МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

08-09 грудня 2020 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції

КИЇВ 2020

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 114 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей «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 №9/20 від 30.11.2020 р.).

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

Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ ", 08-09 грудня 2020 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 456 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. Гавриш Олег Анатолійович — д.т.н., проф., декан ФММ
3. Войтко Сергій Васильович — д.е.н., проф., зав. кафедри міжнародної економіки
4. Антонюк Вікетор Степанович — д. т. наук., проф., в.о. зав. кафедри ВП
5. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф., зав. кафедри ООЕП
6. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри ПСОН
7. Киричук Юрій Володимирович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ПБ
8. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф., зав. кафедри ПСНК
9. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ІВТ
10. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
11. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф. кафедри ІВТ

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету
2. Булавко Н.О. — студент ПБФ, заст. голови комітету, секція №10
3. Платов І.М. — студент ПБФ, секція №1
4. Василюк Є. О. — 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 №6
8. Мельник А. В. — студент ПБФ, секція №7
9. Третяк О.В. — студентка ПБФ, секція №8
10. Заінчковська М.М. — студентка ФММ, секція №9
11. Бурлака Д.А. — студентка ПБФ, секція №11

З М І С Т

Секція 1. Економіка та ефективність комп'ютерно-інтегрованих навігаційних систем і приладів

М.О. Березанська, студентка гр. ПГ-91мп, к.т.н., доц. Д.О. Півторак,
ЦИФРОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ 14

О. Ю. Білоус, студент гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
СТРУКТУРА МЕРЕЖІ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ SMART HOME НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ ZIGBEE 18

А.С. Григор'єв, студент гр. ПГ-91мп, П.С. Мироненко, к.т.н., доц.
РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І КЕРУВАННЯ. 22

А.М. Клименко, студентка гр. ПГ-91мп
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ТА ФІЛЬТРА «КОВЗКЕ СЕРЕДНЄ» 25

Д. Р. Матвієнко, студент групи ПГ-91мп
РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ ЛЮДИНИ ЗА СИГНАЛАМИ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ БЛОКІВ 29

К. А. Мішура, студентка групи ПГ-91мп
ОЧИЩЕННЯ СИГНАЛУ ВІД ШУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ 33

І.М. Платов, студент гр. ПГ-01мн, к.т.н., доц. О.М. Павловський
ГЕКСАПОД ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНИХ СПОРУД ТА ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ.СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ. 37

В.В. Шелемаха, студент гр. ПГ-71, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
АПРОКСИМАЦІЯ КОЛИВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ З КОЛЬОРОВИМ ШУМОМ 42

Секція 2. Економіка виробництва і використання оптичних та оптико-електронних приладів і систем

I.I.Avdeionok, master PI-91ms,d.t.n., prof. Borovytsy V.M..
MODELING OF AN OPTICAL NEURON 46

С.А. Нещеретов, студент гр. ПО-92мп, к.ф.-м.н. доцент Богатирьова Г.В.
СИНТЕЗОВАНА БЕЗЛІНЗОВА ФУР'Є ГОЛОГРАМА 49

Федорець О.В., студент гр. ПО-92мп, к.ф-м.н., доц. Богатирьова Г.В.
ОПТИЧНИЙ ПІНЦЕТ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАЗЕРНИХ МЕТОДІВ МАНІПУЛЮВАННЯ АТОМАМИ 52

СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

О.І. Андрушко, студентка гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРИЛАДОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 58

В.О. Бабич, студент гр. ПБ-91мп
КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПРИ РАДІОГРАФІЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ 62

О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп
РІЗНОВИДИ ТРАЕКТОРІЙ РУХУ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА 65

Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., доц. Стельмах Н.В.
ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЖИВЛЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ НА БАЗІ КОНТРОЛЛЕРА ATMEGA 328 68

О.М. Загорулько, студент гр. ПБ-91мп
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ 72

А.С. Затуленко, студентка гр.ПБ-91мп
КЕРУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СЕРІЇ STM-32 75

С.С. Заєць асис., Н.С. Строкань студентка гр. ПБ-91м, В.В. Шевченко к.т.н.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ 79

П.І. Карасьов, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
АВТОМАТИЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ 83

О.В. Кирієнко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.
СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВІТРОДВИГУНА 87

В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-91 мп, к.т.н., доц. Шевченко В. В.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ 91

К.О. Кулик, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ 95

Д.В. Кіт, студент гр. ПБ-91мп
КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ 3Д-ДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНСПЕКЦІЇ 99

І.В. Мастенко, студент гр. ПБ-91мп, Сірош В.О. студент гр. ПБ-71 к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КАРКАСНОГО ТИПУ МЕТОДОМ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ 103

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81
ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ 107

М.Ю. Пакета, магістрант гр. ПБ-91мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОПТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК 111

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-01мп
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ SADT У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА 115

Г.М. Соколов, студент гр. ПМ-91мп, к.т.н., доц. Нечай С.О.
ПОРТАТИВНІ ЕКСТРУДЕРИ ПРУТКА 118

О.А. Соколова, студент гр. ПБ-01мн, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
ПРО ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ 122

Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ 125

О.В. Третяк, студентка гр. ПБ-01мп
ПРИСТРОЇ ПРОТОТИПУВАННЯ ТА ПОВНОЦІННОГО 3D-ДРУКУ 129

В.Л. Федорчук, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ IDEF0 В ПРОЕКТУВАННІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ 133

В.І. Юрковець, аспірант гр. ПБ-01ф, к.т.н., доц. С.П. Вислоух
АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ 137

В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ FDM 3DДРУКУ 142

СЕКЦІЯ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

В.І. Райхіль, студент гр. ПМ-91мп., професор д.т.н. Гераїмчук М.Д.
ВИБІР НАЙАКТУАЛЬНІШИХ НА ДАНИЙ МОМЕНТ СПОСОБІВ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ 146

Е.П. Фотул, студент гр. ПІ-91мп
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ ГІДРАВЛІЧНОГО КАНАЛУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА 150

Д.І. Червоний, студент гр. ПІ-91мп, к.т.н., доц. Дубінець В.І.
РОЗШИРЕННЯ ДИНАМИЧНОГО ДИАПАЗОНА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ 154

СЕКЦІЯ 6. ЕКОНОМІЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІТИЧНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

В.І. Артемчук, студенти гр. ПН-91мп, В.В. Юник, студенти гр. ПН-з91мп, О.А. Осипенко, студенти гр. ПН-з91мп, д.т.н., професор. Защепкіна Н.М.
АКТУАЛЬНІСТЬ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАНУ В УКРАЇНІ ... 160

О. С. Бельський, студент гр. ПН-41мп, к.т.н., Ківа І.Л.
РЕКУРЕНТНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ 166

Р.О. Ботвінко, студент гр. Пн-91мп, А.І. Ніколаєв, студент гр. ПН-п01, М.В. Петров Р.О., студент гр. ПН-п01, к.т.н., доцент К.М. Божко
НЕСТАНДАРТНЕ ВИКОРИСТАННЯ MULTISIM НА ПРИКЛАДІ ОТРИМАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДІОДУ НА ОСЦИЛОГРАФІ 170

К. В. Луценко, студентка гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО САМОВИЗНАЧЕННЯ ВИПУСКНИКІВ ШКІЛ 173

М.А. Любиченко, студент гр. ПНз-91мп, к.т.н., ас. Івасенко В.М.
МОНІТОРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я 176

К. О. Мешкова, студентка гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАХВОРЮВАННЯ НАСЕЛЕННЯ НА COVID-19 180

О.А Осипенко, студент гр. ПН-91зм, Д.С. Сопружинський, студент гр. ПН-91мп, Д.А. Коваленко, студент гр. ПН-91мп
КОНТРОЛЬ МУТНОСТІ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 184

В.А. Пасечник, студентка гр. ПН-01мп, к.т.н., доц. Божко К.М.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ТИПА «ЗЕБРА» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК188

А.Д. Руденко, Б.В. Мельничук, ст. гр. ПН-91мп, к.т.н., доц. К.М. Божко
ПРОБЛЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОНТРОЛЕРА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ 192

СЕКЦІЯ 7. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЕКТУВАННІ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ, ТЕХНІЧНІЙ ТА МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ

В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71
МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНОГО ДИСТАНЦИРОВАНИЯ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19 198

Д.В. Барановський, студент гр. ПК-91мн
ЗАСТОСУВАННЯ МАТРИЧНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ 202

Д. Є. Котлов, студент гр. ПК-71
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ TRUSTED WIRELESS В РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ..... 206

В.П. Малько, студент гр. ПК-71
ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ ПІДЗЕМНИХ ОПЕРАЦІЙ..... 210

Н. Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71
ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ 214

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІРОМЕТРІЇ ТА АКТУАЛЬНІ СФЕРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ... 218

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПІРОМЕТРИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЛИВАРНО-ПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 222

М.В. Наконечний, студент гр. ПК-71
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОПРОЦЕСОРІВ В РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ 225

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОМ 229

С.П. Нощенко, студент гр. ПК-91мп
МОНІТОРИНГ ДЕГРАДАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ 233

Т.А. Романюк, студент гр. ПК-91мп
БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ 236

І.О. Складчиков, студент гр. ПК-71
ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКА MLX90640 У СКЛАДІ СМАРТ-ТЕПЛОВІЗОРА 240

Я.В. Стешенко, студент гр. ПК-71
ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОМОБІЛЬНИХ РОБОТІВ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ 243

К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ДРОНІВ В ЗАВДАННЯХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ 247

СЕКЦІЯ 8. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82.
ВІДЕОКАПСУЛЬНА ЕНДОСКОПІЯ 252

П.В. Білецький, студент гр. ПБ-92мп
СИСТЕМА ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕРАПІЇ ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ 256

О.С. Білик, студент гр. ПБ-з92мп, Т.Р. Клочко к.т.н., доцент
АВТОМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ КРОВІ 260

О. П. Бочкова, студентка гр. БП-71
КЛАСИФІКАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ ТЕХНІКИ ТА МЕТОДИ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ 264

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82
ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ 268

А.А.Варналій, студент гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ МОНІТОРУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ХОЛТЕРА НА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗНАХОДЖЕННЯ АРИТМІЇ 272

Д.В. Гутовський, студент гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ 276

І.О. Дупляк, студент гр. ПБ-82, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ 279

А.Г. Карпушева, студент гр. ПБ-92мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЇ МЕДИЦИНИ 283

А.Д. Комарова, студентка гр. ПБз-92мп
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ КРОВІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ 287

М.О. Костіцький, студент гр. ПБ-92мп
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ КІНЦІВКИ ПАЦІЄНТА 291

А. Г. Лєсніков, студент гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОАГУЛЯЦІЇ, СТИМУЛЯЦІЇ ТА ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН 295

О.А. Малий, студент гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент,
АВТОМАТИЗОВАНА МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНА СИСТЕМА 299

В.І. Мартиненко, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
БІОІМПЕДАНСОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИН 303

Б.І. Микитка, студентка гр. ПБ-з92мп
СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІМПЛАНТІВ ГОМІЛКОВОСТОПНОГО СУГЛОБА 307

М.Р. Мікаелян, студент гр. ПБ-з92мп
ОБҐРУНТУВАННЯ СВІТЛОПРИЙМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНОГО ФОТОМЕТРУ 310

Я.С. Паламарчук, студент гр. ПБ-92мп
СИСТЕМА ДЛЯ ОБРОБКИ ФОТОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ 313

С.О. Полуектов, студент гр.БП-71.
ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА СВІТЛОРОЗСІЯННЯ ЕПІДЕРМІСОМ ПРИ ФОТОМЕТРІЇ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ 317

Р. А. Рогожніков, студент гр. ПБ-82, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
АВТОМАТИЗОВАНІ АПАРАТИ МАГНІТОТЕРАПІЇ 321

О.Д. Рудий, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
МОНІТОРИНГ ЕКСПОЗИЦІЙНИХ ДОЗ ТА ЇХ РІВНЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ 325

А.В. Савченко, студент групи ПБ-з92мп, С.П. Вислоух к.т.н., доцент
СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ В ІНКУБАТОРІ ДЛЯ НОВОНАРОДЖЕНИХ 329

А.С. Смолка, студентка гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ОРГАНІЗМУ 333

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.
СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ У БІОНІЧНОМУ ПРОТЕЗУВАННІ КІНЦІВОК 337

В.В. Цапенко, аспірант, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
БАРОПОДОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІКИ СТОПИ 341

В. О. Чорний, студент гр. БП-71.
ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА СВІТЛОРОЗСІЯННЯ ДЕРМОЮ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ 345

О.Г. Шмендель, аспірантка гр. ПБ-82ф, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ 349

Р.В. Шнідковський, студент гр. ПБ-з92мп, Т.Р. Клочко к.т.н., доцент
ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО СПЕКТРОСКОПІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕВИЩЕННЯ ВМІСТУ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ 352

М. С. Щур, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ВІДТВОРЕННЯ ПРИРОДНЬОЇ СЕНСОРИКИ У ПРОТЕЗАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК 356

