихрові витратоміри за різноманітних кліматичних умов.

Отже, кожен клас витратомірів задовольняє певним умовам експлуатаційного використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
- [2] Сучасні методи вимірювання кількості газу / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Технологические системы. Серия: научные разработки и результаты исследований. – 2002. – Вып. 1. – № 2 (13). – С. 118 – 123.
- [3] Диафрагменные счётчики газа ВК-G40; ВК-G65; ВК-G100. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://shopuniveststar.ru/upload/iblock/674/6748797fd0654982da12d6fd4b6743c5.pdf>. – Назва з екрану.
- [4] СЧЕТЧИК ГАЗА ВИХРЕВОЙ СВГ.М3(Л). [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.logika-consortium.ru/wp-content/uploads/2018/03/Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-SVG.M3-L.pdf>. – Назва з екрану.
- [5] DELTA. DELTA S-Flow. Счетчики газа роторные. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://sovlad.com.ua/files/delta_passport_2018.pdf. – Назва з екрану.
- [6] TZ/FLUXI Счетчик газа турбинного типа. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://tehnoincom.com.ua/upload/files/TZ_Fluxi.pdf. – Назва з екрану.
- [7] Расходомер-счетчик газа ультразвуковой Turbo Flow UFG-F. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.logika-consortium.ru/wp-content/uploads/2017/12/Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-chast-1.pdf>. – Назва з екрану.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А.В.

УДК 621.121

О.М. Черногуб, студент гр. ПМ-61
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ДРУКАРСЬКОЇ ФАРБИ

Анотація. В даній статті розглядається автоматизована системи обліку витрати друкарської фарби, при її подачі на восьмисекційній лінії друкарської машини. Проведено опис роботи системи подачі фарби. Розглянуто існуючі методи вимірювання витрати рідин, наведено короткий опис ультразвукових витратомірів, їх типів *та принципу вимірювання*.

Ключові слова: витратомір фарби, вимірювання витрати, ультразвуковий витратомір.

ВСТУП

Система вимірювання витрати фарби є важливим та невід’ємним елементом виробничого процесу. Мета даної роботи – побудова системи інтелектуального контролю витрати фарби при промисловому друці. Що в свою чергу задовільняє ряд виробничих потреб - своєчасний контроль рівня фарби у великій закритій ємності, збір даних для подальшого аналізу, планування та контролю друку.

СИСТЕМА ПОДАЧІ ФАРБИ

Середовище вимірювання - друкарська фарба. Залежно від кольору та виробника характеристики фарби змінюються. Це лужне середовище з балансом рН 17-20, густина фарби змінюється в діапазоні 1-1,5 г/см³, в’язкість більша 21 мм²/с. Складові системи вимірювання повинні бути пристосовані до роботи в агресивному середовищі.

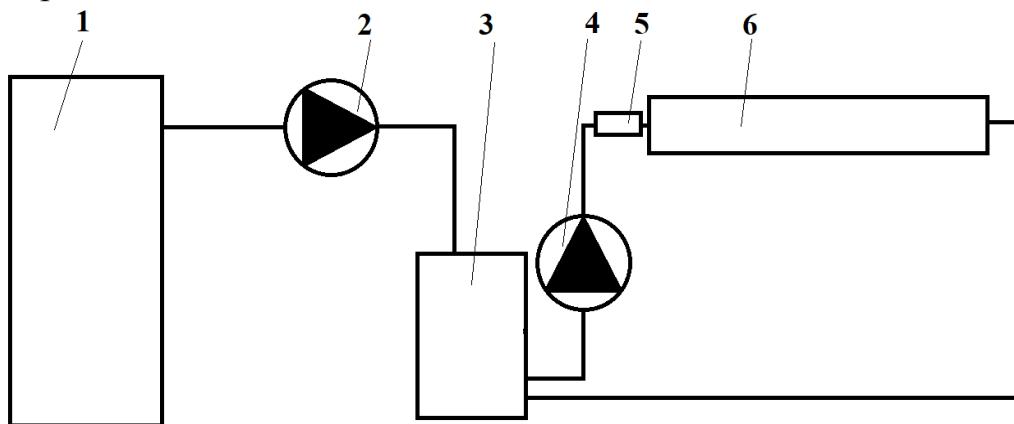


Рисунок 1. Структурно-принципова схема подачі фарби

Процес подачі фарби реалізовано наступним чином (рис.1): фарба з великої ємності (1) подається до проміжної ємності з фарбою (3), за допомогою пневматичного насосу мембранного типу (2). З проміжної ємності фарба подається в ракеельну камеру (6) за допомогою насоса (4). Зворотня подача фарби до проміжної ємності реалізована гравітаційним методом. У проміжній ємності контролюються та підтримуються необхідні для друку параметри фарби: температура, кислотно-лужний баланс та в’язкість, щогодини фарба перемішується для забезпечення її однорідності.

Для вимірювання витрати рідин в динамічних системах використовують прилади, побудовані на різних фізичних методах вимірювання, а саме

витратоміри: механічної дії, на основі акустичних явищ, електромагнітні витратоміри[1, 2].

Для вимірювання витрат забруднених, агресивних рідин і пульп, а також потоків, в яких можливі великі зміни (пульсації) витрат використовуються акустичні витратоміри, найчастіше ультразвукові.

Ультразвукові витратоміри поділяються на:

1. Кореляційні;
2. Часопрохідні;
3. Доплерівські.

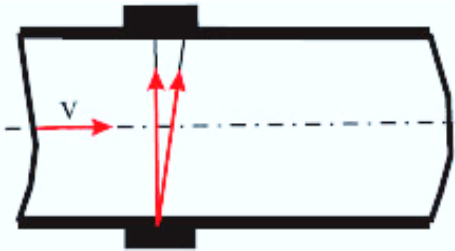


Рисунок 2. Кореляційний метод

чи два приймачі (рис.2), встановлених на протилежних стінках перпендикулярно потоку. Після проходження сигналу через вимірювальне середовище визначається величина зносу або кут зносу сигналу.

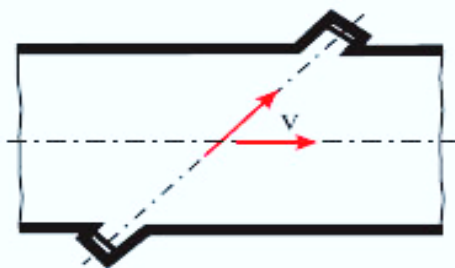


Рисунок 3. Часопрохідний метод

різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів ультразвукових коливань та безпосередній вимір різниці часу проходження коротких імпульсів.

Ультразвукова хвиля рухається уздовж трубопроводу спочатку в напрямку потоку, а потім - у протилежному. Характеристики вимірюваного середовища впливають на швидкість звуку в ньому. За різницею швидкості проходження сигналу обчислюється витрата.

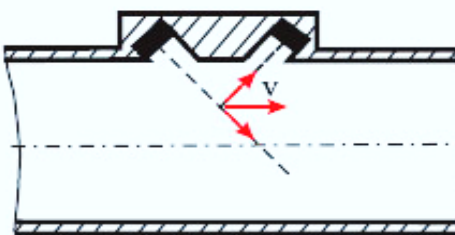


Рисунок 4. Метод ефекта Доплера

1. Кореляційний метод, або метод зносу ультразвукового сигналу базується на вимірюванні відхилення ультразвукового сигналу в бік руху потоку речовини. Швидкість руху потоку впливає на величину кута відхилення сигналу. Конструктивно витратоміри представляють собою два чи три датчика – один випромінювач сигналу та один

2. Часопрохідні витратоміри визначають поширення ультразвуку за та проти течії. Існують різні схеми часопрохідних ультразвукових витратомірів. Вони можуть бути як одно- так і багатоканальними, вимірювальні канали можуть бути розташовані на вісі та під кутом до потоку (рис.3). Розрізняють прилади, що вимірюють різниці фазових зсувів ультразвукових коливань,

3. Доплерівські витратоміри засновані на ефекті Доплера – зміни частоти і довжини хвиль, викликані рухом джерела і/або рухом приймача хвиль. Принцип дії таких приладів полягає у порівнянні частоти двох сигналів: вихідного і сигналу, який відбився від рухомих частинок середовища (рис.4).

Витратоміри можуть бути контактні й безконтактні залежно від того чи стикається

п'єзоелемент або його мембрана із рідиною чи ні. За способом монтажу прилади можуть бути як врізаними, так і накладними [3, 4].

Перевагами ультразвукових витратомірів є: висока точність вимірювання в широкому діапазоні, великий вибір типорозмірів, точність вимірювання, відсутність рухомих частин, простота монтажу, налаштування та обслуговування [5, 6].

ВИСНОВОК

З огляду на особливості вимірюваного середовища, процес промислового друку, діапазони можливих витрат системи подачі фарби, можна зробити висновок, що доцільно застосувати у ній ультразвуковий витратомір. Ультразвукові витратоміри зайняли провідні позиції на ринку завдяки високій точності вимірювання в широкому діапазоні, підвищеній надійності за рахунок відсутності рухливих елементів, великій кількості можливих методів та схем вимірювання, можливості монтажу без зупинки технологічного процесу (для накладних приладів), а також можливим вимірюванням витрати без контакту з вимірюваним середовищем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Биргер Г.И., Бражников Н.И. Ультразвуковые расходомеры: Монография. — Москва: Металлургия, 1964. — 382 с.
- [2] П.П. Кремлевский “Расходомеры и счетчики количества.—Л.: Машиностроение, 1975. — 776с.; 1989.-701с
- [3] Бобровников Г.Н., Новожилов Б.М., Сарафанов В.Г. Бесконтактные расходомеры. — М.: Машиностроение, 1985.- 127с
- [4] Часово-імпульсний метод вимірювання витрати [Електроний ресурс] : Режим доступу:<http://www.rossnab-com.ru/index.php/articles/84-vi-princip.html>. — Назва з екрану.
- [5] Ультразвуковий метод вимірювання витрати [Електроний ресурс] : Режим доступу <https://eno-tek.ru/blog/teplo-blog/ultrasonic-method>. — Назва з екрану.
- [6] Принцип роботи ультразвукового витратоміра [Електроний ресурс] : Режим доступу <http://meterflow.ru/princip-deystviya-ultrazvukovogo-ra>. — Назва з екрану.

Наук. керівник – асистент, Драчук О.О.

Секція 9.
**МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 621.791.3

*В.І. Завальський, студент гр. МТПм-19-1, к.т.н. Чуйко М.М.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ЗМОЧУВАННЯ ПРИПОЄМ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ПАЯННЯ

Анотація У даній роботі подано основні вимоги, які ставляться до припоїв для забезпечення міцного механічного з'єднання деталей та якісного електричного контакту в процесі паяння. Також розглянуто принцип роботи розробленого пристрою контролю змочування припоєм основного матеріалу паяння із застосуванням інфрачервоних перетворювачів, що дозволяє визначити величину крайового кута змочування припою на основі параметрів лежачої краплі. Здійснено аналіз факторів впливу на процес вимірювання та встановлено основні складові невизначеності, на базі яких розроблена схема нагромадження сумарної невизначеності пристрою. Здійснено розрахунок складових інструментальної та методичної невизначеностей, на основі яких визначено сумарну стандартну невизначеність розробленого пристрою. Наведено висновки щодо доцільності розробки пристрою та достовірності отриманих результатів контролю.

Ключові слова припій, змочування, крайовий кут змочування, пристрій, невизначеність.

ВСТУП

Для здійснення якісного процесу паяння окремих деталей та їх елементів для забезпечення електричного контакту і міцного механічного з'єднання, використовувані припої повинні якомога краще змочувати основний матеріал, розтікатися його поверхнею і проникати у щілини. Змочувальні властивості матеріалу, в основному, залежать від його фізико-хімічного складу, який і визначає характер взаємодії (змочування чи незмочування) з іншими речовинами. Кількісним параметром, що характеризує змочування є крайовий кут змочування θ (ККЗ), значення якого змінюється в межах від 0° до 180° , і чим менше значення ККЗ, тим кращими змочувальними властивостями характеризуються контактуючі фази [1]. Тому для забезпечення якісного з'єднання необхідно вибирати припої з оптимальними змочувальними властивостями відносно окремо взятого матеріалу деталі.

ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Для контролю змочування припоєм основного матеріалу паяння розроблено пристрій, в основу якого покладено метод визначення ККЗ на основі параметрів лежачої краплі (діаметру d_k та висоти h_k) згідно [2]:

$$\theta = 2 \arctg \frac{2h_k}{d_k}, \quad (1)$$

Вимірювання висоти краплі h_k здійснюємо за допомогою матриці інфрачервоних (ІЧ) перетворювачів, що розміщується горизонтально над дослідженою поверхнею із нанесеною краплею припою. Діаметр краплі d_k визначаємо за допомогою цифрового мікроскопа та еталонної шкали.