Ю.А. Юхименко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
ОСОБЛИВОСТІ НАЛАДКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АНАЛОГОВИХ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФА 359

К.В. Ющенко, студентка гр. ПБ-з01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА ЛІКУВАННЯ РАН 362

СЕКЦІЯ 9. МІЖНАРОДНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО В ПРИЛАДОБУДУВАННІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

С. В. Войтко, д.е.н., проф., завідувач кафедри міжнародної економіки,
СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ, ПОЗИТИВ І НЕГАТИВ У РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0 В ЕПОХУ “NEXT NORMALITY” 368

М.М. Заінчковська, студентка гр. УС-71
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ АЕС В УМОВАХ ІНДУСТРІЇЇ 4.0..... 371

А. І. Максимчук, студентка гр. УС-91мп, д.е.н., проф. Войтко С. В.
ВПЛИВ ІНДУСТРІЇ 4.0 ТА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ 374

Н.Є. Скоробогатова, к.е.н., доц.
ВПЛИВ ІННОВАЦІЙ НА ЗБАЛАНСОВАНИЙ РОЗВИТОК ЕКОНОМІКИ 378

А. А. Фролова, магістрантка
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 382

СЕКЦІЯ 10. ЕФЕКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ У ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Батбаяр Арцунтуя, студент гр. ПГ-91мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ . 388

К.С. Василець, аспірантка, д.т.н., проф. Квасніков В.П.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ В РЕЖИМІ ЗНИЖЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ 392

Д. О. Малішевський, студент гр. ПВ-01мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.
СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ОТВОРІВ 396

В.Ю. Марченко, студент гр. ПБ-81, ас. Вонсевич К. П.
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ПРИЛАДОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ..... 400

І. І. Рішко, студент гр. ПВ-91мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.
СИСТЕМА КАЛІБРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ЛЮФТОМІРІВ 404

В. І. Фесенко, студентка гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
ОГЛЯД СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ 407

Б.С. Шмідт, студент гр. ПВ-91мп, Д.В. Босенко, асп., к.т.н., доц. Шведова В.В.
АНАЛІЗ МЕТОДІВ КВАЛІМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ КОНКРЕТНОЇ ЗАДАЧІ ПЕДАГОГІЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ 411

СЕКЦІЯ 11. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Б.Р. Діхтяренко, студент гр. ПА-91мп, М.С. Скурский, студент гр. ПА-91мп
МЕТОДИ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДЕГРАДАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ..... 416

Д.В. Мальцев, студент гр. ВА-71, к.т.н., доц. Богомазов С.А.
ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ ELECTRIC IMP 419

А.О. Новіков, студент гр. ПА-91мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.
ІНСТРУМЕНТАЛЬНА КОРЕЛЯЦІЯ ВХІДНИХ ВЕЛИЧИН У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ІВС..... 422

М.І. Павлишин, студент гр. ПА-91мп
СИСТЕМА ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ ПРИЦІЛЬНОЇ СИСТЕМИ 426

А.А. Помилуйко, студент гр. ПА-91мп, Володарський В.А., студент гр. ПА-91мп
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ГРАДУЮВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ 429

В.А. Володарський, студент гр. ПА-91мп, А.А. Помилуйко, студент гр.ПА-91мп
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБАСТНИХ ПРОЦЕДУР 432

Д.М. Семенко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ..... 436

М.С. Скурський, студент гр ПА-91мп, Б.Р. Діхтяренко, студент гр. ПА-91мп
ТЕПЛОВІЗІЙНА ПРИЦІЛЬНА СИСТЕМА 440

В.В. Стасюк, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА МЕТОДОМ НУЛІВ І ПОЛЮСІВ 443

О.В. Токаренко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.
СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ 447

В.О. Хомич, студент гр. ПА-91мп, В.В. Стасюк, студент гр. ПА-91мп
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ САМОРОЗРЯДУ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ 450

Ю.В. Штефура[1], аспірант, Г.І.Хімічева[1], д.т.н., проф., К.Л.Шевченко[2], д.т.н., доц.
ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ ДІАГНОСТИКИ СТУПЕНЮ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ 453

Секція 1.
Економіка та ефективність комп'ютерно-інтегрованих навігаційних систем і приладів

УДК 621.317

М.О. Березанська, студентка гр. ПГ-91мп, к.т.н., доц. Д.О. Півторак,
НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ЦИФРОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ

Анотація. В роботі розроблений пристрій для визначення частоти серцевих скорочень, що дозволяє визначати пульс людини точно та швидко. Розроблене програмне забезпечення, що за допомогою певних перетворень представляє на екрані значення кількості ударів серця в хвилину.

Ключові слова: пульс, датчик вимірювання пульсу, Pulse Sensor, Arduino Uno, функціональна схема.

ВСТУП

На сьогоднішній день, з урахуванням стрімкого розвитку різних технологій, прилади вимірювання пульсу є досить різноманітними. Вони можуть розрізнятися як за способом вимірювання, так і способом кріплення та розмірами.

Користуючись приладом вимірювання частоти серцевого ритму є можливість спростити задачу вимірювання серцевих скорочень у порівнянні з різними методами вимірювання, а також значно зекономити час [1].

Найбільше застосування прилади визначення частоти серцевих скорочень знайшли в медицині, спорті та в повсякденному житті, що дає змогу аналізувати функціональний стан здоров'я.

Одними із найзручніших у використанні пристроїв визначення частоти серцевих скорочень є пристрій в основі якого лежить оптичний датчик вимірювання пульсу.

На ринку представлені багато різних виробників пристроїв визначення частоти серцевих скорочень в основі яких лежить оптичний датчик вимірювання серцевих скорочень. Кожен із цих пристроїв має свої переваги та недоліки. Наприклад, може бути швидке вимірювання, а самі значення виміру не точні, складна конструкція, але точний у вимірюваннях, незручний у використанні, але за доступну ціну [2].

Проаналізувавши всі переваги та недоліки, прилад визначення частоти серцевих скорочень має володіти певними характеристиками для задоволення потреб користувачів, а саме: швидкість вимірювання, точність виміряних значень, легка конструкція, зручність використання, малі габаритні розміри, можливість транспортування, невисока ціна.

ЦИФРОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ

В якості чутливого елементу пристрою для визначення частоти серцевих скорочень використовується датчик Pulse Sensor, який складається з світлодіоду та фотоприймача (рис. 1). Принцип роботи датчика полягає у зміні відбивання світлового потоку від пульсуючих судин, які наповненні кров'ю.

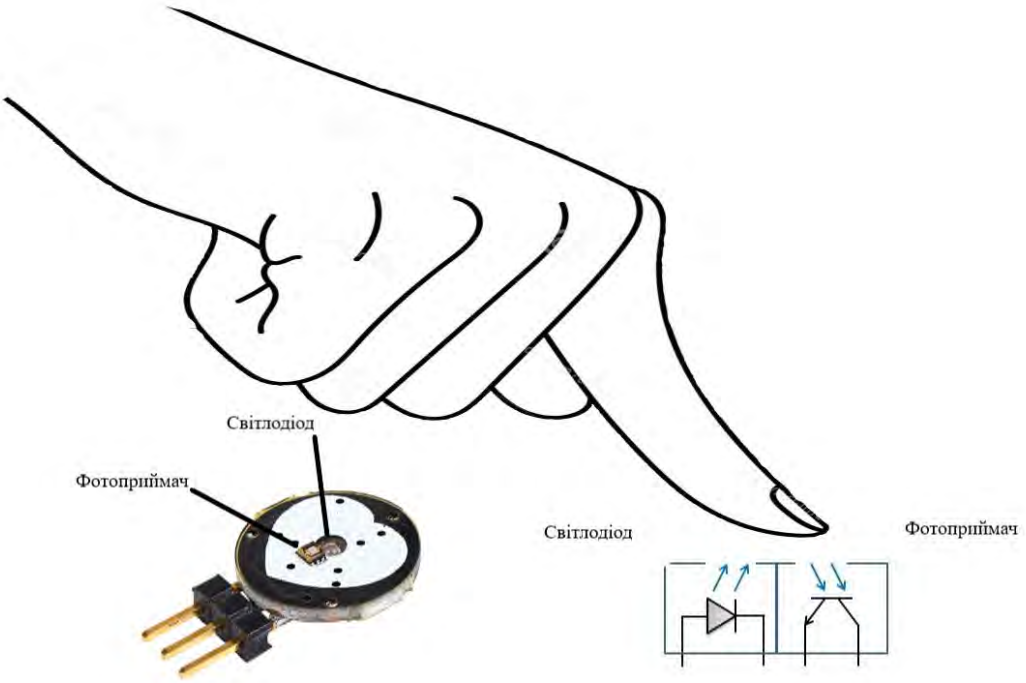


Рисунок 1. Розташування на датчику Pulse Sensor світлодіода та фотоприймача і його принцип дії.

Датчик Pulse Sensor та світлодіод підключається до плати Arduino Uno R3 до спеціально визначених входів.

Контакт S (signal), що являється аналоговим виходом датчика, підключається до аналогового входу плати Arduino. На контакт «+» подається живлення 5 V з плати, і контакт «-» заземлюється [3].

Світлодіод має всього 2 контакти: довший контакт підключається до цифрового входу плати, а коротший до GND, тобто заземлюється [4].

Схема підключення датчика Pulse Sensor та світлодіоду до плати Arduino представлена на рисунку 2.

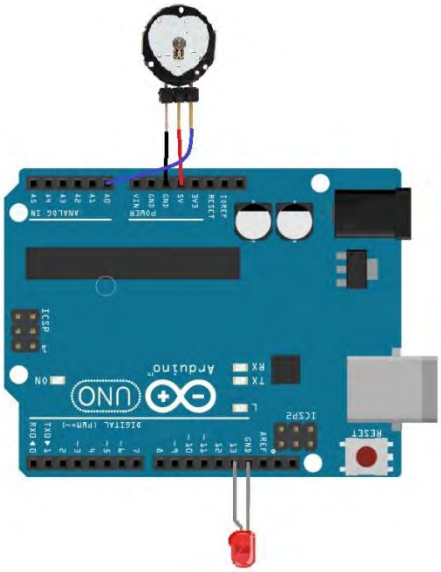


Рисунок 2. Схема підключення датчика Pulse Sensor та світлодіоду до плати Arduino.

Принцип дії розробленого пристрою полягає в наступному (рис.3). Датчик Pulse Sensor кріпиться до тіла людини (Л), якій вимірюється пульс.

Запускається блок подачі та прийому інформації (БПІ), що через блок USB передає інформацію на мікроконтролер, який потім подає сигнал на датчик Pulse Sensor і виконується зняття інформації, тобто вимірюється пульс.

Після чого дані передаються на підсилювач сигналу (П). Сигнал пропускається через фільтр нижніх частот (ФНЧ), після чого дані передаються на мікроконтролер з якого через блок USB, інформація передається до блоку прийому (БПІ) інформації (до комп'ютеру), і завдяки програмному коду написаному на комп'ютері виконується перетворення виміряних значень і представляється результат частоти серцевих скорочень.

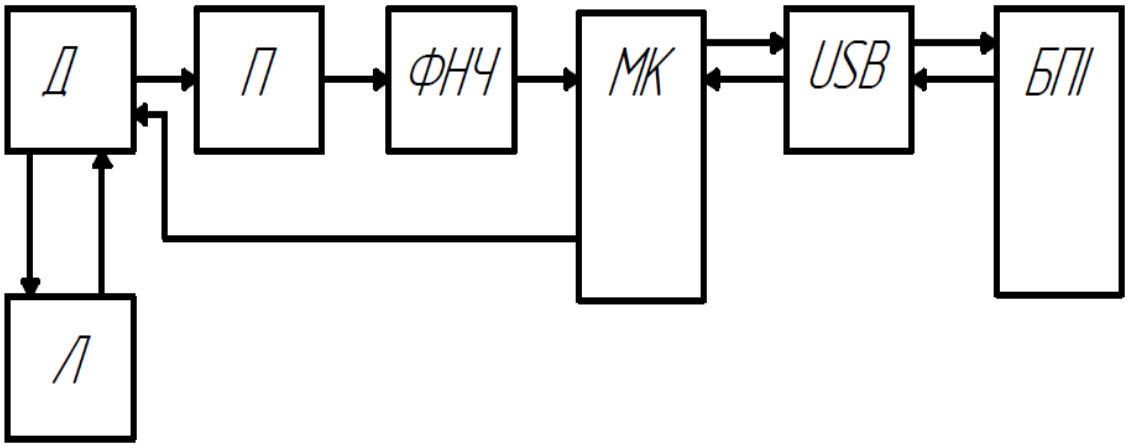


Рисунок 3. Структурна схема пульсометру.

На рис. 4 представлений розроблений пристрій для вимірювання частоти серцевих скорочень.

Рисунок 4. Цифровий пристрій для визначення частоти серцевих скорочень.