Принцип роботи пристрою заснований на вимірюванні інтервалу часу між моментом випромінювання зондуючого ІЧ моноімпульса (старт-імпульс) і моментом прийому випромінювання, відбитого від об'єкта (стоп-імпульс). Імпульс формується ІЧ перетворювачами, які розташовані на матричному модулі, який, в свою чергу, керується блоком управління матричним модулем. Відбите від об'єкта контролю випромінювання потрапляє в фототранзистор ІЧ перетворювача і підсилюється за допомогою підсилювача. Вимірювач часових інтервалів, що

зв'язаний із тактовим генератором, починає роботу в момент випромінювання ПЧ імпульсу діодом матриці і завершує її в момент прийому відбитого випромінювання приймальним фототранзистором, сигнал якого підсилюється, видаючи цифровий код отриманого результату. Блок синхронізації і управління здійснює інтерпретацію коду у висоту краплі припою, формує сигнал на індикаторі, а також приймає команди блоку управління. Нагрівання об'єкта контролю, а саме зразка основного матеріалу з певною дозованою масою припою здійснюється нагрівачем, роботою якого керуємо за допомогою блоку управління нагрівачем. Для забезпечення робочої температури матричного модуля у розробленому приладі передбачено охолоджувач на основі елементів Пельтьє, який, в свою чергу, керується блоком управління охолоджувачем. Живлення нагрівача та охолоджувача здійснюється від блоку живлення, а елементи вимірної схеми через низьковольтний стабілізатор напруги.

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ

На основі аналізу впливу різноманітних факторів на процес вимірювання крайового кута змочування за параметрами лежачої краплі припою встановлено основні складові невизначеності, на базі яких розроблена схема нагромадження сумарної невизначеності пристрою, що подана на рисунку 2.

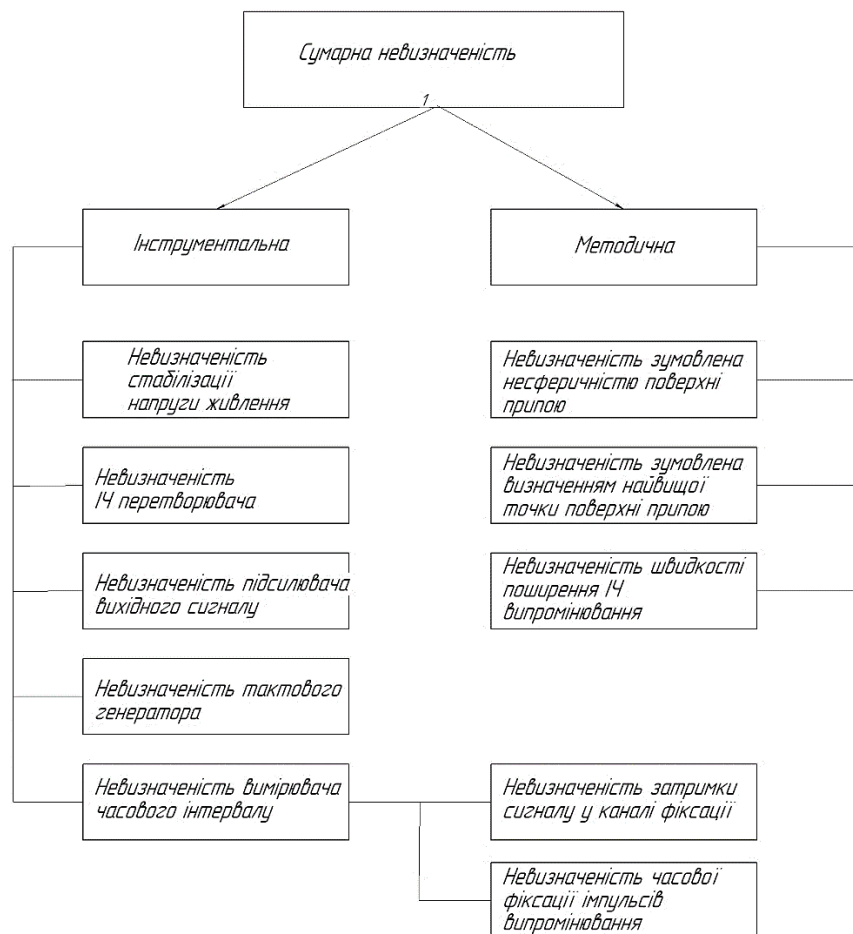


Рисунок 2. Схема нагромадження сумарної невизначеності пристрою для контролю змочування припоєм основного матеріалу

В загальному всі складові невизначеності в залежності від причини їх виникнення поділяються на інструментальні та методичні.

РОЗРАХУНОК ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИБРОЮ

Складові сумарної невизначеності визначаємо за типом В на основі відомих експериментальних даних про відхилення вимірюваної величини, спричинене конкретною складовою невизначеності, які подані у [3]. Закон розподілу кожної із складових невизначеності вважатимемо рівномірним, оскільки з однаковою ймовірністю можливе попадання значення із інтервалу границями якого є визначені відхилення [3,4].

Невизначеність стабілізації напруги живлення u_c задається нестабільність вихідної напруги з абсолютною похибкою $\delta_c = 0,4\%$ і розраховується за формулою:

$$u_c = \frac{\delta_c}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23\%. \quad (2)$$

Невизначеність ІЧ перетворювача $u_{ІЧП}$ зумовлена нелінійністю перетворення сигналу, а абсолютна похибка його відповідає $0,5\%$ та розраховується за формулою:

$$u_{ІЧП} = \frac{\delta_{ІЧП}}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,28\%. \quad (3)$$

Невизначеність підсилювача u_n , що вноситься за рахунок температурної нестабільності і розкидом параметрів опорів підсилювача, розраховується (3.11) на основі абсолютного відхилення вимірювального сигналу, яке становить 1% і розраховується за формулою:

$$u_n = \frac{\delta_{сигн.}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58\%. \quad (4)$$

Невизначеність тактового генератора u_2 зв'язана з нелінійністю та похибкою, яка обумовлена кінцевою дискретністю вимірювача часових інтервалів абсолютна похибка якого становить $\delta_T = 0,5\%$ та розраховується:

$$u_2 = \frac{\delta_2}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,28\%. \quad (5)$$

Невизначеність вимірювача часового інтервалу $u_{ВЧІ}$ виникає при вимірі тимчасового інтервалу між моментами посилення і прийому випромінювання зондуючого імпульсу. Дана невизначеність зумовлена: систематичною похибкою, яка обумовлена різним часом затримки сигналу в каналах фіксації випромінюваного (старт) і прийнятого (стоп) імпульсів та похибкою тимчасової фіксації імпульсів випромінювання. Максимальна абсолютна похибка даного вимірювача становить $1,2\%$:

$$u_{ВЧІ} = \frac{\delta_{ВЧІ}}{\sqrt{3}} = \frac{1,2}{\sqrt{3}} = 0,69\%. \quad (6)$$

Сумарна інструментальна невизначеність розраховується за формулою [3]:

$$U_{інст} = \sqrt{\sum_i u_i^2} = \sqrt{u_c^2 + u_{ІЧП}^2 + u_n^2 + u_2^2 + u_{ВЧІ}^2} = \sqrt{1,02} = 1,01\%. \quad (7)$$

РОЗРАХУНОК МЕТОДИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИСТРОЮ

Несферичність поверхні припою вносить додаткову невизначеність u_{nn} у результат вимірювання за рахунок обмежених умов використання розрахункової формули ККЗ, що в абсолютних одиницях становить $\delta_{nn}=1,2\%$ і розраховується за формулою:

$$u_{nn} = \frac{\delta_{nn}}{\sqrt{3}} = \frac{1,2}{\sqrt{3}} = 0,69\%. \quad (8)$$

Невизначеність зумовлена неточністю визначення найвищої точки краплі припою (висоти краплі) $u_{ек}$ для якої максимальне значення абсолютної похибки становить $1,5\%$, розраховується за формулою:

$$u_{ек} = \frac{\delta_{ек}}{\sqrt{3}} = \frac{1,5}{\sqrt{3}} = 0,86\%. \quad (9)$$

Невизначеність швидкості поширення ІЧ випромінювання $u_{ш}$ від впливу температури нагрітого ОК зумовлена температурною залежністю довжини хвилі ІЧ випромінювання від температури та становить $\delta_{ш}=0,8\%$ в абсолютних одиницях, розраховується за формулою:

$$u_{ш} = \frac{\delta_{ш}}{\sqrt{3}} = \frac{0,8}{\sqrt{3}} = 0,46\%. \quad (10)$$

Сумарна методична невизначеність приладу:

$$U_{мет} = \sqrt{\sum_i u_i^2} = \sqrt{u_{nn}^2 + u_{ек}^2 + u_{ш}^2} = \sqrt{1,67} = 1,29\%. \quad (11)$$

Сумарна невизначеність розробленого пристрою становить:

$$U = U_{інст} + U_{мет} = 1,01 + 1,29 = 2,3\%.$$

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження впливу різних факторів на процес контролю якості паяльних матеріалів, на основі якого розроблено схему нагромадження сумарної стандартної невизначеності, розраховано її значення, яке становить $2,3\%$, що дає підстави стверджувати про доцільність розробки пристрою та достовірність отриманих результатів контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон. – М.: Химия. – 1974. – 416 с.
- [2] Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / І.С. Кісіль. – Івано-Франківськ: Вид-во “Факел”. – 2002. – 400 с.
- [3] Захаров І.П. Теория неопределенности в измерениях. Учеб. пос. / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Харьков, Консум. – 2002. – 256 с.
- [4] Новицький П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицький, И.А. Зограф. – Л.: Электроатомиздат. – 1991. – 302 с.

УДК 621.391

А.І. Шорін, студент гр. ПВ-91мп, д.т.н., проф. Яремчук Н.А.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ НАЯВНОСТІ СТОРОННІХ УТВОРЕНЬ В СУДИНАХ

Анотація. В роботі запропоновано одночасне використання двох методів вимірювання швидкості кровотоку, на яких засновано діагностування наявності сторонніх утворень в судинах. Отримання кінцевого діагнозу за лінгвістичною шкалою ґрунтується на об'єднанні результатів вимірювання швидкості кровотоку з застосуванням правил нечіткої логіки.

Ключові слова: швидкість кровотоку, діагностування сторонніх утворень, лінгвістична шкала.

ВСТУП

Для нормального функціонування тканин і органів дуже важливо їх фізіологічно адекватне кровопостачання. Одними з фізіологічно важливих параметрів є об'ємна швидкість кровотоку в судинах і кровонаповнення тканин у відсотках до обсягу тканини, тому для діагностування наявності сторонніх утворень в судинах використовується об'ємна швидкість кровотоку і її зміни в залежності від ступеня деформації судин.

Вимірювання швидкості кровотоку реалізують за принципами ультразвукових та лазерних зондувань тканин.

Допплерівський витратомір безперервної дії дозволяє вимірювати швидкість таких рідин, які містять частки, що відбивають падаючий на них звуковий сигнал (у крові такими частками є еритроцити).

Випромінювач ультразвуку спрямовує сигнал на досліджувану судину. Досягнувши рухомої клітини, ультразвук відбивається від неї зі зміщеною частотою, а відбитий сигнал реєструється приймачем, датчик якого ідентичний кристалу, що випромінює ультразвук, за доплерівським зсувом відбитого сигналу визначають лінійну швидкість кровотоку [1].

Лазерна доплерівська флоуметрія - метод, який використовується для вимірювання об'ємної швидкості кровотоку і оцінки стану мікроциркуляторного русла. Для дослідження мікроциркуляції крові застосовується зондування тканини лазерним випромінюванням з реєстрацією доплерівського зсуву частоти розсіяного когерентного лазерного випромінювання рухомими в тканини клітинами крові [2].

Оскільки точність вимірювання невисока і на результат діє багато впливних величин, то для збільшення достовірності діагностування запропоновано використання надлишкових вимірювань, за якими значення діагностичної ознаки отримуються двома методами, а результати об'єднують. Кінцевий результат діагностування подають за допомогою лінгвістичної шкали : сторонні включення «незначні», «суттєві», «значні».