Кріплення датчика до пальцю здійснюється за допомогою спеціальної кліпси. Завдяки цьому, датчик чітко фіксується на пальці, що дає змогу отримати точні значення частоти пульсу (рис.5).

Для пристрою визначення частоти серцевих скорочень було розроблене програмне забезпечення в програмному середовищі Arduino IDE, що дозволяє

обробити отриманий сигнал з датчика, провести певні обрахунки і в результаті значення кількості серцевих скорочень вивести на екран (рис. 5).

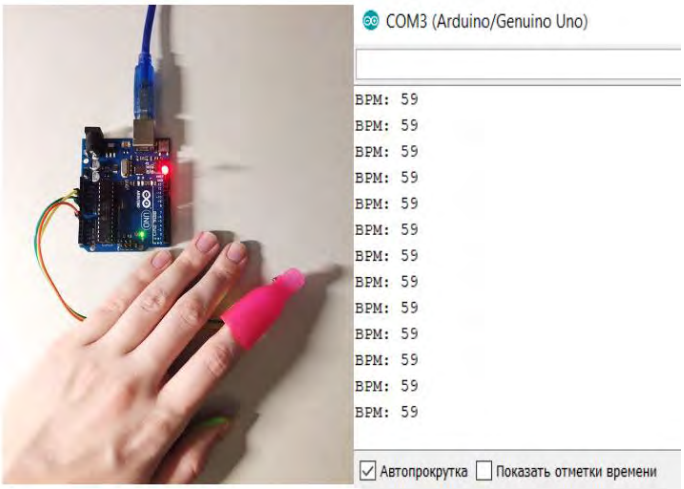


Рисунок 5. Кріплення датчику до пальця та результат вимірювання частоти серцевих скорочень.

ВИСНОВКИ

Точне визначення частоти серцевих скорочень має важливе значення в медицині, спорті, повсякденному житті, так як знаючи пульс, можна оцінити функціональний стан людини. Розроблений пристрій для визначення частоти серцевих скорочень дасть змогу вимірювати частоту серцевих скорочень швидко і точно. Також перевагою розробленого пристрою є простота використання його розмір, за рахунок цього є можливість використовувати його будь-де.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Огляд та сучасний стан датчиків серцевого ритму / М. О. Березанська // 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. 26–29.

[2] Вариабельность ритма сердца в диагностике и лечении внутричерепного гипертензионного синдрома: монография /В.И. Горбачёв, В.В. Ковалёв, Ю.В. Добрынина. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2012. – 128 с.

[3] Pulse Sensor [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pulsesensor.com/.

[4] Подключение светодиода к Ардуино [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduinomaster.ru/uroki-arduino/podklyuchenie-svetodioda-k-arduino/.

УДК 332.87+ 004.021

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

СТРУКТУРА МЕРЕЖІ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ SMART HOME НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ ZIGBEE

Анотація. Сучасна автоматизація систем типу Smart Home передбачає використання великої кількості пристроїв у межах однієї системи та необхідність подальшої взаємодії цих пристроїв. Для цього використовують різноманітні протоколи передачі даних, такі як ZigBee та Wi-Fi. У даній роботі розглянута загальна схема мережі Smart Home, що надає можливість взаємодії різних протоколів в межах однієї системи, та основні принципи побудови та адресації пристроїв сітчастої мережі ZigBee.

Ключові слова: Smart Home, протокол, ZigBee, mesh, мережа, датчики, автономне живлення, топологія, адресація мережі, кластери.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Наразі Розумний Дім (Smart Home) є актуальною технологією, що набирає свою популярність і з кожним роком збільшує свою частку на ринку [1]. Однією з основних задач Smart Home є взаємодія пристроїв та датчиків, більшість з яких є автономними та мають свої незалежні джерела живлення. Для таких пристроїв виникає необхідність створювати мережу, що дає можливість кінцевим пристроям перебувати у «режимі сну», взаємодіяти один з одним без залучення координатора, мати невеликі затримки, та гнучку архітектуру. Всі ці потреби може задовольнити протокол ZigBee [2].

Отже, метою даної роботи є формування загальної архітектури взаємодії підмережі ZigBee та системи Smart Home, а також надання загальних рекомендації щодо створення мережі ZigBee.

ІСНУЮЧІ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ SMART HOME З ВИКОРИСТАНЯМ ZIGBEE

На сьогоднішній день більшість хабів Smart Home, що доступні на ринку, підтримують мережевий протокол ZigBee, але мають ряд недоліків. Здебільшого, для підключення доступні лише пристрої ZigBee тієї фірми, що створювала хаб, а кількість цих пристроїв обмежена до 32. Це зумовлено тим, що не дивлячись на загальні вимоги до протоколу, кожен виробник реалізує його індивідуально, виходячи з власних потреб, і як наслідок, існує декілька досить різних варіантів стандарту та профілів передачі даних [3].

У роботі [4] було запропоновано використовувати ZigBee як єдиний протокол Smart Home. При цьому мережа за допомогою шлюзу з'єднується з хмарними сервісами. Основним недоліком такого підходу є відсутність можливості під'єднання пристроїв, що не підтримують ZigBee. Отже до подібної системи необхідно додати хаб, що здатен виконувати деякі обчислення безпосередньо у будинку і бути посередником між пристроями, які використовують різні протоколи зв'язку.

Автори роботи, що наведені в [5], реалізували автоматизацію однієї кімнати Smart Home на основі протоколу з ZigBee з використанням мережевого шлюзу та універсального хабу. Із недоліків запропонованої реалізації можна виокремити наступні: топологією мережі є «дерево», тож при відмові одного з

ключових вузлів (наприклад при розрядженні акумулятора) частина мережі може перестати надсилати дані до шлюзу; всі дані мають проходити попередню обробку у шлюзі, який має малу швидкодію і об’єм пам’яті.

ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА МЕРЕЖІ SMART HOME

Для досягнення поставленої мети була розроблена структурна схема функціонування вузлів підмережі ZigBee у системі Smart Home, що наведена на рис. 1. Взаємодія різних протоколів, додатків, мережі інтернет і т.д. відбувається через хаб U0 – певний мікрокомп'ютер (наприклад Raspberry PI), на якому встановлене програмне забезпечення хабу Smart Home. Прикладом такого програмного забезпечення може бути OpenHub чи HomeAssistant.

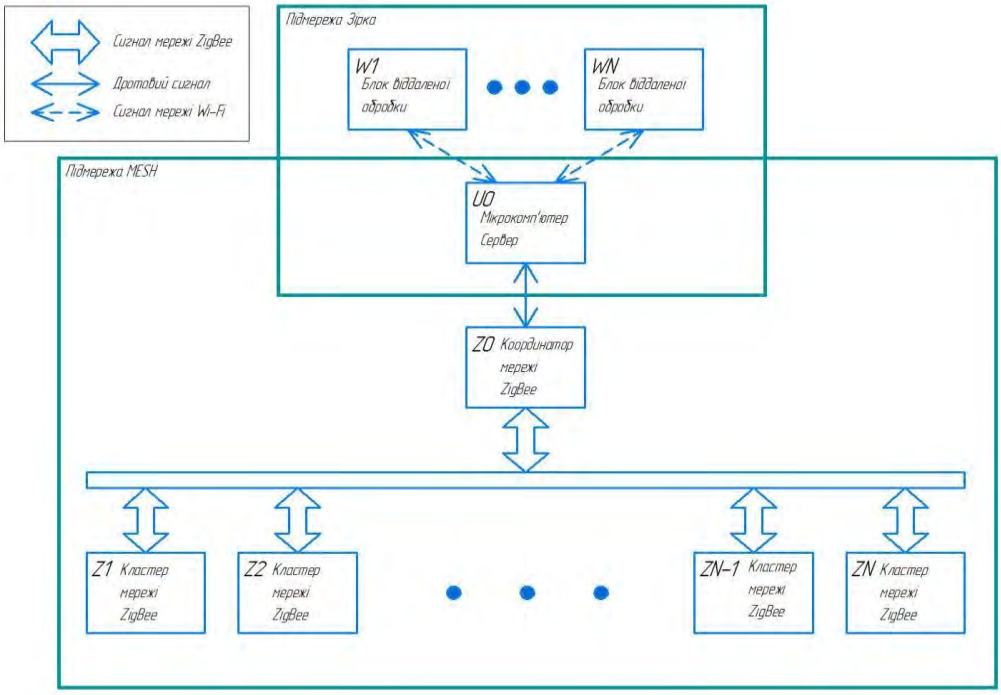


Рис 1. Загальна структура мережі ZigBee

Для взаємодії з підмережею ZigBee до блоку U0 підключається блок Z0 - координатор ZigBee. Хоча він є єдиною точкою взаємодії з хабом, при відмові Z0 чи U0 підмережа ZigBee може працювати автономно.

Сама мережа ZigBee складається з так званих «кластерів». Кластери можуть утворюватися як декількома пристроями, що під'єднані до одного передавача, так і декількома передавачами, що тісно взаємодіють між собою.

Також до U0 можуть бути підключені інші підмережі, такі як Wi-Fi (блоки W1…WN). Хаб дозволяє передавати дані з однієї підмережі до іншої. Додатково U0 можна використовувати для доступу до хмарних сервісів.

При використанні протоколу ZigBee кожен вузол має 2 адреси: 64-бітна розширена адреса IEEE, що запрограмована в контролер вузла, та коротка 16-бітна адреса PAN, що виступає у ролі унікального ідентифікатора мережі.

Мережа ZigBee має пристрої, що виконують три основні ролі [2]:

- Координатор — це координатор IEEE 802.15.4 PAN адрес. Він дозволяє мережі працювати режимі mesh.

- Роутер — це пристрій, який може виконувати роль маршрутизації IEEE 802.15.4. Використовує топологію «дерево» та довгі адреси пристроїв.
- Кінцевий пристрій — це пристрій, який не є ні координатором, ні маршрутизатором.

Основні види топології, що використовує ZigBee вказані на Рис. 2.

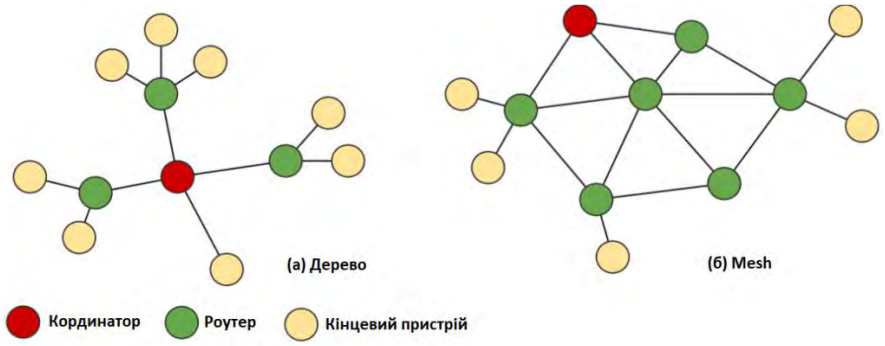


Рис 2. Основні схеми побудови мережі ZigBee

Існує два основні алгоритми адресації в межах протоколу ZigBee[6].

Алгоритм **Cluster-Tree**: за допомогою обдуманного вибору довгих адрес він допомагає встановлювати логічні зв'язки між батьківськими та дочірніми вузлами, що пришвидшує маршрутизацію у мережі. Відповідно до нього адреса кожного вузла в мережі призначається батьківським вузлом за допомогою схеми розподіленого розподілу адрес [5]. У результаті мережа приймає форму дерева.

Недоліками такого підходу є:

- Випадок коли батьківський вузол виходить з ладу, то доступ втрачається до всіх «дітей».
- Якщо два пристрої знаходяться в зоні доступу одне одного, але не є «батьком» та «дитиною», то зв'язок між ними буде виконуватись через посередників, що збільшує затримки у мережі.
- Під час додавання нових кластерів до дерева може виникнути ситуація, при якій дерево стає завеликим у «глибину» і його треба переорієнтовувати.

Алгоритм **AODVjr**: створює для кожного пристрою таблицю адресації через PAN адреси пристроїв. Таблиця створюється лише для тих пристроїв, до яких виконується запит [6].

Основні мінуси:

- Можливість виникнення «штормів», коли забагато пристроїв одночасно шукають маршрут до потрібного вузлу і мережа не може ефективно відпрацьовувати усі запити.
- Необхідність проходження подвійного шляху між вузлами.
- Маршрут з одного вузла до іншого в однин бік може бути в оптимальним, а в інший – ні.

Пропоноване поєднання Cluster-Tree та AODVjr:

- Різні алгоритми використовуються для різних «мап». Наприклад у коридорах та для спілкування між кімнатами використовується

швидший Cluster-Tree, а для спілкування у межах однієї кімнати, у якій немає бар'єрів – AODVjr.

- Уся мережа є Cluster-Tree, але при маршрутизації перевіряється чи є шуканий пристрій у таблицях маршрутизації AODVjr вузлу, і якщо він є, то алгоритм Cluster-Tree припиняє свою роботу, а алгоритм AODVjr починає.

ВИСНОВКИ

У даній роботі були розглянуті основні аспекти побудови підмережі ZigBee системи Smart Home, а саме: інтеграція ZigBee у загальну мережу Smart Home та принципи адресації, що використовує ZigBee. Також була запропонована концепція поєднання алгоритмів адресації ZigBee для Smart Home, що не потребує суттєвого доопрацювання протоколу. Надалі необхідно розв'язати наступні проблеми: відсутність резервування хабу Smart Home, принципи взаємодії пристроїв ZigBee та зберігання зібраної ними інформації при відсутності підключення до хабу, подальше вдосконалення алгоритмів маршрутизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Statista. 2020. Smart Home – Worldwide. *Statista Market Forecast*. Режим доступу: https://www.statista.com/outlook/283/100/smart-home/worldwide (дата звернення: 20.11.2020)

[2] ZigBee Specification. ZigBee Document – 05-3474-21, 2015 р. Режим доступу: https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf (дата звернення: 20.11.2020)

[3] Білоус, О. Ю. Алгоритми та протоколи взаємодії пристроїв системи Smart Home / О. Ю. Білоус, О. М. Павловський // 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 : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 18–20. – Бібліогр.: 4 назви.

[4] Soliman M., Abiodun T., Hamouda T., Zhou J., Chung-Horng L. Smart Home: Integrating Internet of Things with Web Services and Cloud Computing. *IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science.* Vol. 2, 3-6 Dec. 2013. Bristol, United Kingdom: IEEE, 2013. P. 317-320

[5] Byun J., Jeon B.,Noh J.,Kim Y., Park S. An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications. *IEEE Transactions on Consumer Electronics.* 2012. Vol. 58, No. 3. P. 794-802.

[6] Jianpo L., Xuning Z., Ning T., Jisheng S. Study on ZigBee Network Architecture and Routing Algorithm. *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS*). 5-7 Jul. 2010. Dalian, China: IEEE 2010. №2. P. 389-393.

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

УДК 681.53

А.С. Григор'єв, студент гр. ПГ-91мп, П.С. Мироненко, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ І КЕРУВАННЯ.

Анотація. У роботі розглянуто принцип побудови стенду для проведення експрес - дослідження сервоприводів. Описані принцип дії та основні характеристики стенду. Зазначено основні переваги спроектованого стенду. Приведені характеристики найбільш розповсюджених моделей сервоприводів та способи їх перевірки на розробленому стенді. Зроблено висновки, щодо сфер використання стенду.

Ключові слова : сервопривод, система керування, автоматизація, управління.

ВСТУП

При проектуванні сучасних приладів і систем управління рухомими об'єктами широко впроваджуються новітні мехатронні системи. Основними модулями таких систем є мехатронні модулі руху (ММР). Основою таких модулів є малогабаритні швидкодіючі сервоприводи, що використовуються в сучасних високоточних системи керування рухомими об'єктами, таких як рульові системи літальних апаратів, роботи з рухомими елементами конструкцій тощо[1].

Сервоприводи мають суттєві переваги серед аналогічних пристроїв у тому, що за рахунок зворотнього зв'язку механізм може відпрацьовувати положення вихідного валу незалежно від його навантаження , що дозволяє реалізовувати робоче положення механізму з високою точністю позиціювання.

Такі приводи мають і інші вагомі переваги:

— за допомогою редуктора приводу зменшується кутова швидкість вихідного валу і збільшується момент на ньому;
— позиціювання робочого органу легко налаштовується програмними методами;
— можливість досягнення великих прискорень при роботі, що робить
— сервопривод більш придатним для використання в швидкодіючих механізмах, в порівнянні з кроковими двигунами;
— практично постійний вихідний момент у всьому діапазоні робочих швидкостей;
— можливість виконувати свої функції в умовах перенавантаження.
— До недоліків можна віднести:
— наявність редуктора, що вимагає для відповідальних об'єктів використовувати не дешеві пластикові шестерні, а високоякісні металеві; - зношення резистивних доріжок потенціометра зворотного зв'язку; - складність налаштування програми керування для забезпечення високої точності;
— дещо більша вартість устаткування (в порівнянні з кроковими двигунами);
— точність позиціювання часто нижча ніж у крокових двигунів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проектування систем керування рухомими об'єктами при виконанні синтезу систем управління необхідно мати достовірну інформацію про параметри сервоприводів, що використовуються в їх конструкціях [2]. Перелік таких характеристик може складається з:

характеристик точності позиціювання вихідної ланки сервоприводу;

діапазону регулювання обертального моменту на валу приводу;

здатності працювати в умовах перенавантаження;

часу перекладки вихідної ланки;

частотних характеристик ММР при статичному і динамічному навантаженні тощо.

В роботі представлено лабораторний стенд для дослідження основних характеристик сервоприводів, що використовуються в приводах орієнтуючих пристроїв [3]. Стенд представляє собою програмно-апаратний комплекс, що включає платформу, на якій розміщено три сервоприводи, мікроконтрольний пристрій управління та три вимірювальних модулі:

модуль вимірювання силових параметрів сервоприводів - обертальних моментів (номінального, пускового і пікового) - в залежності від параметрів живлення. Дослідження здійснюється на основі використання цифрового динамометра. Для виконання точного вимірювання в конструкції передбачено додатковий навантажувальний пристрій з регулюючим мікрометричним гвинтом;

модуль визначення кута повороту (перекладки) і точності позиціювання вихідної ланки сервоприводу. Вимірювання здійснюється при керуванні сервоприводом за допомогою мікроконтролерного пристрою. Кутове переміщення вихідної ланки фіксується за допомогою двохшкального відлікового механізму;

модуль вимірювання робочої кутової швидкості обертання вихідної ланки сервоприводів в залежності від параметрів живлення.

Управління стендом відбувається за допомогою програмного забезпечення від комп'ютера або пульта ручного керування.

Мікроконтролерний пристрій управління забезпечує передачу сигналу сервоприводу у вигляді імпульса з змінною шириною та обробку сигналів з резистивного датчика, розташованого всередині сервоприводу.

Спеціалізоване програмне забезпечення поставляється разом з електроприводом і дає змогу провести повне налаштування і моніторинг, необхідні для дослідження його параметрів. При виконанні досліджень оператор має можливість керувати кожним сервоприводом окремо.

В роботі представлені результати перевірки характеристик 3-х сервоприводів.

Сервомотор SG90 показано на рис. 1 а). Маючи габаритні розміри 33х30х13 мм та вагу 9 г, розвиває крутний момент до 2 кг/см, кут повороту

180 градусів та швидкість повороту без навантаження 0,12 сек/60° при живленні 4,8 В.

Сервомотор MG90S (рис.1 б)). Має габаритні розміри 32x32x13 мм та вагу 14 г, розвиває крутний момент до 2.2 кг/см, кут повороту 160 градусів та швидкість повороту без навантаження 0,1 сек/60° при живленні 4,8 В та 0.08 сек/60° при живленні 6 В.

а) б) в)

Рисунок 1. Сервоприводи: а) SG 90; б) MG 90S; в) MG 996R

Сервомотор MG996R (рис.1 в)). Має габаритні розміри 40x19x43 мм та вагу 55 г, розвиває крутний момент до 11 кг/см, кут повороту 120 градусів та швидкість повороту без навантаження 0,17 сек/60° при живленні 4,8 В та 0.13 сек/60° при живленні 6 В.

ВИСНОВКИ

При створенні даного стенду було взято за мету створити пристрій, за допомогою якого можна б було перевірити основні характеристики сервомоторів. Ці параметри необхідно знати для того, щоб розуміти чи заявлені характеристики виробника відповідають дійсності та чи можна використовувати ці приводи в приладах, що розробляються на кафедрі .

Дослідження показали, що завдяки високій енергоефективності, можливості точного управління і, у багатьох випадках, достатнім силовим характеристикам, вказані сервоприводи можуть бути використані як в учбових так і в некомерційних роботах та проектах. Розроблений стенд є досить універсальним і дає змогу попередньо перевірити більшість популярних на даних час сервомоторів, що робить його необхідним засобом для вдалого проектування приладів та систем з використанням даних типів двигунів.

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] Подключение шагового двигателя [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://stepmotor.ru/podklyuchenie-shagovogo-dvigatelya.

УДК 531.383

А.М. Клименко, студентка гр. ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ТА ФІЛЬТРА «КОВЗКЕ СЕРЕДНЄ»

Анотація. В роботі був проведений порівняльний аналіз сучасних фільтрів для мікромеханічних приладів: фільтра Калмана та фільтра «Ковзке середнє», який показав, що вони поділяються на фільтр Калмана,, Фільтр "ковзке середнє". Наведено принцип дії кожного з типів фільтра, розглянуті їх недоліки та переваги. Досліджено роботи фільтрів Калмана та Ковзкого середнього.

Ключові слова: фільтри, фільтрація, фільтр Калмана, Фільтр "Ковзке середнє".

ВСТУП

Існує велике різноманіття фільтрів сигналів, але більша їх частина не дає прийнятних результатів для конкретного застосування. Тому для огляду було обрано два фільтри, які найкраще підходять для обробки сигналів мікромеханічних приладів, це фільтр Калмана та фільтр «Ковзке середнє» у даній роботі. Проведемо їх огляд, розглянемо принцип роботи та дослідимо на практиці, який з них дає найкращий результат фільтрації.

Фільтр Калмана. Для початку необхідно визначити величину, яка буде фільтруватися**,** це може бути координата, швидкість, прискорення, вологість, температура, тиск, і т.д. [1]

Для кращого розуміння принципу роботи фільтра Калмана, в [1] наведено приклад. Існує деякий об’єкт, який може пересуватися тільки вперед та тільки назад за рахунок керування. Знаючи вагу об’єкта, форму, покриття поверхні та ін, можна розрахувати, як контролюючий джойстик впливає на швидкість руху v_k .

Отже, координата об’єкт буде змінюватися за законом [2]:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt$$

На практиці не завжди можна врахувати в розрахунках невеликі похибки, що діють на об’єкт (вітер, вібрації, перешкоди на дорозі), тому справжня швидкість об’єкта буде відрізнятися від розрахованої. До правої частини написаного рівняння додасться випадкова величина ξ_k:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt + \xi_k$$

У об’єкта є встановлений GPS, який визначає справжнє місцезнаходження об’єкта, але він не може виміряти точні координати x_k, оскільки при вимірювання виникає помилка η_k, яка також є випадковою величиною. З датчика ми отримуємо дані з помилкою:

$$z_k = x_k + \eta_k$$

Задача полягає в тому, щоб при помилкових показаннях сенсора z_k, знайти хороше наближення для істинної координати об’єкта x_k. Таке наближення буде позначатися, як x_k^{opt} .

У загальному формулюванні задачі, як вказувалося вище, за координату x_k може бути прийнято будь –яку характеристику (температура, вологість, т.п.), а

член, який відповідає за контроль системи ззовні ми позначимо за u_k, отже рівняння для координати і показання навігатора будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + u_k + \xi_k \\ z_k &= x_k + \eta_k \end{aligned} \qquad (1.1)$$

Фільр «ковзке середнє». Ковзке середнє (moving average), - загальна назва для сімейства функцій, значення яких в кожній точці визначення дорівнюють середньому значенню вихідної функції за попередній період. Фільтри такого типу зазвичай використовуються з даними часових рядів для згладжування короткострокових коливань і виділення основних тенденцій або циклів [3]. Математично ковзке середнє є одним з видів згортки, і тому його можна розглядати, як фільтр низьких частот, що використовуються в обробці сигналів. Просте ковзке середнє, або арифметичне ковзке середнє чисельно дорівнює середньому арифметичному значень вихідної функції за встановлений період і обчислюється за формулою [4]:

$$SMA_t = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \cdots + p_{t-i} + \cdots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n},$$

де SMA_t - значення простого ковзкого середнього в точці t ;

n - кількість значень вихідної функції для розрахунку змінного середнього (згладжує інтервал), чим ширше згладжує інтервал, тим більш плавним виходить графік функції; p_{t-i} - значення вихідної функції в точці t - i.

Отримане значення простого рухомого середнього відноситься до середини обраного інтервалу, однак, традиційно його відносять до останньої точки інтервалу [5].

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЇХ РОБОТИ

Моделювання фільтрів проводилося у програмному середовищі MATLAB та були побудовані їх Simulink – моделі. Було прийнято моделювати дискретні фільтри для отримання більш точних та комфортних у подальшій обробці результатів. На вхід кожного фільтру подавався однаковий чистий сигнал з шумом мікромеханічного акселерометру, частоту якого змінювали в ході експерименту в межах від 0 рад/с до 40 рад/с.