Метою є розробка алгоритму опрацювання вимірювальної і діагностичної інформації системи діагностування наявності сторонніх утворень в судинах.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Особливістю системи на відміну від існуючих систем вимірювання кротоку є наявність додаткового інформаційного каналу (крім ультразвукового) з застосуванням лазерного випромінювання, а також багатоканального вимірювання цих параметрів крові на кінцівках людини одночасно. На вхід обох каналів подається сигнал інформативним параметром якого є лінійна швидкість кровотоку.

Структурна схема представлена на рис. 1, з використанням ультразвукового випромінювання датчик на 7,5 МГц. Для оптичного тракту використовується напівпровідниковий лазер [3].



Рисунок 1 – Структурна схема розробленої системи

Зміни судини при стенозі, що призводять до зменшення діаметра судини, представлені в таблиці 1. При цьому необхідно зазначити, що у формулі Пуазейля об'ємна швидкість кровотоку знаходиться в сильній статичній залежності від радіуса судини пропорційно від r^4 . Це означає, що незначний стеноз судини і пов'язане з цим зменшення її радіусу буде приводити до помітних змін кровопостачання тканин [4].

Найважливішим кількісним параметром для визначення наявності сторонніх утворень є потік або витрата крові V_{voe} .

Витрата крові визначається за безпосередньо вимірюваною величиною TAV (time average velocity), усереднену за часом і середню за перерізом кровоносної судини [5]. Об'ємна швидкість кровотоку $V_{\text{voe}} = A \cdot \text{TAV} \cdot 60$, де A – площа поперечного перерізу судини. TAV і V_{voe} – найважливіші діагностичні ознаки для ідентифікації цілого ряду судинних патологій. Крім того використовується цілий ряд діагностичних ознак, такий, наприклад індекс опору RI, що визначається як: $RI = (V_s - V_d) / V_s$, де $V_s = \max[V_{\text{max}}(t)]$ – максимальна систолічна швидкість, $V_d = \min[V_{\text{max}}(t)]$ – кінцева діастолічна швидкість [5].

Тому блок первинного опрацювання даних призначених для отримання значень обраних діагностичних ознак.

В бібліотеці лінгвістичних шкал зберігається розроблені за діагностичними ознаками шкали для пацієнтів різних вікових груп і для різних ланок кровоносної

системи або судин різного калібру. Шкала з нечіткою лінгвістичною змінною – це терм-множина лінгвістичної змінної, що складається з трьох термів за результатами діагностування: T_1 – незначні; T_2 - суттєві; T_3 - значні. Функції приналежності окремих термів будуються за отриманими з літературних джерел областями визначення діагностичних параметрів, форма функцій приналежності прямокутна [6].

Розрахуємо об'ємну швидкість кровотоку і її зміни в залежності від ступеня деформації судин з використанням формули Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 (P_1 - P_2)}{8\mu L}, \quad (1)$$

де: Q - об'ємна швидкість кровотоку; r - радіус судини; $P_1 - P_2$ - різниця тисків; μ - в'язкість крові; L - довжина судини.

Середня в'язкість крові $\mu = 0,0045$ Па*с. Розміщення даного тиску в артеріях, що відповідає середньому домену в системі СІ, $P = 3900$ Па.

За розрахунками (1) було виявлено, що об'ємна швидкість кровотоку зменшується майже в 15 разів при розтягуванні судин на 50%.

Згідно з отриманими розрахунковими даними об'ємної швидкості можна класифікувати рівень небезпеки за даними «табл. 1» для стегнової артерії [4].

Таблиця 1
Зміна об'ємної швидкості від стенозу судини

Стеноз стегнової судини %	0	10	20	50
Об'ємна швидкість Q (мл/хв)	339	212	139	23

Стеноз судини при 0% можна класифікувати як «відсутній», в той час при стенозі на 10, 20 та 50 % можна класифікувати як: «незначні», «суттєві», «значні» відповідно.

Так за даними для загальної стегнової артерії [7], середнє значення TAV становить 300 ± 50 (мл/хв), а діапазон становить від 212 до 424 мл/хв, може бути запропонована функція приналежності $\mu(T_1(x))$:

$$\mu(T_1(x)) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 250 \leq x < 350 \\ \frac{424-x}{424-212}, & \text{якщо } 212 \leq x \leq 424 \\ 0, & \text{якщо } 212 > x \end{cases}$$

Нечіткий класифікатор визначає активізовані функції приналежності за перерізом результату вимірювання і функціями приналежності терм-множини лінгвістичної змінної, модифікує за значеннями ординат перерізу і формує функцію приналежності за першим діагнозом (тобто за першим вимірювальним каналом)

Така же процедура проводиться з результатом вимірювання за другим вимірювальним каналом.

Після цього визначається результируюча функція приналежності (аккумуляція двох діагностичних висновків).

Кінцевий діагноз отримують за центром ваги аккумулявальної функції приналежності(дефаззіфікація).

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано одночасне використання двох методів вимірювання швидкості кровотоку, на яких засновано діагностування наявності сторонніх утворень в судинах, що дозволяє збільшити достовірність діагностування

Наведено структурну схему системи і алгоритм опрацювання вимірювальної і діагностичної інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Вебстер Дж. Г.Медицинские приборы. Разработка и применение/ Камышко И.В., Калашник Д.А//– 2004.
- [2]ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЛАЗЕРНОГО ФЛОУМЕТРА И ИЗМЕРЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23816>.
- [3]Богомоллов М.Ф., Шорін А.І. – «Універсальний оптоакустичний пристрій для виявлення сторонніх включень у крові людини». – ДЕВ'ЯТНАДЦЯТА міжнародна науково-технічна конференція "ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ" (ВОТТП-19-2019). – 85 с.
- [4]ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ НАРУШЕНИЯ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ИХ ДЕФОРМАЦИИ. // «Медицина и образование в Сибири». – 2013. – №4.
- [5]В.Г. Лелюк, С.Э. Лелюк. Ультразвуковая ангиология. Издательство «Реальное время», М. 2003,330с.
- [6]Маліков. Застосування ефекту доплера для діагностики кінцівок людини [Електронний ресурс] / Маліков. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25481/1/Malikov_magistr.pdf.
- [7]Ю.А.Буров. Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия как метод прогнозирования результатов реваскуляризации у больных с критической ишемией нижних конечностей [Електронний ресурс] / Ю.А.Буров. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.transonic.ru/books/book98/burov8.html>.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Яремчук Н. А.

УДК 681.142

А.Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91мп, д.т.н., проф. Н.А. Яремчук
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ

Анотація. При визначенні рівня шорсткості поверхонь після механічної обробки використовується їх візуальний контроль, за яким на основі результатів багаторазових спостережень отримують вербальну вибірку, що характеризує якість обробки поверхні. В роботі розглянуто алгоритм роботи системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь, що заснований на знаходженні центральної тенденції вибірки вербальних даних.

Ключові слова: рівні шорсткості, візуальний контроль, вербальна вибірка.

ВСТУП

В експериментальній інформатиці розрізняють наступні види шкал : метричні (відношень, різниць та абсолютні), шкали ординальних величин і шкали найменувань [1]. Ці шкали забезпечують відображення властивостей у відповідних процедурах експериментальної інформатики : спостереженні, вимірюванні, контролі, діагностуванні, тощо [2]. Якщо процедурою експериментальної інформатики є спостереження, то результатом є відображення прояву властивості словесним або графічним описом, тобто при спостереженні використовується шкала найменувань. Але якщо між проявами властивостями існує відношення порядку, застосовується впорядкована шкала найменувань або впорядкована лінгвістична шкала, що є шкалою квазіпорядку, в якій визначається порядок на класах еквівалентності. Така шкала є проміжною між шкалою найменувань і ординальною шкалою.

В даній роботі розглядається процедура визначення рівня шорсткості поверхонь після їх механічної обробки. Шорсткість поверхні визначається за сукупністю нерівностей поверхні з відносно малою відстанню за базовою довжиною. Вимірювана шорсткість є наслідком технологічної обробки поверхонь, наприклад, абразивами. Тому вона може використовуватись для характеристики якості технологічного процесу . Стандарт ISO 8503 [3] визначає вимоги із застосуванням компараторів профілю, що призначені для візуального і тактильного порівняння сталевих поверхонь, оброблених абразивним способом. Отже в основі експериментальної процедури знаходиться спостереження за яким визначається три рівні шорсткості : тонкий (Т), середній (С), грубий (Г). Тобто шорсткість визначається за шкалою квазіпорядку з трьома категоріями або класами еквівалентності.

Основною метою роботи є розробка алгоритму опрацювання даних, отриманих при багаторазових спостереженнях рівня шорсткості, який реалізується в системі визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Система визначення рівня шорсткості поверхонь складається з наступних блоків: блок порівняння профілів (блок класифікації), блок передачі отриманих даних, блок опрацювання вибірок вербальних даних.

Вихідною інформацією для класифікації є класи шорсткості поверхонь, що групуються наступним чином: 1,2,3 – грубі; 4,5 – напівчисті; 6,7,8 – чисті;

9,10,11,12 – дуже чисті; 13,14 – найвищої чистоти. Контроль шорсткості за допомогою зразків [4] порівняно простий і широко застосовується на робочих місцях. При контролі порівнюють шорсткість поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонного зразка шляхом огляду і обмацування нігтем або пальцем упоперек слідів оброблення поверхні. Еталонні зразки це зразки відповідної форми, виготовлені з того ж матеріалу і оброблені тим самим способом, що і деталь під контролем. Порівнюючи оброблену поверхню деталі, яку перевіряють, з еталонним зразком, що до неї прикладають, встановлюють клас чистоти обробки. Недоліком візуального метода класифікації є суб'єктивізм оцінювання. За літературними джерелами такий спосіб порівняння дає правильні результати при перевірці деталей від 1-го до 7-го класів чистоти. При використанні допоміжних засобів, таких як збільшувач лупа, область правильної перевірки розширюють до 10-го класу. Тому на практиці за даним способом обмежуються трьома рівнями шорсткості : грубим, середнім і тонким. Загальний висновок про рівень шорсткості приймають за вибіркою , що в середньому складається з п'яти спостережень . Тому подальшою задачею є вибір алгоритму визначення центральної тенденції вербальної вибірки, складові якої класифіковано за трьома рівнями: грубий – Г, середній – С, тонкий – Т.

Класифікувати вербальні вибірки за центральною тенденцією дозволяють такі оператори як емулятор середнього значення вербальної вибірки OWA [5] і медіана вибірки. Оператор OWA визначається як

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{n}{\text{Max}}} \{ \text{Min} \{ Q(k), b_k \} \} \quad , (1)$$

де

$$Q(k) = S_{f(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, n;$$
$$f(k) = \text{Int} \{ 1 + [k(t-1) / n] \};$$

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

b_k – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Медіану ранжованої вибірки доцільно використовувати при непарному значенні n. При парному n результат отримання центральної тенденції може бути неоднозначним.[6]

З метою подальшого вибору алгоритму опрацювання вербальних даних проведено моделювання процедури знаходження центральної тенденції за двома методами: за оператором OWA і медіаною. Для дослідження використовуються вербальні вибірки після її ранжування за спаданням якості оброблення поверхні. Об'єм вибірки n=5, кількість вербальних градацій t=3. Вагова функція оператора OWA f(k) становить f(1)=1, f(2)=2, f(3)=2, f(4)=3, f(5)=3; Q(1)=S₁=Г; Q(2)=S₂=С; Q(3)=S₂=С; Q(4)=S₃=Т; Q(5)=S₃=Т. Для третього рядка таблиці 1:

$$OWA = \text{Max} \{ \text{Min}(\Gamma, C); \text{Min}(C, C); \text{Min}(C, \Gamma); \text{Min}(\Gamma, \Gamma); \text{Min}(\Gamma, \Gamma) \} = C$$

Результати моделювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінювання центральної тенденції вербальних вибірок

<i>Досліджувані вибірки</i>	<i>Центральна тенденція</i>		
	<i>За медіаною</i>	<i>За оператором OWA</i>	<i>За двома способами</i>
ГГГГГ	Г	Г	Г
СГГГГ	Г	Г	Г
ТГГГГ	Г	Г	Г
ССГГГ	Г	С	НГ
ТСГГГ	Г	С	НГ
ТТГГГ	Г	С	НГ
СССГГ	С	С	С
ССССГ	С	С	С
ССССС	С	С	С
ТССГГ	С	С	С
ТТСГГ	С	С	С
ТСССГ	С	С	С
ТТССГ	С	С	С
ТТТГГ	Т	С	НГ
ТТТСС	Т	С	НГ
ТТТСГ	Т	С	НГ
ТТТТГ	Т	Т	Т
ТТТТС	Т	Т	Т
ТТТТТ	Т	Т	Т

За проведеним моделюванням можна зазначити наступне. Результати визначення центральної тенденції за медіаною і оператором OWA не завжди співпадають. Це пояснюється тим, що медіана нечутлива до змін крайніх членів впорядкованої вибірки, а емулятор середнього арифметичного за вербальною вибіркою OWA навпаки чутливий. Це призводить до того, що при наявності відхилень на краях вибірки за оператором OWA центральна тенденція зміщується в бік відхилення, в результаті чого збільшується кількість вибірок, класифікованих за середнім класом еквівалентності, що видно на таблиці 1. Що до оцінки за медіаною то її не рекомендують для застосування при антимодальному розподілі членів вибірки.