На рис. 1 зображений сигнал акселерометру з частотою 10 рад/с без адитивного шуму, який подається на вхід фільтру разом з шумом, і є однаковим для обох досліджуваних фільтрів. На рис. 2 вже наведено графік, який отримано після пропущення сигналу через фільтр Калмана. На графіку зображено три сигнали, що порівнюються: червоним кольором – чистий сигнал з акселерометру, жовтим – сигнал з шумом, синім – сигнал після фільтрації Калмана. Даний результат отримано при $\boldsymbol{R}$=1 $\cdot 10^{-3}$ - дисперсія зовнішніх збурень та $\boldsymbol{Q}$=1 $\cdot 10^{-3}$ - дисперсія вимірювального шуму та частоті 10 рад/с.

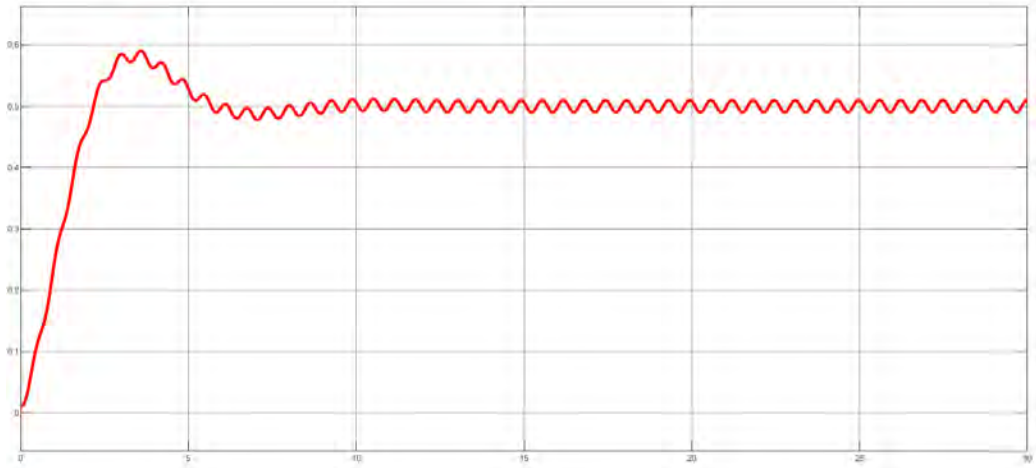


Рис. 1. Сигнал акселерометру, що подається на входи фільтрів.

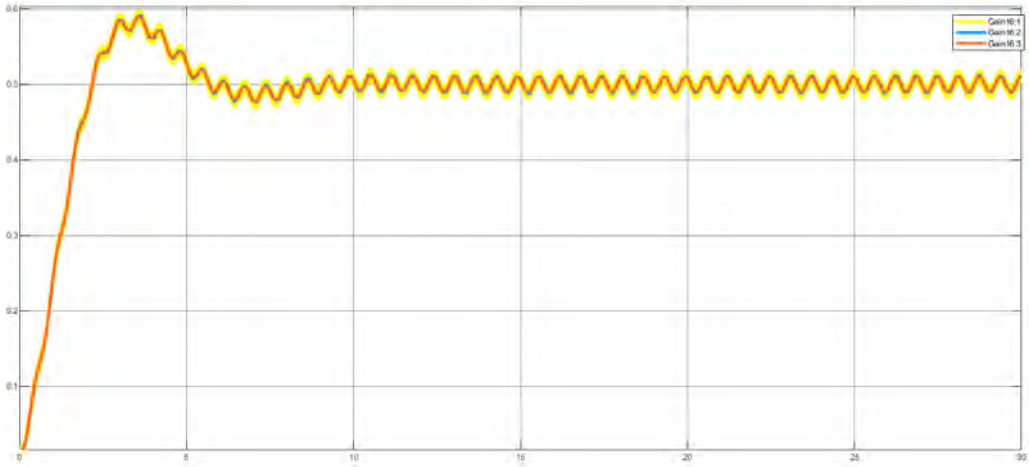


Рис. 2. Сигнал на виході фільтра Калмана.

На рис. 3 наведений графік сигналу після фільтрації «ковзким середнім», результат отримано при тих же заданих параметрах, що і при фільтрації Калмана. Також на графіку відображено червоним кольором – чистий сигнал з акселерометру, жовтим – сигнал з шумом, синім – сигнал після фільтрації «Ковзким середнім».

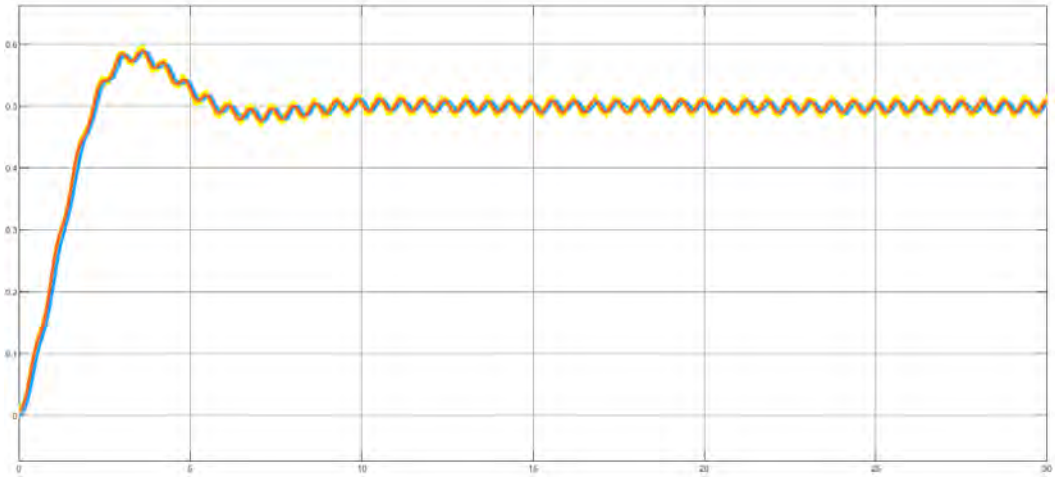


Рис. 3. Сигнал на виході фільтра «Ковзке середнє» .

Для аналізу даних було визначено середньоквадратичне відхилення (СКВ) отриманих після фільтрації сигналів, порівняно до сигналу без шуму.

Розультати визначення СКВ показали, що в розглянутому діапазоні частот середньоквадратичне відхилення при використанні фільтра Калмана становить 0.1861 а, при використанні Ковзкого середнього становить 0.0188.

ВИСНОВКИ

На сьогодні необхідність і якісній фільтрації сигналів зростає з розробкою кожного мікромеханічного приладу. Оскільки технічний світ пригне перейти від механіки до якісної мікромеханіки, а це неможливо без якісної обробки та фільтрації сигналів, то проведене дослідження є актуальним у нас час та корисним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Распопов В. Я. «Микромеханические приборы: учебное пособие»/ Распопов В.Я.–М.: Машиностроение, 2007. – 400 с. :ил.
[2] Матвеев В.В., «Основы построения бесплатформенных инерциальных систем», СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбир», 2019.
[3] MPU-6050 datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/docs/RM-MPU-6000A.pdf
[4] ESP8266 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://esp8266.ru/
[5] Протокол I2C [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/

Науковий керівник: д.т.н. Бурау Н.І.

УДК 629.052.7

Д. Р. Матвієнко, студент групи ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ ЛЮДИНИ ЗА СИГНАЛАМИ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ БЛОКІВ

Анотація: у цій роботі розглянуті приклади робіт із використанням інерційних датчиків. В першій роботі навнедена система для зчитування даних із інерційного сенсора телефону, наведені методи зчитування даних, обробка їх нейронною мережею та застосування. В другій роботі впроваджені та розроблені алгоритми обробки даних інерційних датчиків при виконанні різних рухів.

Ключові слова: інерціальні датчики, гіроскоп, акселерометр, HAR.

ВСТУП

Зчитування та розпізнання рухів людини має широкий спектр застосування у таких областях як як медицина, спорт, кібернетика, анімація фільмів та ігор. Сучасна цифрова ера надає велику кількість методів використання даної технології. Особливо важливу роль грають методи, які можна використовувати для аналізу рухів у повсякденному житті.

У літературі розглянуто багато способів використання інерціальних датчиків для аналізу руху людини. Варто відмітити, що мініатюрні МЕМС сенсори широко розповсюджені у нашому житті, особливо у сучасних мобільних телефонах. Майже в кожної людини він є, і вона користується його функціями для своїх потреб.

У даній роботі розглянуті новітні методи з використанням нейронних мереж, в яких використовувалися МЕМС-датчики для зйому даних.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У роботі [1] автором була поставлдена задача щодо розпізнання та інтерпретувати руху, використовуючи природну кінематику, використовуючи дані, отримані з інерціальних датчиків вбудованих у смартфон. Однією із задач було використання даних для аутенфікції користувача в смартфоні.

За основу взято те, що кожен телефон має інерціальний вимірювальний блок (ІВБ) із трьохвісним акселерометром та гіроскопом. Для усунення дії прискорення сили земного тяжіння з сигналів акселерометрів був віиколристаний фільтр Батеррворта. У результаті був отриманий потік даних із шести значень:

$$\{a_x, a_y, a_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z\} \in \mathbb{R}^6 \tag{1}$$

Для врахування варіації між пристроями та забезпечення декореляції ідентичності користувачів від підпису пристрою, у наданих для навчання даних вводиться низькорівневий адитивний (зсув) та мультиплікативний шум (посилення) для кожного прикладу навчання. Далі проводиться попередня обробка даних, під час якої обчислюються величини векторів |a| і |ω|, і нормалізується кожна з проектованих складових x, y, z. У остаточному

алгоритмі використовується 14-вимірний вектор x(t), у якому поєднуються нормовані координати, кути та величини.

У даній роботі використовується біометрична модель із адаптивною моделлю Гаусовської суміші (GMM). Вектор ознак створюється як універсальна фонова модель (UBM) з певними щільностями ймовірностей.UBM визначається як зважена сума M багатовимірних розподілів Гауса.

У роботі запропоновано використовувати модель, де автентичність користувача оцінюється шляхом оцінки векторів функцій щодо UBM та клієнтської моделі. Для компенсації варіації між моделями використовується початкова нульова нормалізація, під час якої нормалізуються оцінки, вироблені кожною клієнтською моделлю, на нульове середнє та одиничну дисперсію. Це дає змогу використовувати єдиний глобальний поріг. Такого роду тестова нормалізація (T-норма) компенсує міжсесійні відмінності, оцінюючи сеанс за набором фонових T-моделей:

$$\Lambda_{zt}(Y) = \frac{\Lambda_z(Y \mid \Theta_{client}) - \mu_z(Y \mid \Theta_\tau)}{\sigma_z(Y \mid \Theta_\tau)} \tag{2}$$

Алгоритм розпізнання руху використовує нейронних мережі, такі як RNN, LSTM та мережі годинникової архітектури (Clockwork architectures) або CWRNN. Автором відмічена корисність останнього способу, що обумовлене низьким обчислювальним навантаженням та високою гнучкістю для моделювання. Проте даний метод має один недолік. Через простій повільних одиниць протягом тривалих періодів часу, ефективність їх навчання експоненційно зменшується з високих до низьких частот. На практиці це призводить до того, що низькочастотні діапазони вимірювань ледве сприяють загальній роботі мережі під час тестування.

Автором [1] пропонується вирішення проблем у вигляді видозміненого алгоритму CWRNN. Запропонований сплетений (або щільний) механізм годинникового механізму (що отримали назву DCWRNN). У такій мережі під час прийняття рішення на кожному масштабі k існує nk паралельних потоків, зсунутих один відносно одного. У цих потоках кожного разу спрацьовує блок, що належить одному з потоків, оновлюючи власний стан та забезпечуючи введенням до одиниць вищої частоти.

$$h^{(t)} = \psi(Wx^{(t)} + \Delta(UH)) \tag{3}$$

де $H = [h(t-1)...h(t-nk)...h(t-nK)]$ - матриця, що об'єднує історію прихованих одиниць.

Автором пролдемонстровано ефективність даного методу на прикладі даних з відкритих бібліотек Google ATAP (Abacus) та HMOG. Дані експериментів показали хороший результат.

Даний метод можна покращити ввівши фільтр Калмана для сирих невідфільтрованих даних. Сам фільтр створений Р. Е. Калманом [2] у 1960 році і являється одним із самих поширених фільтрів. Сам фільтр є фільтром рекурсивного типу та оцінює вектор стану динамічної системи,

використовуючи ряд неповних і зашумлених вимірювань. Алгоритм складається з двох повторюваних стадій (етапів): стадія передбачення і стадія корекції. На першому етапі розраховується прогноз стану в наступний момент часу (з урахуванням неточності їх вимірювання). На другому — нова інформація із датчиків коригує передбачене значення (також з урахуванням неточності і зашумленості інформації).

Слід відмітити роботу Джона МакКемлі [3], в якій гарно описано використання даного фільтру щодо обробки даних з інерційнальних датчиків. В теорії використання даного фільтру збільшить точність зчитування та аутенфікації користувачів.

У роботі [4] були розроблені та впроваджені алгоритми, які мали змогу робити висновки щодо щоденних та спортивних занять за даними ІВБ за допомогою машинного навчання. Було наведено концепції та вказівки щодо майбутніх систем HAR. У роботі приведено приклади використаних методів машинного навчання, таких як класифікатор Баєса, класифікатор k-найближчих сусідів, опорні вектори, дерево класифікації і регресії.

Автором роботи [4] було виконано два експерименти. У першому досліджувалися звичайні повсякденні рухи, як присідання, та хотьба. В другому, досліджувалися дані зняті під час пробіжки із різною швидкістю. Представлені два алгоритми HAR на основі ієрархічної класифікації. У цій роботі розроблено систему класифікації BASE на основі ієрархічної архітектури. Нижче на рис. 1 наведена схема даної архітектури.

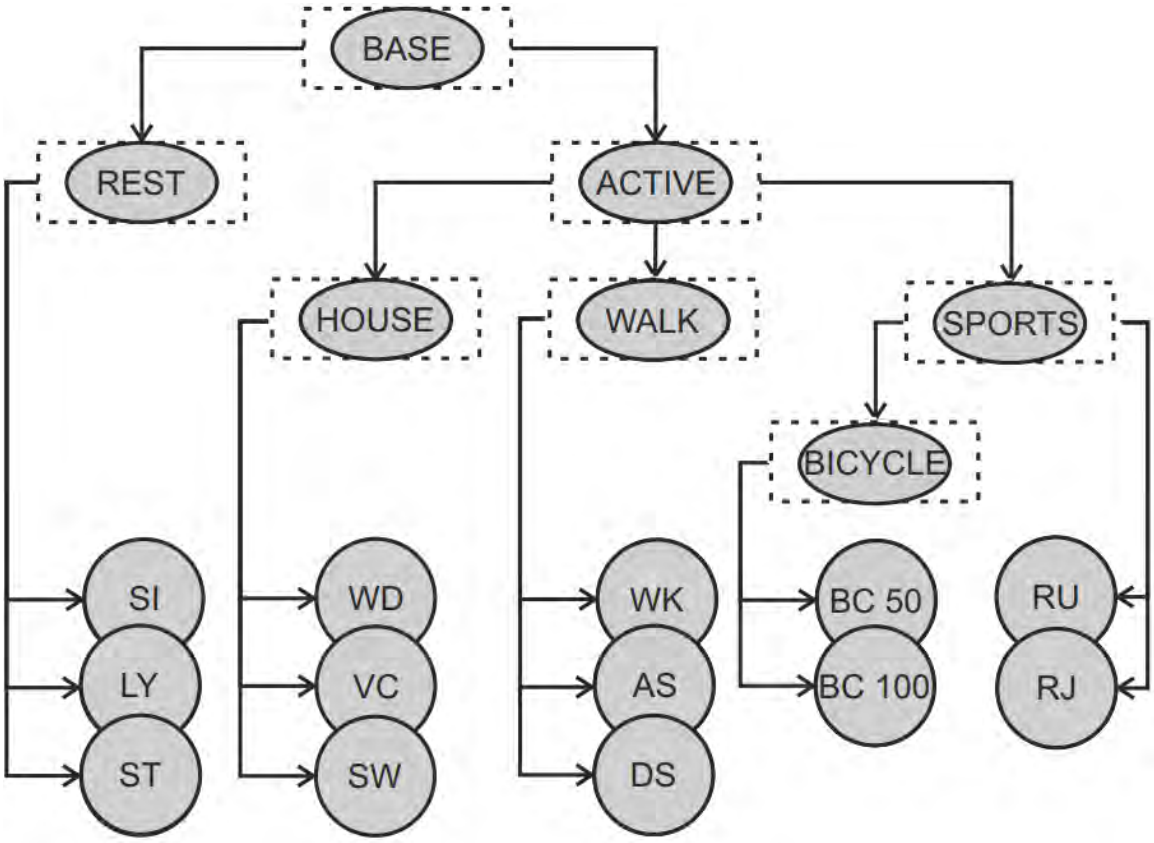


Рисунок 1. Система класифікації BASE

Овали позначають єдину класифікаційну систему BASE (База), HOME (Будинок), REST (Відпочинок), WALK (Прогулянка) і BICYCLE (Велосипед). Колами позначені окремі дії VC (прибирання пилососом), SW (підмітання), SI (сидячи), LY (лежачи), ST (стоячи), WK (ходьба), RU (біг), AS (підйом по сходах), DS (спуск по сходах), BC 50 (їзда на велосипеді, 50 Вт), BC 100 (їзда на велосипеді, 100 Вт), RJ (стрибки зі скакалкою) і WD (миття посуду).

Перший метод показав точність класифікації RF в підсистемі BASE понад 97.3%, а k-NN в підсистемах REST, ACTIVE, HOUSE та WALK показав точність в 91.9%. SVM та NB досягли найкращих показників для підсистеми SPORTS. NB досяг найкращої збалансованої точності 58,5% для підсистеми BICYCLE. В другому експерименті досягнута збалансована точність в 85,7%, яка показала загальну придатність запропонованого методу для злиття рівнів прийняття рішень.

Також приведені роботи визначення діяльності під час занять спортом, який показав гарні результати. Розроблена методика використання великих об'ємів данних в HAR-системах.

ВИСНОВОК

Проаналізовані роботи являються надзвичайно корисними та самовичерпними. Кожен із розглянутих методів показує велику точність і доцільність їх використання. Для покращення результатів роботи цих алгоритмів потрібно мати дані, які максимально очищені від збурень, що не відносяться до руху людей і не по'язані з динамікою їх руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

[1] Natalia Neverova. Deep Learning for Human Motion Analysis. INSA Lyon. 2016;

[2] R. E. KALMAN. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering. 1960;

[3] John McCamley. GAIT ANALYSIS USING A SINGLE WEARABLE INERTIAL MEASUREMENT UNIT. Università degli Studi di Roma "Foro Italico". 2013;

[4] Dominik Schuldhaus. Human Activity Recognition in Daily Life and Sports Using Inertial Sensors. FAU University Press. 2019.

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

УДК 51-73

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

ОЧИЩЕННЯ СИГНАЛУ ВІД ШУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. Розглянуто метод очищення сигналів від шумів за допомогою вейвлетів: Добеші, Хаара.. Порівняння та аналіз отриманих результатів.

Ключові слова: вейвлет-аналіз, обробка сигналів, вейвлет-перетворення, МЕМС датчики.

Мета роботи – порівняння результатів після очищення сигналів за допомогою обраних вейвлет-сімейств.

Мікроелектромеханічні (МЕМС) чутливі елементи на сьогодні є одними з найпоширеніших сенсорів, які використовуються в системах керування, орієнтації та навігації мало розмірних рухомих об‘єктів, які експлуатуються в різних фізичних середовищах. Розвиток МЕМС технологій продовжується у напрямку підвищення точності та розширення функціональних можливостей таких приладів і систем як на мікросистемному технологічному рівні, так і завдяки застосуванню алгоритмічних засобів.

На виході МЕМС-датчиків ми отримуємо сигнали різної частоти. Передбачається, що ми заздалегідь маємо певне уявлення про вимірювані нами процеси. Наприклад, при визначенні вектора прискорення дрона шумом є вібрації апарату. Відокремити їх від корисного сигналу можна за допомогою вейвлет-аналізу.

Видалення шуму за допомогою вейвлет-перетворення виконується в чотири етапи [1]:

1. Розклад сигналу по базису вейвлетів.
2. Вибір порогового значення шуму для кожного рівня розкладання.
3. Порогова фільтрація коефіцієнтів деталізації.
4. Реконструкція сигналу.

Вибір вейвлета диктується характеристиками сигналу або зображення і природою додатки. Якщо ви розумієте властивості вейвлета аналізу і синтезу, ви можете вибрати вейвлет, оптимізований для вашого застосування [2].

Вейвлет Хаара - один з перших і найбільш простих вейвлетів. Вейвлети Хаара ортогональні, мають компактний носій, добре локалізовані в просторі, але не є гладкими. Перетворення Хаара використовується для стиснення вхідних сигналів, компресії зображень, в основному кольорових і чорно-білих з плавними переходами. Ідеальний для картинок типу рентгенівських знімків. Даний вид архівації відомий досить давно і безпосередньо виходить з ідеї використання когерентності областей. Ступінь стиснення задається і варіюється в межах 5-100. При спробі задати більший коефіцієнт на різких межах, особливо проходять по діагоналі, проявляється «сходовий ефект» - сходинки різної яскравості розміром в кілька пікселів [3].

Вейвлети Добеші - сімейство ортогональних вейвлетів з компактним носієм, який обчислюється ітераційним шляхом. Вейвлет-перетворення Добеші визначене таким же чином, як і вейвлет-перетворення Хаара - шляхом

обчислення змінних середніх і різниць через скалярні добутки з масштабуючими сигналами і вейвлетами - єдина різниця між ними полягає в тому, як ці масштабуючі сигнали і вейвлети визначені. Для вейвлет-перетворень Добеші масштабування сигналів і вейвлети мають трохи довші опори, тобто вони виробляють середні значення і відмінності, використовуючи лише кілька додаткових значень з сигналу. Ця невелика зміна, однак, забезпечує величезне поліпшення можливостей цих нових перетворень. Вони надають нам набір потужних інструментів для виконання основних завдань обробки сигналів. Ці завдання включають стиснення і видалення шуму для аудіосигналів і зображень, а також включають зображення посилення і розпізнавання сигналів [3].

В даній роботі аналізується змодельований сигнал - комплексна модель одновимірного процесу (рис.1), що дозволяє по локальним показниками якості аналізувати ефективність фільтрів для певних типів елементарних сигналів. Ця комплексна модель містить практично всі види елементарних сигналів. Інтервал часу 5с, частота дискретизації 100 Гц, що відповідає кількості точок в корисному сигналі - 500.

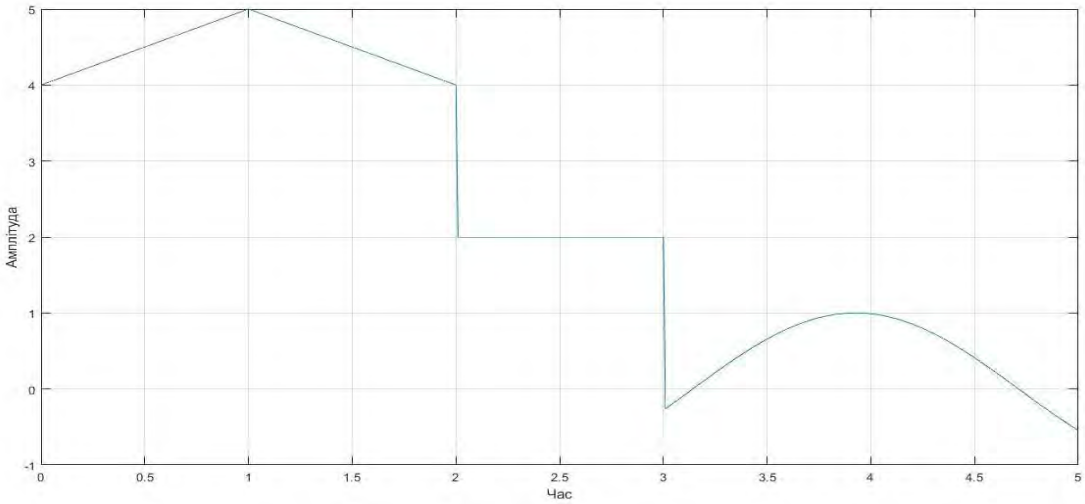


Рисунок 1. Тестовий сигнал

Далі на цей сигнал було накладено випадковий шум у середовищіі MatLab з дисперсією 0,2, результат показаний на рис.2.

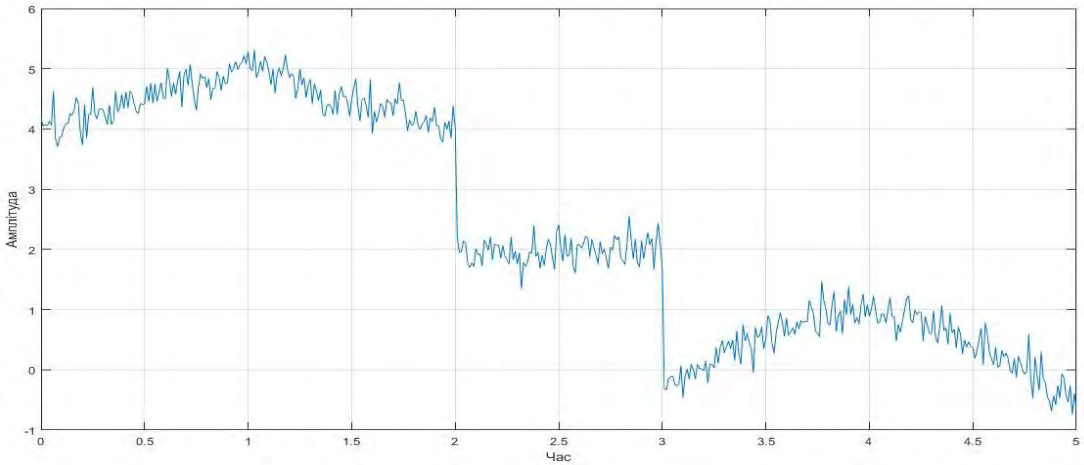


Рисунок 2. Сигнал із шумом

Для очищення сигналу від шуму використовувалися наступні типи вейвлетів: Добеші та Хаара. Вибір цих вейвлетів був зроблений з двох причин: вони є ортогональними і володіють можливістю реконструкції сигналу.