Так як обидві оцінки не є універсальними, то для підвищення точності визначення центральної тенденції вербальної вибірки запропоновано використати два способи визначення центральної тенденції: за медіаною і за оператором OWA. В тих випадках, коли результати визначення центральної тенденції не співпадають (знаходяться в сусідніх класах еквівалентності) запропоновано використовувати проміжні класи еквівалентності у відповідності з наведеними вище рівнями шорсткості: грубий (Г), напівгрубий (НГ), середній (С), напівточний (НТ), точний (Т). Це відображено в останньому стовпці таблиці 1.

Тоді до алгоритму опрацювання вибірки вербальних даних входять наступні етапи: ранжування вибірки за порядком спадання якості оброблення, визначення центральної тенденції за оператором OWA і медіаною, об'єднання результатів визначення центральної тенденції і визначення кінцевого рівня шорсткості.

ВИСНОВКИ

В роботі представлено алгоритм роботи системи з визначення рівня шорсткості поверхонь на основі візуального і тактильного контролю. Рівень шорсткості визначається за центральною тенденцією вербальної вибірки, яка складається з результатів багаторазових порівнянь шорсткості поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонних зразків. Проаналізовано результати визначення центральної тенденції вербальної вибірки за медіаною вибірки і емулятором середнього арифметичного для вербальної вибірки OWA. Запропоновано об'єднання результатів визначення центральної тенденції за двома операторами в алгоритмі опрацювання вербальних даних системи з визначенням проміжних класів еквівалентності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. Навчальний посібник. К.:ІСЛО, 1994. – 160с.
- [2] Яремчук Н. А. Интеллектуальные средства измерительной техники: Учебное пособие: Том 1. Методология интеллектуальных средств измерительной техники. – К. Корнійчук, 2017. – 208с.
- [3] ISO 8503-1:2012. Preparation of steel substrates before application of paints and related products.-Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates.-Part 1 Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast0cleaned surfaces.
- [4] ISO 8509:2008. Visual assessment of surface cleanliness.
- [5] Yager R., Filev DP. Essentional of Fuzzy Modeling and Controlю Wiley: New York, 1994.
- [6] Шумілін А.Г., Яремчук Н.А – “Способи визначення центральної тенденції вибірок вербальних даних”. – Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – 487с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Яремчук Н. А.

Секція 10.
АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 531.74

В.С. Кузьменко, студент гр. ВМ-61-2, к.т.н., доц. Стаценко О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Анотація. Стаття присвячена визначенню підходів до вимірювання кута нахилу поверхні. В статті розглянуті основні підходи до побудови таких пристроїв, визначені особливості використання трьохосьових акселерометрів для вирішення цієї задачі. Розроблена структура пристрою для вимірювання кута нахилу поверхні.

Ключові слова: інклінометр, трьохосьовий акселерометр.

ВСТУП

Вимірювання нахилу поверхні є обов'язковим для безпечної експлуатації різноманітних споруд, будівельних машин, промислового обладнання та інше [1]. Загалом пристрої для вимірювання кута нахилу застосовуються:

- в будівництві для визначення крену висотних будівель, опор і прольотів мостових споруд, тунелів;
- гірничій справі для визначення кута і азимута викривлення свердловин і шахт, що дозволяє контролювати їх просторове положення;
- в геодезії та при будівництві транспортних шляхів, магістралей;
- в машинобудуванні, де необхідно контролювати просторове положення маніпуляторів або окремих елементів обладнання;
- в інших застосуваннях.

Під кутом нахилу поверхні розуміють кут (рис.1), що утворений лінією найбільшого нахилу поверхні MN та її проекцією на горизонтальну площину M_1N_1 [2].

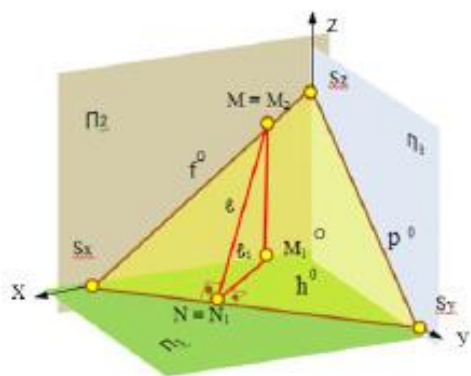


Рисунок 1. Лінія найбільшого нахилу поверхні

Для вимірювання цього кута використовують спеціальні прилади, що мають назву інклінометри. Ці прилади, окрім вимірювання нахилу, також можуть вимірювати напрям розташування приладу. За конструкцією розрізняють інклінометри рідинні, маятникові, магнітні, фотооптичні, електромагнітні та гіроскопічні.

Останнім часом широке розповсюдження отримали інклінометри, у яких в якості чутливого елемента використовуються трьохосьові акселерометри, побудовані на основі мікро електромеханічних систем (MEMS). При цьому використовується ефект гравітації на малих масах, підвішених в пружній опорній конструкції. Коли інклінометр знаходиться в горизонтальному положенні, то вимірюється ємність між електродами. Якщо датчик нахилений, рухома маса і його контакт змінюють положення щодо нерухомого електрода. Це призведе до зміни ємності між масою і несучою структурою. Кут нахилу розраховується за виміряними ємностями.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Сьогодні на ринку присутня значна кількість інклінометрів. Наприклад компанія Kubler пропонує одноосьові та двоосьові інклінометри (рис.2), які мають різний діапазон вимірювання, різну чутливість та точність. Для зручності їх використання вихідний сигнал цих приладів може бути як аналоговим, так і цифровим.

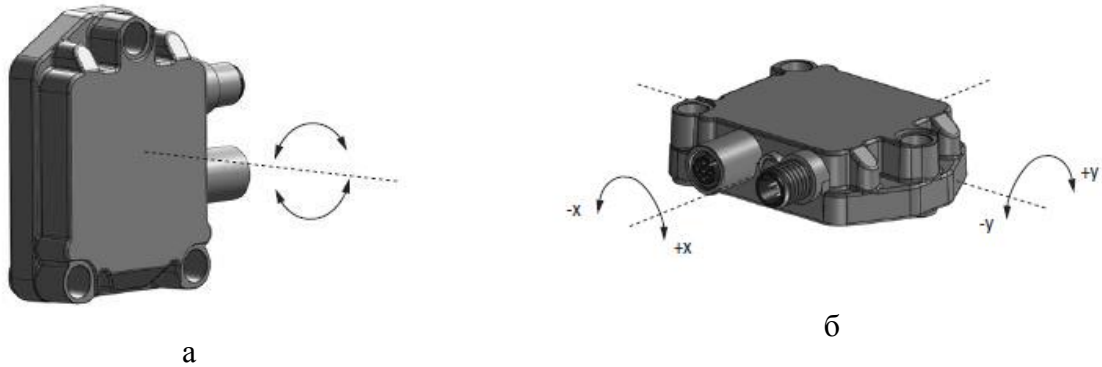


Рисунок 2. Інклінометри фірми Kubler (а – одноосьові, б - двоосьові)

Одночасно з цим виробники не розкривають внутрішньої структури своїх виробів, що ускладнює аналіз їх роботи. Тому актуальною є задача розробки цифрового інклінометра. Побудову такого пристрою доцільно виконувати з використанням трьохосьового акселерометра.

В якості такого акселерометра можна використати ADXL345 [3]. Це є невеликий, тонкий, з наднизьким енергоспоживанням трьохосьовий акселерометр, що забезпечує високу роздільну здатність вимірювань (13 біт) в діапазонах $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ або $\pm 16g$. Цифрові вихідні дані відформатовані як 16-бітні послідовності в доповненому коді і доступні через SPI (3- або 4-провідний) або I²C цифрові інтерфейси. Функціональна схема датчика показана на рис.3.

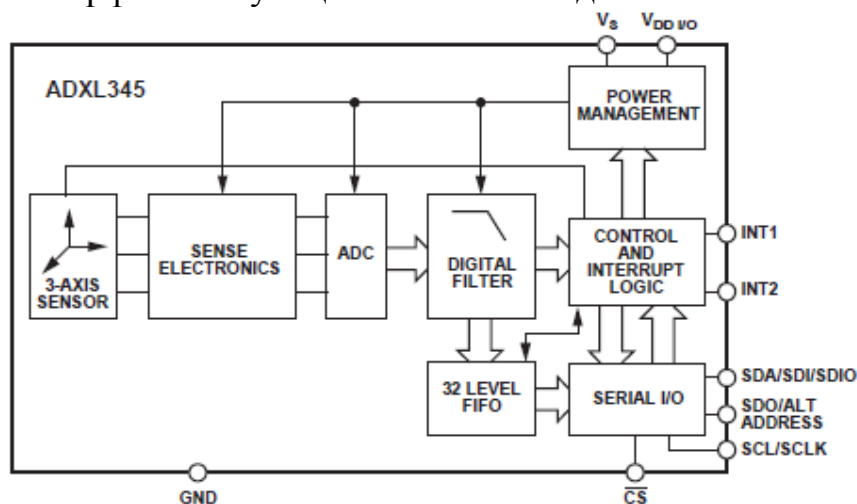


Рисунок 3. Функціональна схема ADXL345

Чутливий елемент цього датчика являє собою полікремнієву поверхневу мікромеханічну структуру, побудовану на верхній частині кремнієвої пластини. Полікремнієві пружини підвішують структуру над поверхнею пластини і надають опір силам сформованим за рахунок прикладеного прискорення.

Відхилення конструкції вимірюється за допомогою диференціальних конденсаторів, які складаються з незалежних нерухомих пластин і пластин, прикріплених до рухомої маси. Прискорення відхиляє пластину і виводить диференціальний конденсатор зі стану рівноваги, внаслідок чого на виході датчика з'являється сигнал, амплітуда якого пропорційна прискоренню. Фазочутлива демодуляція використовується для визначення величини та полярності прискорення.

Вимірювання цим пристроєм здійснюється лише в стані спокою, оскільки при цьому на чутливий елемент діє лише сила тяжіння [4]. Розрахунок кута нахилу та кута орієнтації здійснюється шляхом обробки проєкцій вектору сили тяжіння на осі акселерометра (рис.4).

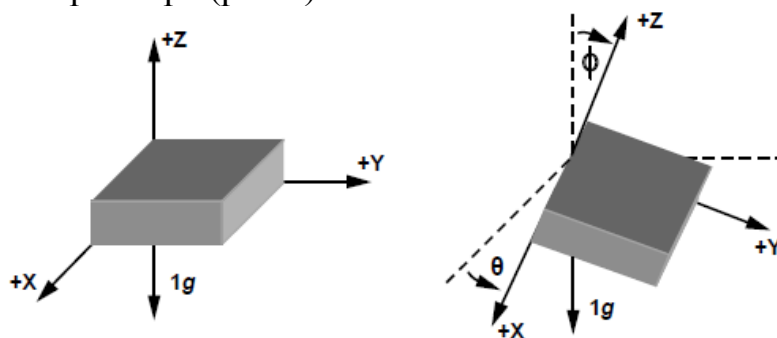


Рисунок 4. Розміщення акселерометра на горизонтальній та довільній поверхні

Як можна побачити на наведеному рисунку, при горизонтальному розміщенні акселерометра, проєкція сили тяжіння на вісі X та Y дорівнюватиме нулю, а проєкція на вісь Z дорівнюватиме g. При розташуванні пристрою на поверхні, що нахилена під довільним кутом, для визначення кутів нахилу ϕ та орієнтації θ , слід скористатися виразами:

$$\theta = \arctan \frac{A_x}{A_y}, \quad (1)$$

$$\phi = \arccos \frac{A_z}{g}, \quad (2)$$

де A_x, A_y, A_z – це є проєкції сили тяжіння на відповідні вісі.

Структурна схема пристрою, для вимірювання вказаних кутів зображена на (рис.5). На схемі використані наступні позначення: БЖ – блок живлення, ДА – трьохосьовий акселерометр, МК – мікроконтролер, І – індикатор, БК – блок клавіш.

Принцип роботи запропонованої системи полягає в наступному: мікроконтролер із заданою періодичністю зчитує з акселерометра покази по трьох його осях, після чого розраховує кути нахилу поверхні та орієнтації приладу та відображає їх на індикаторі. За необхідності при натисканні клавіші покази пристрою можуть бути зафіксовані. Додаткова клавіша використовується для встановлення нульового рівня.

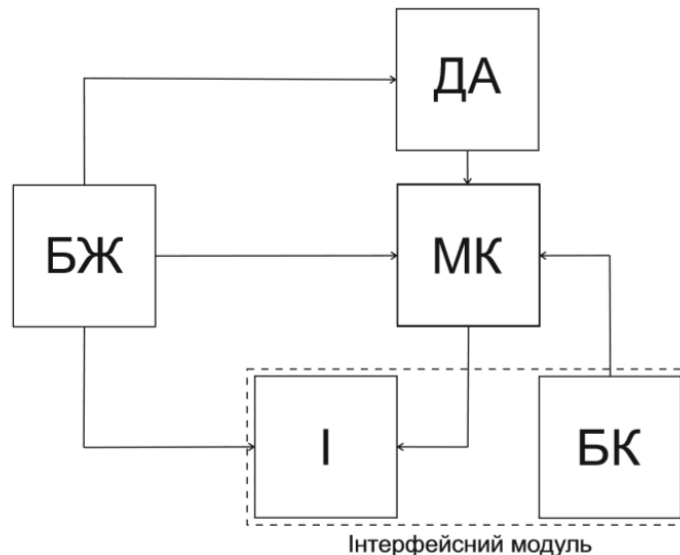


Рисунок 5. Розміщення акселерометра на горизонтальній та довільній поверхні

ВИСНОВКИ

В статті розглянуті особливості вимірювання кута нахилу поверхні з використанням трьохосового акселерометра та розроблена структура пристрою для реалізації вказаних вимірювань. Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення метрологічних характеристик розробленого пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Никонов А.В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики/ А.В. Никонов// Вестник СГГА, Новосибирск, 2013. – N 4 - С . 12-18.
- [2] Пиралова О.Ф., Ведякин Ф.Ф. Краткий курс начертательной геометрии. Учебник для вузов. — М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. — 191 с.
- [3] ADXL345: 3-Axis, ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g Digital Accelerometer Data Sheet (Rev. E). – Analog Devices. – 40 p. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
- [4] Christopher J. Fisher, Using an Accelerometer for Inclination Sensing. Application Note. - Analog Devices. – 40 p. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1057.pdf>

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

УДК 621.317

В.В Куліченко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Шумков Ю.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДИСКРЕТНИЙ СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ЗА МЕТОДОМ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИХ СПЛАЙНІВ

Анотація. Для одержання гладких залежностей з сигналу, який сформований кусковими функціями, застосовується аналогова фільтрація. Якщо через обмежену кількість ділянок дискретизації умови теореми Котельникова не виконуються, дискретний синтез сигналів стає апроксимаційним завданням, що розв'язується в часовій області. Розглянуто реалізацію методу інтерполяції експоненціальними сплайнами третього порядку, що може бути використано під час дискретного синтезу випробувальних сигналів спеціальної форми.

Ключові слова: дискретний синтез, випробувальний сигнал, експоненціальний сплайн.

ВСТУП

Для одержання гладких залежностей із сигналу, який сформовано кусковими функціями, застосовується аналогова фільтрація. Найчастіше це фільтрація деякого кусково-ступінчастого сигналу, що сформовано на виході ЦАП за дискретними відліками (миттєвими значеннями у моменти дискретизації) неперервного сигналу, який потрібно відтворити. Якщо умови теореми Котельникова не виконуються, то відбувається накладення зсунутих через дискретизацію спектрів неперервного сигналу [1]. При цьому точне відтворення неперервного сигналу за його дискретними відліками шляхом фільтрування високочастотних спектральних складових, які виникають через дискретизацію, не можливо. Так, наприклад, фільтрація кусково-ступінчастого сигналу призводить до деяким згладженим кусково-експоненціальним функціям. Задача дискретного синтезу стає апроксимаційною та розв'язується у часовій області.

Для одержання гладких залежностей під час дискретного синтезу доцільним є використання математичного апарату сплайн-функцій [2]. При цьому для одержання сигналів, що "вписуються" на окремих ділянках в залежності, які відтворюються, доцільним є здійснювати синтез на основі моделей сплайнів, адекватних реальним сигналам, що генеруються або досліджуються. При цьому експоненціальні сплайнові моделі є оптимальними [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою статті є аналіз реалізації методу інтерполяції під час дискретного синтезу сигналів на прикладі експоненціальних сплайнів третього порядку, що може бути використано для формування випробувальних сигналів спеціальної форми.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Суть методу дискретного синтезу експоненціальними сплайнами полягає в поданні сигналів, що формуються, у вигляді суми зміщених у часі фінітних базисних експоненціальних сплайнів зі своїми ваговими коефіцієнтами.

Експоненціальна сплайн-функція (ЕСФ) $sf_{Gm}(\bar{t})$ порядку m

$$sf_{G_m}(\bar{t}) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f[n+1-i] \cdot G_m(i+\varepsilon) = \quad (1)$$

$$= A^*(a) [0 + f[n+1] \cdot b_0(\varepsilon) + f[n] \cdot b_1(\varepsilon) + f[n-1] \cdot b_2(\varepsilon) + \dots + f[1] \cdot b_{m-1}(\varepsilon) + 0]$$

є дискретною згорткою решітчастої функції $f[n]$ з імпульсною функцією $G_m(\bar{t}) = G_m(n+\varepsilon)$ – фінітний експоненціальний сплайн, який є імпульсною перехідною характеристикою деякого сплайн-апроксимуючого фільтру (САФ), де $\bar{t} = n + \varepsilon$ – відносний час, пов'язаний з дійсним часом $\bar{t} = t/h$; h – рівномірний інтервал дискретизації; $n = 0, 1, 2, \dots$; $\varepsilon \in [0, 1]$; $\{b_i(\varepsilon)\}_{i=0}^{m-1}$ – кускові функції, що утворюють сплайн на кожній ділянці; m – порядок диференціального рівняння, з розв'язків якого утворюється сплайн; $A^*(a)$ – нормуючий множник; $f[n]$ – дискретні відліки, які подаються на вхід САФ.

Аналіз математичної моделі формування електричних випробувальних сигналів на прикладі сплайнів третього порядку наведено у роботі [4]. Наведений в роботі приклад також ілюструє метод одержання різноманітних моделей експоненціальних сплайнів за моделлю передатної функції лінійного електричного кола із зосередженими параметрами та формування на їх основі сигналів спеціальної форми. Нижче наведено фінітний базисний експоненціальний сплайн $G_{3,1}(\bar{t})$ та ЕСФ третього порядку $sf_{G_{3,1}}(\bar{t})$, яка одержана за виразом (1):

$$G_{3,1}(\bar{t}) = \begin{cases} \frac{1}{-1 + \alpha + e^{-\alpha}} [-1 + \alpha\varepsilon + e^{-\alpha\varepsilon}], & \bar{t} \in [0, 1]; \\ \frac{1}{-1 + \alpha + e^{-\alpha}} [1 + \alpha + e^{-\alpha} - (1 + e^{-\alpha}) \cdot \alpha\varepsilon - 2e^{-\alpha\varepsilon}], & \bar{t} \in [1, 2]; \\ \frac{1}{-1 + \alpha + e^{-\alpha}} e^{-\alpha} [-1 + \alpha(\varepsilon - 1) + e^{-\alpha(\varepsilon-1)}], & \bar{t} \in [2, 3]; \\ 0, & \bar{t} < 0, \bar{t} > 3. \end{cases} \quad (2)$$

$$sf_{G_{3,1}}(\bar{t}) = \frac{1}{-1 + \alpha + e^{-\alpha}} \left\{ f[n+1] \cdot (-1 + \alpha\varepsilon + e^{-\alpha\varepsilon}) + f[n] \cdot [1 + \alpha + e^{-\alpha} - (1 + e^{-\alpha}) \cdot \alpha\varepsilon - 2e^{-\alpha\varepsilon}] + f[n-1] e^{-\alpha} [\alpha(\varepsilon - 1) - 1 + e^{-\alpha(\varepsilon-1)}] \right\}, \quad (3)$$

де відліки $f[n]$ є коефіцієнтами сплайн-функції.

Відомі степеневі B -сплайни $B_1(\bar{t})$ і $B_2(\bar{t})$ можуть бути одержані з $G_{3,1}(\bar{t})$ як границя відповідно при $\alpha \rightarrow \infty$ і $\alpha \rightarrow 0$. Параметр α дозволяє змінити форму фінітного сплайна $G_{3,1}(\bar{t})$, що дає змогу адаптуватися під модель залежності, яка відтворюється. Для кускової функції $sf_{G_{3,1}}(\bar{t})$ виконується умова неперервності як для самої функції так і для її першої похідної у вузлах.

Але значення сплайн-функції $sf_{G_{3,1}}(\bar{t})$ у вузлах та формованого сигналу $S_0(\bar{t})$, якщо сплайн задається дискретними відліками $f[n] = s[n]$, в моменти $\bar{t} = n$ не збігаються. Тобто фінітний експоненціальний сплайн третього порядку

$G_{3,1}(\bar{t})$ є апроксимуючий, що ускладнює задачу дискретного синтезу. А саме, потребує попереднього визначення значень дискретних відліків $f[n]$, що подаються на вхід САФ.

Така задача в загальному випадку потребує розв'язку систем лінійних рівнянь зі стрічковими матрицями [2]. Але у випадку інтерполяції ці значення досить легко розрахувати, не складаючи систему рівнянь. Розглянемо випадок інтерполяції сплайнами $sf_{G_{3,1}}(\bar{t})$. На рис. 1 наведено приклад формування деякого випробувального сигналу спеціальної форми $S_0(\bar{t})$ фінітними сплайнами $G_{3,1}(\bar{t})$. Такий сигнал може бути використаний, наприклад, під час контролю параметрів електричного кола третього порядку за методом нулів і полюсів [3].

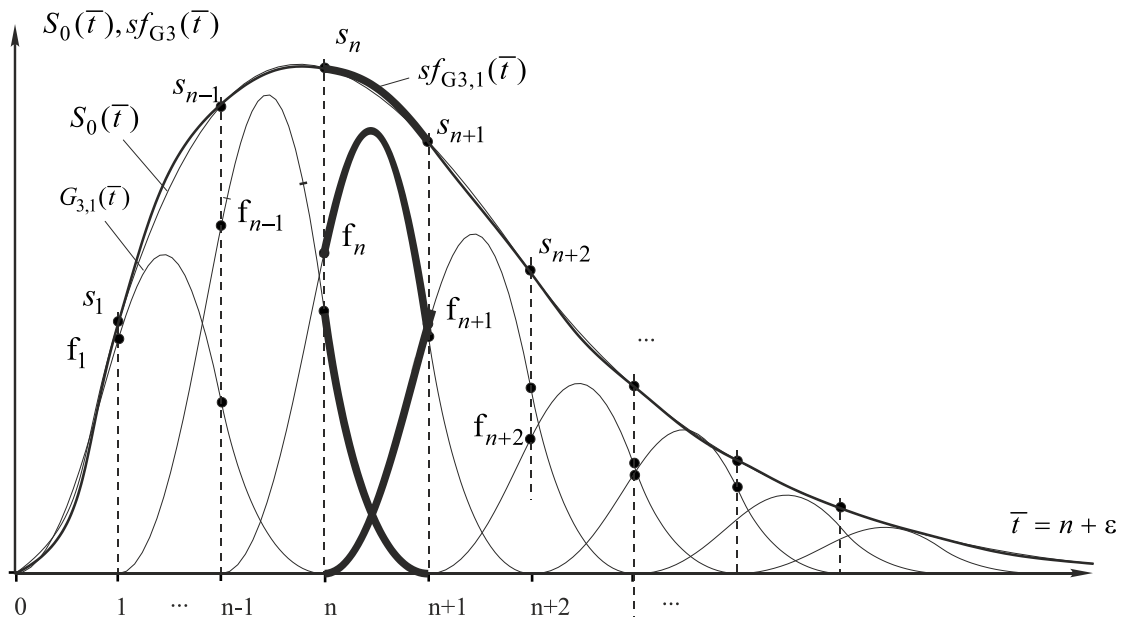


Рисунок 1. Формування сигналів сплайнами $G_{3,1}(\bar{t})$

Розглянемо умови інтерполювання у вузлах. Так для n -й ділянки при $\epsilon = 1$ маємо:

$$s[n+1] = sf_{G_{3,1}}(\bar{t})_{/\epsilon=1}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Враховуючи те, що (див. вираз $sf_{G_{3,1}}(\bar{t})$)

$$f[n-1]e^{-\alpha} \left[\alpha(\epsilon-1) - 1 + e^{-\alpha(\epsilon-1)} \right]_{/\epsilon=1} = 0,$$

одержимо рекурентне співвідношення:

$$s[n+1] = f[n+1] - \left[\frac{1 - e^{-\alpha} - \alpha e^{-\alpha}}{1 - \alpha - e^{-\alpha}} \right] \cdot f[n] = f[n+1] - A \cdot f[n], \quad (4)$$

де $A = \left[\frac{1 - e^{-\alpha} - \alpha e^{-\alpha}}{1 - \alpha - e^{-\alpha}} \right]$. Тобто, якщо задати початкові значення $f[0] = 0$, $f[1] = s[1]$, то інші значення $f[n]$ розраховуються за формулами $f[2] = s[2] + A \cdot f[1]$, $f[3] = s[3] + A \cdot f[2]$, ..., $f[n+1] = s[n+1] + A \cdot f[n]$.