На рис. 3 показані результати вейвлет-розкладання сигналу на 3 рівні з використанням хвильової функції сімейства Добеші 5-го порядку. Для кожного елемента розкладання за віссю абсцис відкладено кількість точок, а за віссю ординат – значення амплітуди. Як видно, апроксимація третього рівня розкладання a3 відображає тестовий сигнал, середньоквадратична похибка виділення складного тестового сигналу в цілому складає 0,1465.

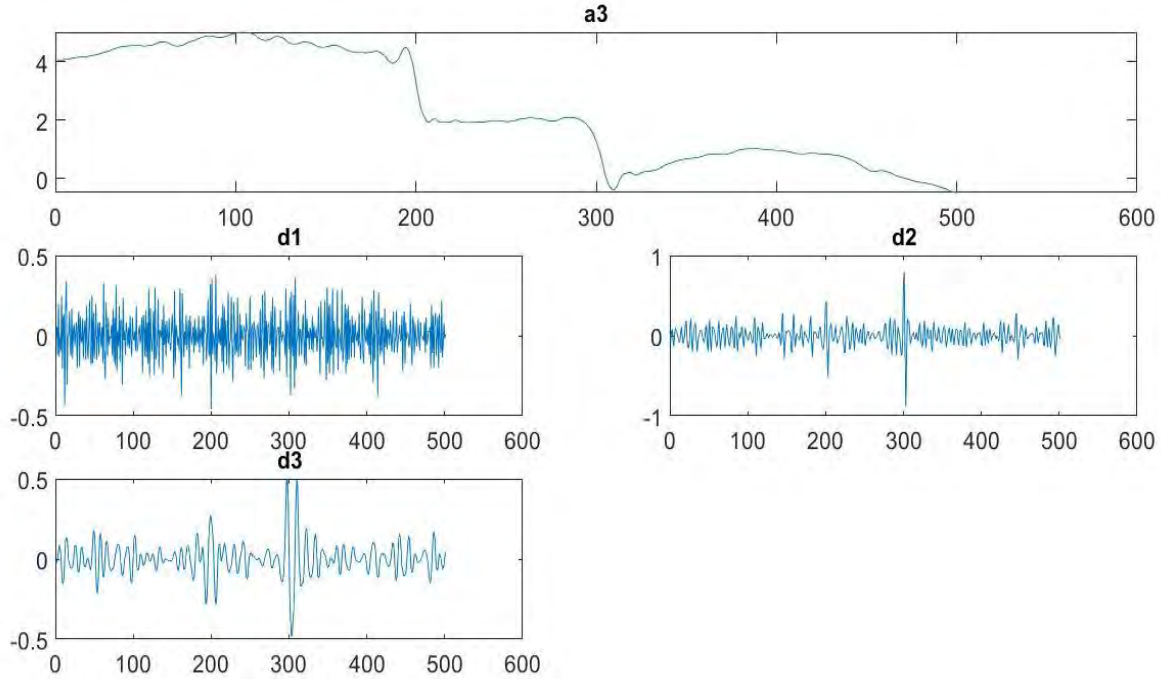


Рисунок 3. Результати вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Добеші

Наступне вейвлет-розкладання було виконано за допомогою хвильової функції сімейства Хаара. Для виділення тестового сигналу було достатньо розкласти сигнал лише на 2 рівні. Результати наведено на рис. 4. Для кожного елемента розкладання за віссю абсцис відкладено кількість точок, а за віссю ординат – значення амплітуди. Як видно, використання хвильової функції Хаара також забезпечує виділення складного тестового сигналу (апроксимація a2), середньоквадратична похибка становить 0,1624.

Проведені дослідження показали, що кращий результат дає вейвлет сімейства Добеші. Отриманий сигнал майже ідентично повторює форму початкового сигналу та має найбільш згладжений вид. Також, середньоквадратична похибка менша, аніж похибка результатів розкладання за допомогою сімейства Хаара.

ВИСНОВКИ

Для виділення складного тестового сигналу з адитивної суміші з гаусівським шумом можуть використовуватись технології вейвлетної

фільтрації, які раніше вже показали свою ефективність для на прикладах простих лінійних чи поліноміальних залежностей. Порівняльний аналіз отриманих результатів фільтрації з використанням різних базових хвильових функцій показав переваги використання хвильової функції Добеші. В точках, які відповідають різким змінам тестового сигналу, спостерігаються викривлення, що потребують подальшого згладжування.

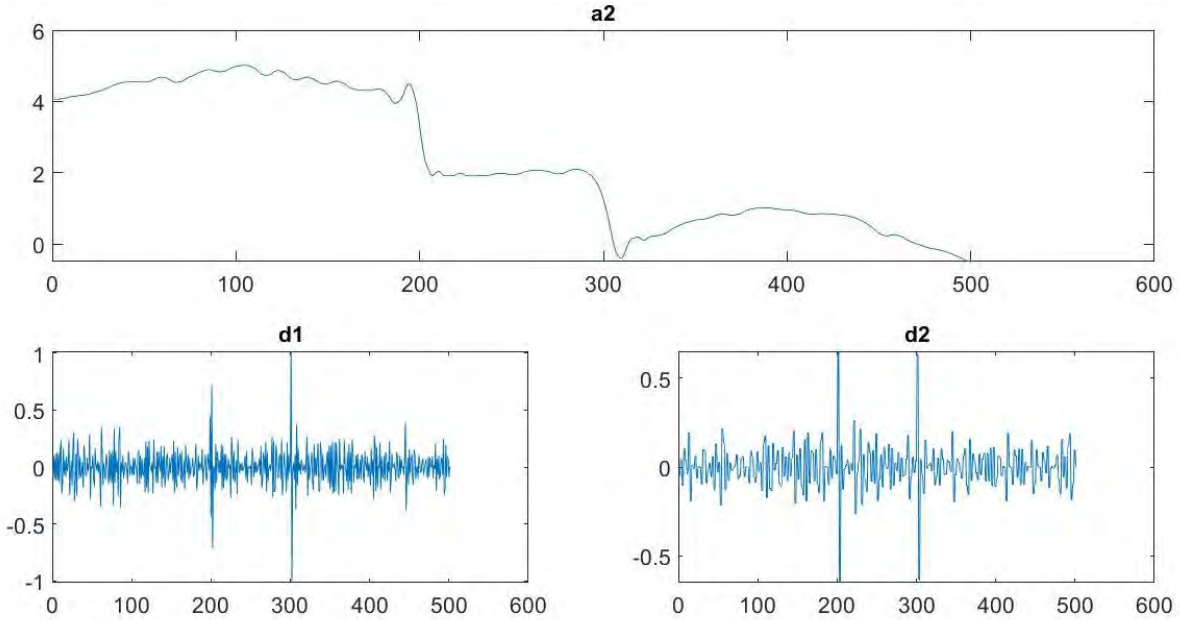


Рисунок 4. Результати вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Хаара

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Вейвлет-анализ. Основы. – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/ru/post/449646/ – 2019 г.

[2] Приложения вейвлет-анализа. – Режим доступу до ресурсу: https://basegroup.ru/community/articles/wavelet-applications – 2006 г.

[3] Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования : [Учебное пособие] / Яковлев А. Н. – *Новосибирск: Изд-во НГТУ*, 2003. – 107с.

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

УДК 62.835+621.311.61

І.М. Платов, студент гр. ПГ-01мн, к.т.н., доц. О.М. Павловський
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ГЕКСАПОД ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНИХ СПОРУД ТА ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ.СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ.

Анотація. В роботі запропоновано і обгрунтовано структурну схему системи живлення крокуючого робота – гексапода для цілей діагностики та контролю стану технічних сухих каналів, вентиляційних шахт, труб і т.п. Для цього був виконаний огляд існуючих рішень в області побудови систем живлення мобільних роботів, аналіз котрих виявив неможливість застосування існуючих зразків через їхні недоліки. Дослідивши ринок сучасних компонентів, були обрані найкращі з них і на їх базі була розроблена система живлення для гексапода.

Ключові слова: робототехніка, гексапод, система живлення, акумулятор, складні споруди, інженерні об’єкти.

ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

З розвитком робототехнічних рішень все більш широко застосовуються прототипи крокуючих мобільних роботів для вирішення практичних задач [1, 2]. Одними з таких задач можуть бути діагностика та контроль стану технічних сухих каналів, вентиляційних шахт, труб тощо. Головним недоліком існуючих технічних засобів та конструкцій роботів, що використовуються у процесах контролю та діагностики є їхня залежність від джерела живлення. Живлення та інформаційний зв’язок таких роботів відбувається за допомогою кабеля, довжина якого обмежена [3]. Рішенням такої проблеми є подовження кабеля, але у такому випадку виникає проблема збільшення його ваги і відповідно необхідність у підвищенні потужності приводів робота для його підйому по вертикальних каналах, трубах і т.п. Збільшення потужності приводів призведе до збільшення як вартості конструкції, так і її габаритів, що унеможливить застосування робота в вузьких каналах трубах і т.п. Іншою проблемою існуючих конструкцій діагностичних засобів є необхідність у заміні шасі, залежно від діаметра труб, каналах тощо, а також відсутність універсального рішення для всіх типів комунікацій.

Для вирішення цих проблем пропонується застосувати крокуючого робота – гексапода в якості автономного засобу для контролю та діагностики стану складних споруд та інженерних об’єктів. Складовими такого робота, окрім приводів для руху кінцівок, можуть бути засоби бездротової передачі даних, засоби освітлення, різноманітні датчики сенсори і т.д. Все це потребує потужного автономного джерела живлення – головна проблема існуючих зразків такого типу роботів, які на сьогоднішній день можуть працювати лише до однієї години [4]. На відміну від роботів, що мають ходову частину на базі коліс, котрі приводяться в дію одним, двома електродвигунами, конструкції крокуючих роботів зазвичай будуються за допомогою сервоприводів, і чим більша їх кількість, тим більше енергоспоживання. Тому виникає потреба у побудові дешевої, простої у збірці та обслуговуванні, надійної системи живлення крокуючого робота – гексапода.

Таким чином, метою даної роботи є огляд існуючих автономних джерел електричної енергії та розробка на їх базі системи живлення робота – гексапода

з метою його використання для діагностики та контролю стану технічних сухих каналів, вентиляційних шахт, труб тощо.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

Сьогодні відомо багато способів і технологій накопичення електричної енергії із наступною передачею споживачу, до них відносяться використання акумуляторів різної ємності та конструкції, конденсаторів, сонячних панелей, тощо. Не дивлячись на те, що роботи по вдосконаленню таких джерел постійно ведуться, однозначних рекомендацій для вибору певного джерела живлення не існує. Отже розглянемо їх більш детально.

Ідея використання конденсаторів замість акумуляторів не є новою і останнім часом широко застосовується у пристроях з малими струмами навантаження, наприклад, вуличні ліхтарі, що накопичують енергію за допомогою сонячної панелі впродовж дня, заряджаючи іоністор (або суперконденсатор), ємність якого може становити тисячі Фарад [5]. Потім впродовж ночі освітлюють місцевість, живлячись від іоністора. Таку ідею реалізували у роботі [6]. Автори пропонують в якості автономного джерела живлення використати конденсатори. Незважаючи на досить малий, порівняно з акумуляторами, час заряджання, більшу кількість циклів заряд/розряд без втрати ємності, дане джерело електричної енергії не є ефективним, оскільки конденсатори мають високий саморозряд через струми витоку, а час повного розряду такого джерела становить декілька хвилин, оскільки під час роботи приводів руху вони споживають досить високі струми.

В джерелі [7] запропонований інший варіант - наведена схема джерела електричної енергії для двигуна на базі сонячної панелі. Серед переваг такого живлення можна виділити екологічність, довгий строк служби, високий ККД, але при невеликих габаритах панелі, неможливо отримати досить потужності для живлення усіх складових гексапода, серед яких є приводи руху кінцівок – найбільш енергоспоживаючі елементи, датчики і сенсори. Не менш важливим фактором відмови від такого джерела виступає область застосування гексапода. При дослідженні або контролі стану інженерних об'єктів, наприклад, труб або вентиляцій, сонячна панель не вироблятиме енергію, отже дане джерело в такому випадку не підходить.