Реалізація сплайн-інтерполяції може бути досягнута шляхом попереднього включення цифрового фільтру (рис. 2), який реалізує цей алгоритм.

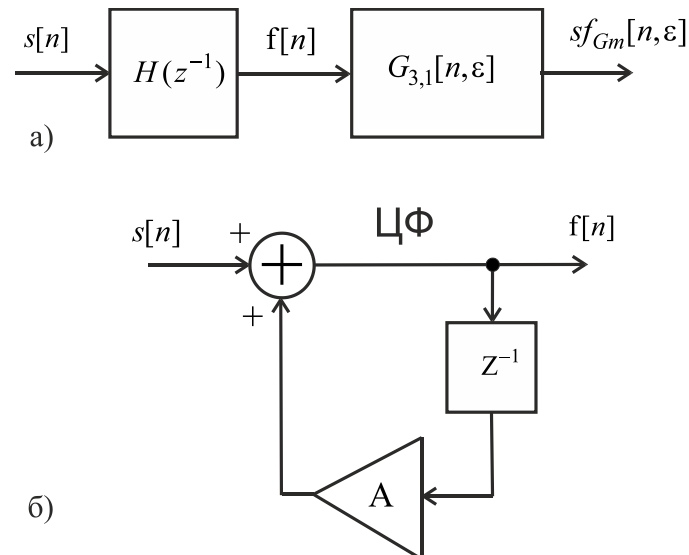


Рисунок 2. Інтерполювання сигналу $s(\bar{t})$ сплайнами $G_{3,1}(\bar{t})$:

а) – реалізація схеми інтерполювання; б) – структура цифрового фільтру у випадку інтерполяції сплайнами $G_{3,1}(\bar{t})$

Реалізація методу інтерполяції за допомогою експоненціальних сплайнів четвертого і вище порядків потребує синтезу цифрового фільтру з більш складною структурою.

ВИСНОВКИ

Наведений приклад ілюструє реалізацію методу інтерполяції випробувальних сигналів спеціальної форми експоненціальними сплайнами третього порядку та може бути використаний для інших моделей сплайнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Я.З. Цыпкин, *Теория линейных импульсных систем*, М.: Физматгиз, 1963, 968 с.
- [2] Brian J. McCartin, «Theory of Exponential Splines», *Journal of Approximation Theory*, vol. 66, pp. 1-23, 1991.
- [3] Yu. Shumkov, «Exponential splines in electric circuits' parameters measuring», in *Proc. of the International Conf. Actual problems of Measuring Technique "Measurement-98"*, Kyiv, Ukraine, 1998, pp. 250-253.
- [4] В.В. Куліченко, та Ю.С. Шумков, «Аналіз математичної моделі формування сигналів експоненціальними сплайнами», на *XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених "ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"*, Київ, 2019, с. 506-509.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

УДК 681.3

*Д.А. Невгод, студентка гр. ВМ-61-2, М.П. Коваленко, студент гр. ВМ-61-2,
к.т.н., доц. Добролюбова М.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОСЛУГ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. Стаття присвячена розгляду особливостей оцінки якості послуг мобільного зв'язку. Розглянуті основні показники якості та їх відповідність послугам. Представлені результати вдосконалення можливостей розробленого автоматизованого повірочного комплексу для систем мобільного зв'язку в частині програмного забезпечення.

Ключові слова: мобільний зв'язок, якість, повірка, тривалість телефонних розмов, швидкість передачі інформації, обсяг інформації.

ВСТУП

В сучасному світі масштаби і швидкість розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій набувають все більшого значення при забезпеченні переходу суспільства до нового типу економічних відносин, які зорієнтовані на інтереси людей щодо розширення можливості отримувати доступ до світових і національних інформаційних ресурсів.

Одним з різновидів інформаційно-телекомунікаційної сфери є мобільний зв'язок, який забезпечує свободу спілкування та підвищує рівень комфорту кожної людини.

В зв'язку із підвищенням вимог споживачів до якості послуг мобільного зв'язку спостерігається загострення конкурентної боротьби між операторами і поступовий перехід цієї конкуренції з цінової площини у якісну.

З переходом до ринкових відносин в Україні проблема якості послуг та забезпечення необхідного рівня задоволеності споживача постала перед кожним оператором мобільного зв'язку.

Отже, питання оцінки якості послуг зв'язку стають одним з найважливіших факторів ефективного розвитку цього ринку і набувають все більшої актуальності. Також слід зазначити, що послуги, які надаються операторами мобільного зв'язку тарифікуються і встановлюється абонентська система оплати.

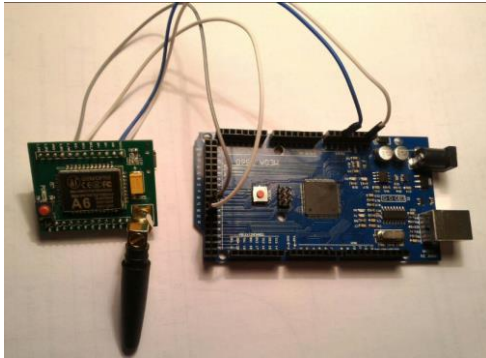
Відповідними постановами Кабінету міністрів України визначається перелік законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які підлягають оцінці відповідності та періодичній повірці. До цих ЗВТ належать системи вимірювання тривалості телефонних розмов (СВТТР) і системи швидкості передачі та обліку обсягу інформації (СШПООІ) [1, 2].

Процедура повірки ускладнюється тим фактом, що повірочні комплекси для СВТТР та СШПООІ в організаціях і на підприємствах України, які здійснюють метрологічну діяльність у сфері телекомунікацій, зазвичай, працюють в ручному або напівавтоматичному режимах, а повністю автоматизовані комплекси мають надлишковий функціонал та достатньо високу вартість [3-6].

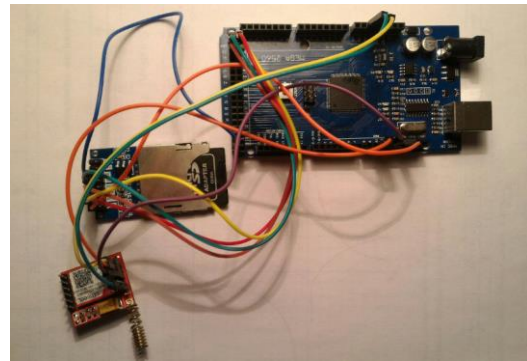
Вирішенням цієї проблеми стала спроба розробки автоматизованого повірочного комплексу для систем мобільного зв'язку (АПК), який би задовольняв критерій «необхідний функціонал-ціна-якість» [3, 4].

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Апаратна і програмна реалізація комплексу представлені на (рис. 1, 2). В програмне забезпечення АПК, окрім алгоритмів повірки СВТТР та СШПООІ, закладений алгоритм обчислення значень показників якості послуг мобільного зв'язку, що не притаманний для аналогічних комплексів.

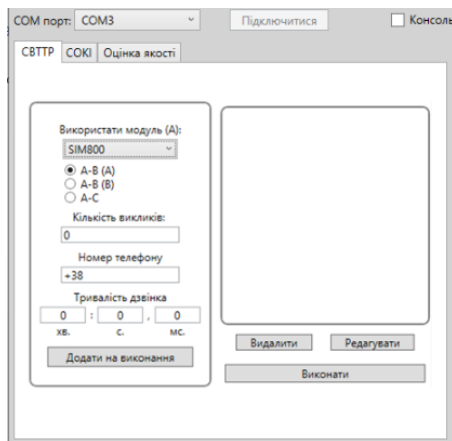


а)

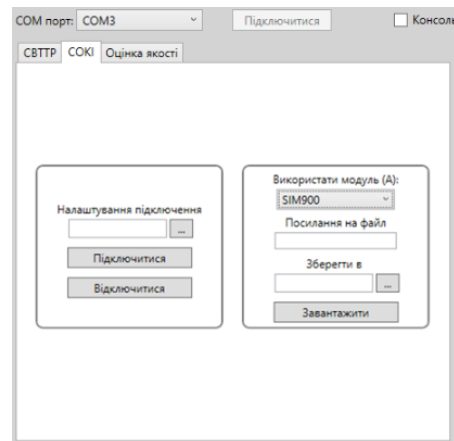


б)

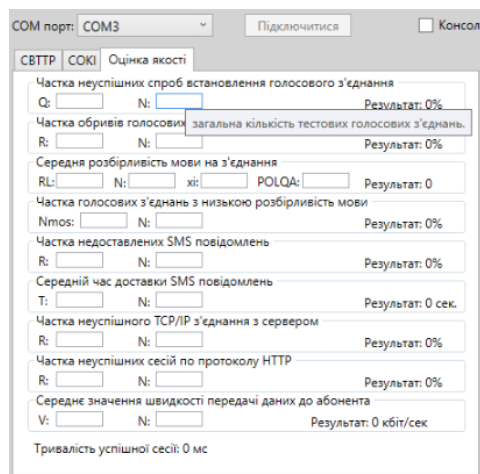
Рисунок 1. Апаратна реалізація АПК для:
а) СВТТР; б) СШПООІ



а)



б)



в)

Рисунок 2. Програмна реалізація АПК для:
а) СВТТР; б) СШПООІ; в) Показники якості

До переліку послуг зв'язку, для яких вимірюються показники якості, належать: послуги мобільного зв'язку в частині голосового з'єднання і передачі SMS повідомлень, послуги з передачі даних, за винятком передачі даних для цілей передачі голосової інформації [5]. Відповідність послуг зв'язку показникам якості відображена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники якості

<i>Послуга зв'язку</i>	<i>Показник якості</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
Послуга зв'язку в частині голосового з'єднання	Частка неуспішних спроб встановлення голосового з'єднання	%
	Частка обривів голосових з'єднань	%
	Середня розбірливість мови на з'єднання	-
	Частка голосових з'єднань з низькою розбірливістю мови	%
Послуга зв'язку в частині передачі SMS повідомлень	Частка недоставлених SMS повідомлень	%
	Середній час доставки SMS повідомлень	сек.
Послуга зв'язку з передачі даних, за винятком послуги зв'язку з передачі даних для цілей передачі голосової інформації	Частка неуспішного TCP/IP з'єднання з сервером	%
	Частка неуспішних сесій по протоколу HTTP	%
	Середнє значення швидкості передачі даних до абонента	кбіт/сек
	Тривалість успішної сесії	мс

Частка неуспішних спроб встановлення голосового з'єднання визначається як відношення кількості неуспішних спроб встановлення голосового з'єднання до загальної кількості тестових голосових з'єднань.

$$\text{Значення} = Q/N \times 100\% , \quad (1)$$

де Q – кількість неуспішних спроб встановлення голосового з'єднання; N – загальна кількість тестових голосових з'єднань.

Частка обривів голосових з'єднань визначається як відношення кількості з'єднань, що закінчилися не з ініціативи тестового терміналу, до загальної кількості успішно встановлених голосових тестових з'єднань.

$$\text{Значення} = R/N \times 100\% , \quad (2)$$

де R – кількість з'єднань, що закінчилися не з ініціативи тестового терміналу; N – загальна кількість успішно встановлених голосових з'єднань.

Середня розбірливість мови на з'єднання відображає якість мовлення у встановленому голосовому з'єднанні. Є середньою оцінкою розбірливості переданих тестових мовних послідовностей, яка сприймається абонентами.

$$MOS = 1/N \times [POLQA; x_i; RL], \quad (3)$$

де $POLQA$ – алгоритм розрахунку $POLQA$ [6]; x_i – i -а тестова мовна послідовність, якість передачі якої підлягає оцінці; RL – напрямок передачі; N – кількість голосових послідовностей в оцінюваних з'єднаннях.

Частка голосових з'єднань з низькою розбірливістю мови визначається як відношення кількості прийнятих тестових мовних послідовностей з низькою розбірливістю мови ($MOS_{POLQA} < 2.6$) до загальної кількості тестових мовних послідовностей.

$$NMOS_R = N_{MOS < 2.6} / N \times 100\%, \quad (4)$$

де $N_{MOS < 2.6}$ – кількість прийнятих тестових мовних послідовностей з низькою розбірливістю мови; N – загальна кількість тестових мовних послідовностей.

Частка недоставлених SMS повідомлень визначається як відношення кількості недоставлених SMS повідомлень до загальної кількості відправлених SMS повідомлень.

$$SMS_E2E_FR = R / N \times 100\%, \quad (5)$$

де R – кількість недоставлених SMS повідомлень; N – загальна кількість відправлених SMS повідомлень.

Час доставки SMS повідомлень визначається як часовий інтервал між моментом передачі SMS повідомлення і моментом прийому цього повідомлення.

$$DT_SMS = 1/N \sum_N (t_{send} - t_{receive}), \quad (6)$$

де t_{send} – момент відправки тестового SMS повідомлення; $t_{receive}$ – момент прийому тестового SMS повідомлення; N – число успішно доставлених тестових SMS повідомлень.

Частка неуспішних TCP/IP з'єднань з сервером визначається як відношення кількості неуспішних спроб встановлення TCP/IP з'єднання з сервером передачі даних до загальної кількості спроб з'єднань з сервером передачі даних.

$$Значення = R/N \times 100\%, \quad (7)$$

де R – кількість неуспішних спроб встановлення TCP/IP з'єднання з сервером; N – загальна кількість спроб з'єднань з сервером.

Частка неуспішних сесій по протоколу HTTP визначається як відношення припинених не з ініціативи вимірювального комплексу сесій по протоколу HTTP до загальної кількості тестових сесій по протоколу HTTP.

$$Значення = R/N \times 100\%, \quad (8)$$

де R – кількість припинених не з ініціативи тестового комплексу сесій по протоколу HTTP; N – загальна кількість тестових сесій по протоколу HTTP.

Середнє значення швидкості передачі даних до абонента визначається як сумарна величина швидкостей передачі даних по протоколу HTTP від сервера передачі даних до приймального терміналу за час проведення тестових вимірювань і усереднена щодо кількості тестових вимірювань.

$$\text{Значення} = \sum_1^N V / N, \quad (9)$$

де V – швидкість передачі даних по протоколу НТТР від сервера передачі даних до приймального терміналу; N – загальна кількість тестових вимірювань.

$$V = P / (t_e - t_b), \quad (10)$$

де P – розмір тестового файлу з даними, кбїт; t_b – час початку передачі тестового файлу з даними, сек; t_e – час завершення передачі тестового файлу з даними, сек.

ВИСНОВКИ

Отже, розроблений АПК окрім того, що дозволяє здійснювати оцінку відповідності та періодичну повірку СВТТР і СШПООІ, які використовуються операторами мобільного зв'язку, надає змогу вимірювати показники якості послуг, які надаються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці». – від 04.05.2015. – № 374. – 7 стор.
- [2] Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки». – від 13.01.2016. – № 94. – 56 стор.
- [3] Повірочний комплекс для систем обліку кількості інформації та вимірювання тривалості телефонних розмов / С.М. Курсін, М.С. Шевкун, Д.А. Бурлака, М.П. Коваленко // Всеукраїнська наук.-тех. конф. молодих вчених у царині метрології «TUM – 2018»: зб. тез доп. уч. (ел.), 13-18 лютого 2018 р., м. Славське, 2018. – С. 31-33.
- [4] Автоматизований повірочний комплекс для систем обліку кількості інформації та вимірювання тривалості телефонних розмов / Д.А. Бурлака, С.М. Курсін, М.П. Коваленко, М.В. Добролюбова // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 04-05 грудня 2018 р., 2018. – С. 382-385.
- [5] Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=99&id=1604&language=uk> – Дата доступу: 23.12.2019.
- [6] ITU-T Recommendations [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=11009&lang=ru> – Дата доступу: 15.02.2020.

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

УДК 681.518.3

Д.М. Семенко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Анотація. В статті розглянуті можливості енергозбереження при використанні вентиляційних систем. Наведені переваги використання під час керування вентиляцією принципу «за потребою», проаналізовані існуючі системи вентиляції, проведена оцінка можливості зниження споживаної енергії при використанні регульованого електроприводу вентилятора.

Ключові слова: вентиляція, енергозбереження, автоматизація.

ВСТУП

Найбільш екологічним та чистим джерелом енергії є енергозбереження. Це обумовлено зменшенням споживання енергії, яка виробляється різними видами електростанцій. Автоматизація інженерних систем будівель - це важливий інструмент в боротьбі з нераціональним використанням енергоресурсів і забрудненням навколишнього середовища. Також це допомагає у створенні комфортного мікроклімату всередині приміщень. Будівля, оснащена новими сучасними системами автоматизації, це будівля, що представляє собою не застиглу архітектуру, а структуру зі складними системами життєзабезпечення.

Вентиляція виконує роль створення обміну повітря в приміщенні для видалення надлишків шкідливих речовин, вологи, теплоти та забезпечення допустимих умов повітряного середовища. У житлових та офісних приміщеннях вентиляційні системи забезпечують повітрообмін в приміщенні, видаляючи з нього повітря з підвищеною концентрацією вуглекислого газу і різними запахами і наповнюючи свіжим повітрям, які пройшли певну підготовку (очищення, нагрівання).

Основними типами сучасних систем вентиляції є [1]:

1. Природна вентиляція. Найбільш проста вентиляційна система, яка не потребує додаткового обладнання, що забезпечує повітрообмін за допомогою різниці температур і тиску повітря всередині і поза приміщенням, швидкість вітру і т.д. Вентиляція повітря здійснюється за допомогою спеціальних вентиляційних отворів, а також не герметичних віконних прорізів.
2. Штучна система вентиляції передбачає використання спеціального обладнання (клапанів, фільтрів, обігрівачів повітря, вентиляторів), за допомогою якого забезпечується ефективна вентиляція в будь-який час року, незалежно від погодних умов. До видів штучної вентиляції відносять:
 - а. Припливно-витяжну систему, яка забезпечує виведення використаного повітря і подачу замість свіжого. Крім загальнообмінної вентиляції, що забезпечує свіжим повітрям всієї будівлі, може бути місцева вентиляція, що забезпечує обмін повітря в окремих приміщеннях.
 - б. Моноблочну систему, яка об'єднує всі компоненти в єдиному шумоізолюваному корпусі, подаючи по воздуховодам вже оброблене повітря.
 - в. Набірну систему, що складається з окремих компонентів, має складним проектуванням і значні габарити.

При проектуванні систем вентиляції користуються нормативними документами, основними з яких є Державні будівельні норми України [2,3]. Згідно з цими нормами продуктивність системи вентиляції має складати 20-60 м³ на годину на одну людину в залежності від типу приміщення. Одночасно з цим якість повітря регламентується державними стандартами, згідно з якими допускається використання вентиляції за потребою. Це є надзвичайно актуальним при змінній кількості людей в приміщенні, наприклад в кінотеатрах, концертних залах, спортзалах та інше.

Такий підхід до організації систем вентиляції відповідає найжорсткішим вимогам енергоефективності та в порівнянні з системою постійної витрати повітря дозволяє заощадити до 80% енергоспоживання вентиляторів і до 40% енергії на охолодження і обігрів [4].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

На сьогодні різні компанії пропонують комплексні рішення побудови систем вентиляції. Наприклад компанія Swegon пропонує для рішення для організації вентиляції в навчальних кабінетах та конференц-залах, котре передбачає організацію вентиляції за потреби з використанням такого обладнання: регульовані приводні заслінки з датчиками якості повітря, дифузори припливного та відпрацьованого повітря, датчики присутності, клапани радіаторів опалення. Використання такого рішення дозволяє зменшити теплові витрати, та енерговитрати, за умов наявності керованої системи централізованої вентиляції. За відсутності такої системи, або при використанні місцевої вентиляції, такий підхід не забезпечує енергоефективну роботу.

Згідно з [5] кожен вентилятор характеризується залежностями напору та потужності від подачі повітря при постійній частоті обертання. Приклад цих характеристик наведений на рисунку 1. В загальному випадку коефіцієнт корисної дії має чітко виражений екстремум і в номінальному режимі роботи робоча точка вентилятора має відповідати максимуму ККД. При перекиванні вентиляційного каналу, наприклад при перекритті заслінок, змінюються характеристики вентиляційної системи і робоча точка зміщується, що призводить до зменшення ККД. Споживана потужність при цьому також знижується, але не пропорційно зменшенню подачі повітря. Для підтримання ККД на постійному рівні необхідно змінювати частоту обертання вентилятора. При цьому подача повітря змінюється пропорційно частоті обертання, а потужність змінюється пропорційно кубу від частоти. Саме тому використання частотно-регульованого електроприводу вентилятора забезпечує найвищий рівень енергозбереження.

Розглянемо який рівень електроенергії буде споживатися двома системами: в одній використовуватиметься регулювання подачі повітря шляхом перекриття заслінок, а в іншій використовуватиметься регулювання шляхом зміни частоти обертання.

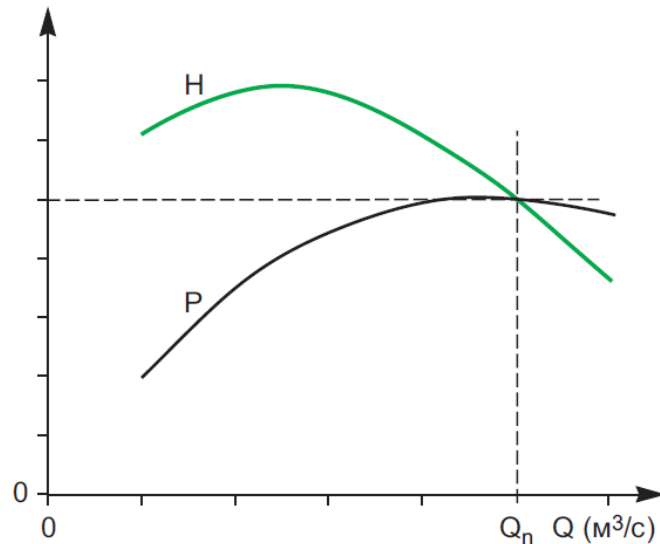


Рисунок 1. Характеристики напору H та потужності P від подачі повітря Q

Вважатимемо, що в деякому приміщенні є потреба у подачі повітря за добу складає 100% протягом 2 годин, 90% протягом 8 годин та 50% протягом решти 14 годин. Залежності зміни потужності для деякого вентилятора при першому та другому підходах на рисунку 2 (суцільною лінією – перший підхід, пунктиром – другий).

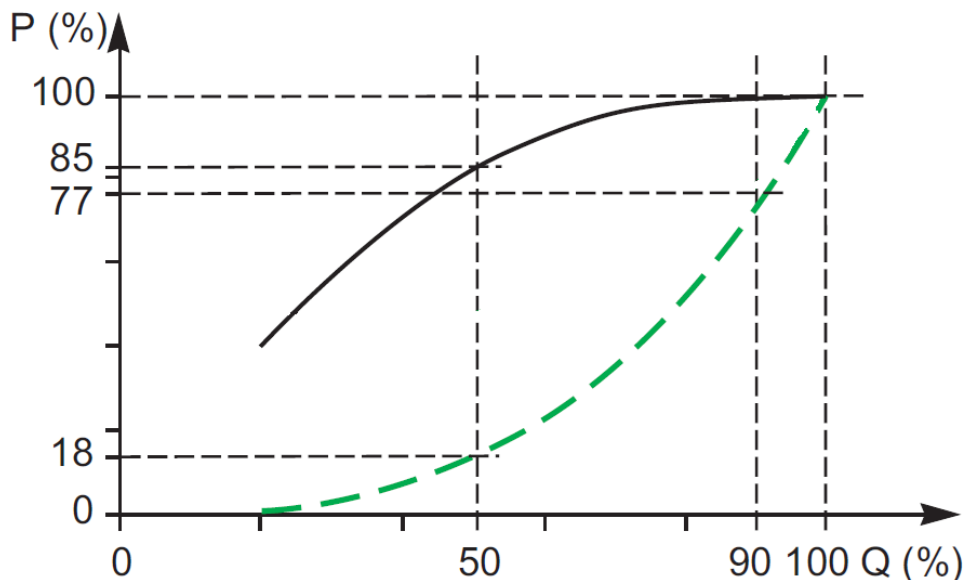


Рисунок 2. Залежності потужності споживаної вентилятором при різних способах регулювання подачі повітря

Для оцінки середньодобової відносної потужності споживаної з мережі енергії необхідно враховувати додатково ККД електричного двигуна вентилятора та для другого випадку регулювання ККД перетворювача частоти. ККД асинхронного двигуна залежить від його номінальної потужності, режиму роботи та навантаження. Для двигуна потужністю 90 кВт при живленні від мережі ККД складає від 89 % до 93 % по мірі збільшення навантаження від 25 % до 100 % [6]. При живленні від перетворювача частоти ККД двигуна залежить від алгоритму керування і є більш стабільним, тобто можна вважати для того

самого двигуна рівним 93 %. ККД перетворювача частоти може складати від 90 % до 95 % в залежності від конкретного пристрою (для розрахунку приймемо 90 %). Розрахунок проведемо згідно з формулою (1) для першого випадку, і формулою (2) для другого:

$$P_{сер1} = \frac{\frac{P'_{100\%} \cdot 2}{\eta_{дв100\%}} + \frac{P'_{90\%} \cdot 8}{\eta_{дв90\%}} + \frac{P'_{50\%} \cdot 14}{\eta_{дв50\%}}}{24} = \frac{100\% \cdot 2}{0.93} + \frac{98\% \cdot 8}{0.93} + \frac{85\% \cdot 14}{0.9}}{24} = 91.3\% \quad (1)$$

$$P_{сер2} = \frac{\frac{P''_{100\%} \cdot 2}{\eta_{дв} \cdot \eta_{пер}} + \frac{P''_{90\%} \cdot 8}{\eta_{дв} \cdot \eta_{пер}} + \frac{P''_{50\%} \cdot 14}{\eta_{дв} \cdot \eta_{пер}}}{24} = \frac{100\% \cdot 2}{0.93 \cdot 0.9} + \frac{77\% \cdot 8}{0.93 \cdot 0.9} + \frac{18\% \cdot 14}{0.93 \cdot 0.9}}{24} = 51.3\% \quad (2)$$

Як видно з отриманих результатів зниження середньодобової відносної потужності при використанні другого підходу до регулювання подачі повітря складає 44 % порівняно з першим підходом. Слід зазначити, що в ряді випадків необхідним є ще більше зниження подачі повітря, що призведе до ще більшої економії електроенергії.

ВИСНОВКИ

В статті розглянуті основні можливості забезпечення енергозбереження засобами електроприводу вентиляційних систем. Показано, що використання регульованого електроприводу місцевої вентиляції дозволяє суттєво знизити споживану потужність при регулюванні подачі повітря за потребою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Системи вентиляції. Терміни та визначення: ДСТУ 2388-94. — [Введ. в дію 17.04.1995]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 49 с.
- [2] Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. — [Введ. в дію 25.01.2013]. — К. : Державні будівельні норми України, 2013, — 24 с.
- [3] Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: ГОСТ 30494-2011 — [Введ. в дію 01.01.2013]. — Межгосударственный стандарт, 1994. — 191 с.
- [4] Ягьяева Л. Т., Ахметханов А. А. Автоматизированная система управления приточно-вытяжной вентиляции / Л. Т. Ягьяева, А. А. Ахметханов // Вестник Казанского технологического университет, 2013. — № 22, том 16, с.264-266.
- [5] Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов — М.: Изд.центр «Академия», 2007 — 576 с.
- [6] Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. — 504 с.

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

УДК 621.3.087

О.В. Токаренко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ COAP

Анотація. В даній статті розглянуто особливості використання спеціалізованого Web-протоколу CoAP (Constrained Application Protocol) для реалізації розподіленої системи збору даних та її програмного забезпечення. Застосування протоколу CoAP зменшує вимоги до пропускної здатності мереж, що дозволяє використовувати низькошвидкісні модемні з'єднання. Особливістю розробленої системи є можливість перенесення ресурсоемних операцій на рівень "хмарних" сервісів.

Ключові слова: система збору даних, протокол CoAP, Інтернет речей.

ВСТУП

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів («розумних речей»), оснащених вбудованими технологіями для мережевої взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем. Ці «речі» постійно генерують величезну кількість даних, мають обмежений енергоресурс, невеликий обсяг пам'яті і невисоку потужність, тому в роботі з ними важливо забезпечувати низькі енерговитрати, використовувати передачу повідомлень малого обсягу.

Актуальним напрямом вирішення цієї проблеми є мікроконтролерна реалізація спеціалізованих Web-технологій, спрямованих на передачу вимірювальної інформації через Інтернет в умовах обмежених обчислювальних ресурсів вбудованих систем, зокрема спеціалізованого Web-протоколу передачі даних CoAP (Constrained Application Protocol).

Метою роботи є розробка розподіленої системи збору даних та її програмного забезпечення для передачі, зберігання та обробки вимірювальної інформації на базі спеціалізованого протоколу CoAP та JavaEE Web-додатку з використанням хмарних технологій.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

CoAP – це програмний протокол, призначений для використання у простих електронних пристроях, що дозволяє їм обмінюватися інформацією в інтерактивному режимі, використовуючи мережу Інтернет. CoAP є протоколом прикладного рівня, який призначений для використання в пристроях з обмеженими ресурсами. Часто використовується для невеликих датчиків малої потужності, комутаторів та інших пристроїв, до яких потрібен віддалений доступ через мережу [1].

Протокол CoAP побудовано аналогічно до протоколу HTTP, але на відміну від останнього він базується на бінарному а не текстовому форматі повідомлень. CoAP створено на основі HTTP протоколу щоб спростити інтеграцію з мережею Інтернет, в той же час цей протокол простий у реалізації та має дуже малі накладні витрати.

Структура протоколу розроблена у відповідності з REST-архітектурою. CoAP може працювати на більшості пристроїв, які підтримують протокол UDP або аналог цього протоколу. CoAP базується на обміні компактними

повідомленнями, що за замовчуванням передаються за допомогою UDP дейтаграм. CoAP також може працювати з використанням DTLS (Datagram Transport Layer Security), SMS, TCP або SCTP.

CoAP використовує механізми подібні до HTTP – GET, PUT, POST, DELETE та інш. Таким чином використовується Web-стиль програмування додатків, але в набагато полегшеній реалізації, що важливо для пристроїв з обмеженими ресурсами. CoAP повідомлення кодуються в простому бінарному форматі. Заголовок CoAP повідомлення складає лише 4 байти, що вигідно відрізняє його від інших протоколів. Це дозволяє на порядок зменшити розмір службової інформації порівняно з протоколом HTTP [2].

Розроблена демонстраційна система збору даних на основі протоколу CoAP складається з сенсорних вузлів, CoAP-сервера і сервера додатків JavaEE з СУБД PostgreSQL. Для реалізації сенсорних вузлів було використано мікроконтролер MSP430G2553, що відрізняється ультранизьким енергоспоживанням. В сенсорному вузлі реалізовано три вимірювальних канали для наступних параметрів: температури, зовнішньої аналогової величини (постійна напруга від 0В до 2,5В) та напруги живлення мікроконтролера. Для збору і передачі даних від вимірювальних каналів в ролі CoAP-сервера використовувався одноплатний комп'ютер Raspberry Pi. Програмне забезпечення розроблено для запуску у віртуальній машині Java. Такий підхід дозволив отримати програмне рішення, що не залежить від архітектури. Для обміну даними за протоколом CoAP використано бібліотеку Californium, для передачі даних через UART – бібліотеку jssc.

Запит типу GET coap://"/доменне ім'я:порт"/.well-known/core повертає xml-відповідь, яка містить перелік URI усіх ресурсів, що відповідає принципам REST архітектури [3]. Приклад переліку ресурсів наведено на рис.1.

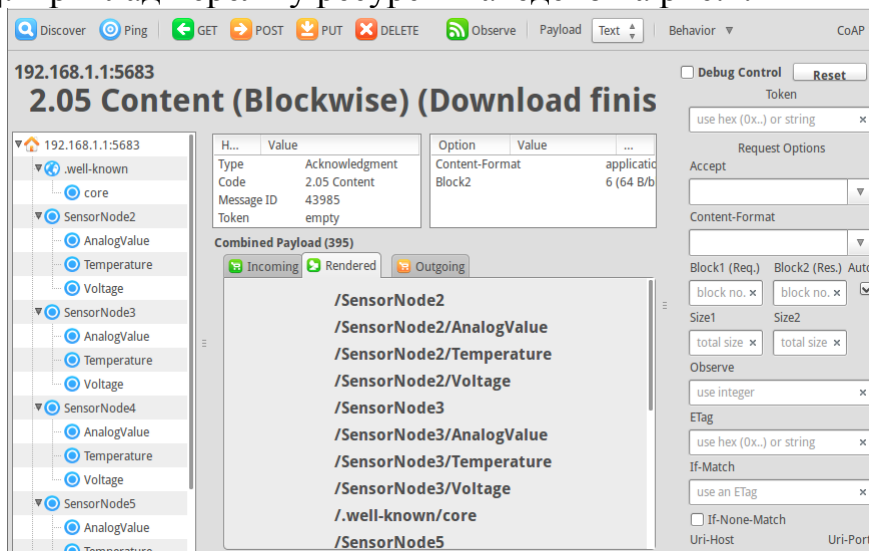


Рисунок 1. Перелік ресурсів сенсорних вузлів

В якості cloud платформи було використано Amazon Web Services – Elastic Cloud 2. За допомогою налаштування конфігурації iptables реалізовано можливість обміну даними як за протоколом HTTP з Web-сервером, так і за протоколом CoAP. Для зв'язку CoAP-сервера та Web-сервера було використано з'єднання PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol). При ввімкненні живлення

одноплатний комп'ютер Raspberry Pi автоматично встановлює підключення до Інтернету через CDMA модем, створює тунельоване з'єднання та виконує запуск CoAP-сервера. Структура системи наведена на рис.2.

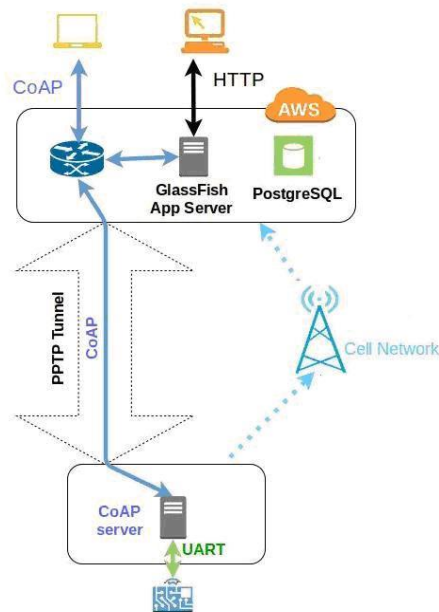


Рисунок 2. Структура мережевої системи збору даних

Пакетна структура розробленого програмного забезпечення містить п'ять пакетів: *.entity – містить класи сутності, які відповідають предметній області; *.dao – містить класи, що слугують для збереження або отримання даних з БД; *.logic – реалізує основну логіку додатку, а саме збір експериментальних даних за протоколом CoAP та їх збереження; *.util – містить допоміжні класи; *.web – містить класи, які відповідають за обробку запиту та формування відповіді на запит.

ВИСНОВКИ

Було розроблено структуру та організовано взаємодію компонентів розподіленої системи збору експериментальних даних на основі протоколу CoAP. Застосування цього протоколу зменшує вимоги до пропускну здатності комунікаційного каналу. Це дозволяє використовувати низькошвидкісні модемні з'єднання. Особливістю розробленої системи є перенесення ресурсоємних операцій на рівень “хмарних” сервісів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Z. Shelby, K.Hartke, and C. Bormann, The Constrained Application Protocol (CoAP). RFC 7252, 2014. [Online]. Available: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7252>. Accessed on: June 1, 2018.
- [2] В. Гойхман, и А. Савельева, «Протокол Інтернета вещей CoAP», Технологии и средства связи, № 4, с.20-24, 2017.
- [3] Z. Shelby, Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format. RFC 6690, 2012. [Online]. Available: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc6690>. Accessed on: June 1, 2019