Таким чином, існуючі розробки хоч і є перспективними, однак через свої обмеження для сфери застосування гексапода не підходять. Тому було вирішено створювати систему живлення на базі хімічних джерел електроенергії – акумуляторів.

Ринок елементів живлення пропонує широкий вибір різноманітних гальванічних елементів та акумуляторів, котрі мають широкий масогабаритний та ємнісний спектри. Виділимо найбільш розповсюджені, які застосовуються в конструкціях крокуючих роботів: NiMH, LiPol, LiIon [8]. NiMH – до переваг можна віднести: більшу ємність, порівняно з NiCd, меншу схильність до «ефекту пам'яті», екологічну чистоту, недоліками є обмежений строк служби та струми розряду (великі струми допустимі, але значно скорочують строк служби

акумулятора), потребують обслуговування (повний заряд/розряд) для уникнення кристалізації. LiIon – мають високу ємність, не мають «ефекту пам'яті», строк служби схожий із NiMH, недоліками мають потребу у схемі захисту заряду/розряду, через легку займистість від перегріву. LiPol – продовження розвитку LiIon акумуляторів із застосуванням твердого електроліту(полімеру). Основною перевагою є можливість отримання будь якої форми і розміру акумулятора (товщиною від 1 мм) і відповідно зменшити габарити кінцевого пристрою. Інші характеристики схожі з LiIon акумуляторами.

Розвиток матеріально-технічної бази сприяв появі сімейства нових акумуляторів на базі Li, які мають схожі з LiIon характеристики, тому в даній роботі не розглядаються. Зведену характеристику, зазначених вище, акумуляторів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика акумуляторів, що застосовуються в крокуючих роботах.

Тип акумулятора	**Енергетична щільність, Вт/кг**	**Номінальна струмовіддача**	**Кількість циклів(заряд/розряд)**	**$U_{ном}$ на одному елементі, В**
NiMH	60-120	0.5C(до 5C для високострумових)	300-500	1.25
LiIon	110-160	1C(до 5C для високострумових)	500-1000	3.6-3.7
LiPol	100-130	1C(>2C для високострумових)	300-500	3.6-3.7

Варто зазначити, що останнім часом існує тенденція переходу від NiCd та NiMH акумуляторів до LiIon і відповідно виробниками була підвищена максимальна струмовіддача останніх (до 40A в імпульсному режимі і до 15A в постійному). Тому для живлення гексапода були застосовані саме LiIon акумулятори.

Не менш важливою стороною використання акумуляторів є процес їх зарядки. Під час експлуатації акумуляторів, у випадку використання декількох, з'єднаних послідовно, втрата їх ємності може відбуватися нерівномірно. Для компенсації цього ефекту існує готове рішення - Battery Management System (BMS) [9]. BMS, що розрахована на послідовне з'єднання декількох акумуляторів, реалізує комплекс їх захисту, здійснює балансування при заряді та моніторинг стану окремих елементів.

Як було зазначено раніше, в конструкції крокуючих роботів може застосовуватися декілька приводів руху кінцівок, керовані мікроконтролером, потужності і виходів якого може не вистачити для всіх приводів. Дана проблема легко вирішується за допомогою модуля розширення - 16-канального 12-bit PWM/Servo з I2C інтерфейсом на PCA9685 [10], за допомогою якого можливо підключити до 16 сервоприводів, а поєднавши декілька таких плат – до 992.

Для зменшення навантаження на акумулятори та підвищення надійності і відмовостійкості системи в цілому, живлення мікроконтролера та усіх датчиків і сенсорів було вирішено здійснювати окремою лінією. Так як у такому випадку, у разі відмови силової частини – живлення приводів руху, буде можливість визначити місцезнаходження робота через систему зв'язку та продовжити час запису даних на об'єкті дослідження. З іншого боку таке рішення дасть змогу використати різні типи акумуляторів на кожну з ліній живлення системи: на силову частину – високострумовий, на керувально-вимірювальну – звичайний, що вигідніше з економічної точки зору.

З метою узгодження рівнів напруг різних складових системи пропонується застосувати лінійний стабілізатор, наприклад, AMS1117 [11], або підвищуючий перетворювач з 3.7 до 5В [12].

Використовуючи вищевказані технічні рішення, була розроблена система живлення гексапода, функціонально показана на рис. 1.

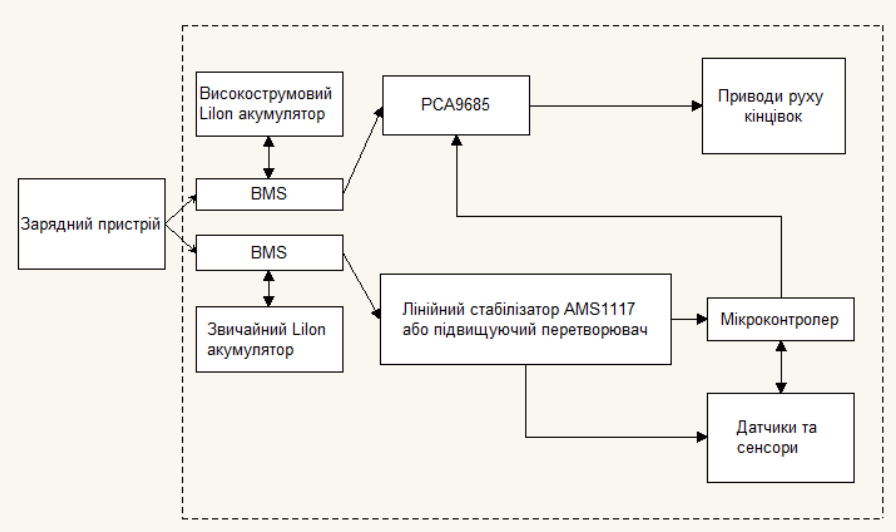


Рисунок 1. Система живлення гексапода.

Частина, виділена штрих пунктирним прямокутником, розміщується безпосередньо на платформі робота, зарядний пристрій підключається через відповідний роз'єм і по завершенню процесу зарядки відключається. усі акумулятори під'єднуються до BMS паралельно. Зауважимо те, що у випадку використання більше одного акумулятора, ємність окремих елементів повинна бути однакова для рівномірного заряду. Силова та вимірювальна частина живляться окремо від відповідних BMS. Напруга на виході BMS при повністю заряджених акумуляторах становить 4.2 В, тому для узгодження напруг в схему включений стабілізатор (для 3.3 В) або підвищуючий перетворювач (для 5 В). Модуль PCA9685, до якого підключені приводи, керується мікроконтролером, який зв'язаний з модулем лише інформаційним зв'язком. Таким чином, представлена конструкція складається із доступних та недорогих компонентів і дозволить забезпечити стабільне живлення гексапода в умовах його застосування.

ВИСНОВОК

Основною метою даної роботи було створення надійної, дешевої, легкої у збірці системи живлення крокуючого робота – гексапода, якого можна використати для діагностики та контролю стану складних споруд та інженерних об'єктів. Огляд попередніх розробок показав неефективність існуючих систем в області застосування робота. Проаналізувавши існуючі рішення, були обрані сучасні та недорогі, на базі яких була створена система живлення гексапода. Запропоновано розділити силову та вимірювальну частини на дві окремі лінії, що підвищить надійність та відмовостійкість системи. Надалі планується підтвердити ефективність розробленої системи, використавши запропоновані елементи та встановивши її на гексапод. Надалі планується підтвердити ефективність розробленої системи живлення шляхом проведення випробувань робота-гексапода в реальних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Платов І. М., Крокуючий квадропод : дипломний проєкт ... бакалавра : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Платов Ілля Михайлович. – Київ, 2020. – 65 с.

[2] Платов І. М., Павловський О. М., Півторак Д.О., Концепція створення керованих автоматизованих крокуючих платформ з чотирма кінцівками. Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Приладобудування» - 2020.-№59 (1), с. 22-32

[3] Краулеры, роботы ВТД [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://robotrends.ru/robopedia/kraulery-polzayushie-roboty

[4] Vorpal The Hexapod Battery Recommendations [Електронний ресурс]. Режим доступу:https://vorpalrobotics.com/wiki/index.php/Vorpal_The_Hexapod_Battery_Recommendations#Two_18650_Size_LI-ON_Batteries

[5] Конденсатор вместо аккумулятора [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.elec.ru/articles/kondensator-vmesto-akkumulyatora/

[6] G. Parker; R. Georgescu; K. Northcutt. Continuous power supply for a robot colony. Proceedings World Automation Congress, 2004.

[7] Л. Джон, Создаем робота-андроида своими руками.: Пер. с анг. Мельникова Г. — М.: Издательский дом ДМК-пресс, 2007 — 312 с.

[8] Устройство и сравнение аккумуляторных батарей. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.lumentorg.ru/review/compare-batteries/

[9] BMS – обзор контроллеров защиты аккумуляторов. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://voltiq.ru/bms-protection-board-review/

[10] PCA9685 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf

[11] AMS1117. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf

[12] LT1300. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt1300.pdf

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

УДК 519.654

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

АПРОКСИМАЦІЯ КОЛИВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ З КОЛЬОРОВИМ ШУМОМ

Анотація. Результатом будь-якого вимірювання є сигнал. На практиці майже неможливо провести вимірювання і отримати «чистий» сигнал без наявності в ньому зайвих складових, які не несуть важливої інформації. Зайва інформація у сигналі (або шум) може мати різноманітне походження. У природі шум, як правило, є випадковим, але існують різні математичні моделі, які з деяким наближенням описують найбільш поширені шумові процеси. У даній роботі проведено моделювання коливального сигналу з різним кольоровим шумом. Виконано інтерполяцію та апроксимацію отриманих сигналів з метою виділення корисної складової – початкового «ідеального» (змодельованого) сигналу. Показано залежності відносної похибки апроксимації від довжини сигналу (у відліках), кількості періодів та від відношення сигнал/шум.

Ключові слова : апроксимація, інтерполяція, метод найменших квадратів, кольоровий шум.

ВСТУП

Сигнал – це інформаційна функція, яка несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведінку будь-якої фізичної системи, об'єкта чи середовища [1]. Дуже часто окрім корисної складової сигнали містять додаткову інформацію, яка не є інформативною для конкретної ситуації – шум з різних джерел та різної фізичної природи. У таких випадках прийнято проводити обробку виміряних сигналів. Мета обробки виміряних сигналів – це виділення певної інформаційної складової сигналу, яка присутня у даному сигналі, а також перетворення цієї складової в форму, яка б була зручною для сприйняття людиною і подальшого використання.

Виміряні сигнали, як правило, задаються числовими рядами у вигляді таблиці значень двох величин [3]: аргументу (незалежна змінна) 'x' та функції (залежна змінна) 'y(x)'. Кожна з цих величин крім певної корисної або інформативної складової може містити і випадкові складові різної фізичної природи. Випадкові складові виміряних сигналів дуже часто обумовлені певними чинниками, викликаними вимірювальною апаратурою та особливостями перетворення виміряних даних, наприклад, перешкоди, шуми, помилки вимірювань, тощо. Окрім того випадкові складові також можуть з'являтися через ймовірнісну природу досліджуваних процесів.

Аргумент 'x' зазвичай вважається детермінованим [3], а його випадкова складова вважається частиною функції y(x). Природний шум, що потрапляє у виміряні сигнали, у загальному випадку є випадковим білим шумом, але на практиці неможливо повністю відтворити характеристики реального шуму. Саме через це науковцями створено ряд математичних моделей, які дозволяють відтворити реальний шум у певному наближенні. У залежності від джерела або його природи шум може бути білим, синім, рожевим, коричневим, фіолетовим, тощо.

Завдання виявлення певного детермінованого зв'язку між аргументом 'x' та функцією y(x) з достатнім рівнем достовірності на фоні випадкових складових відноситься до числа неоднозначних і невирішених, тому воно є актуальним. Дану задачу доцільно вирішувати шляхом використання новітніх рішень у сфері обробки даних, зокрема інтерполяція, апроксимація, фільтрація та нейронні мережі.

МЕТА РОБОТИ

Враховуючи актуальність теми, метою роботи є дослідження розробленого алгоритму апроксимації методом найменших квадратів з попередньою інтерполяцією коливальних сигналів з кольоровим шумом, різною частотою, загальною довжиною у відліках, кількістю періодів та співвідношенням сигнал/шум для використання у технічних системах різного призначення.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У математичному пакеті MATLAB проведено моделювання та апроксимацію коливального гармонічного сигналу з частотами 2Гц, 20Гц та 200Гц методом найменших квадратів з попередньою інтерполяцією методом Лагранжа для формування порівняльної бази. Додатково було проведено моделювання та апроксимацію цих сигналів з додаванням кольорового шуму, а саме: білим, коричневим, рожевим, синім та іншими. При моделюванні враховано декілька співвідношень сигнал/шум (0.5, 1 та 2). На рис.1-рис.3 зображено відносні похибки апроксимації деяких сигналів.

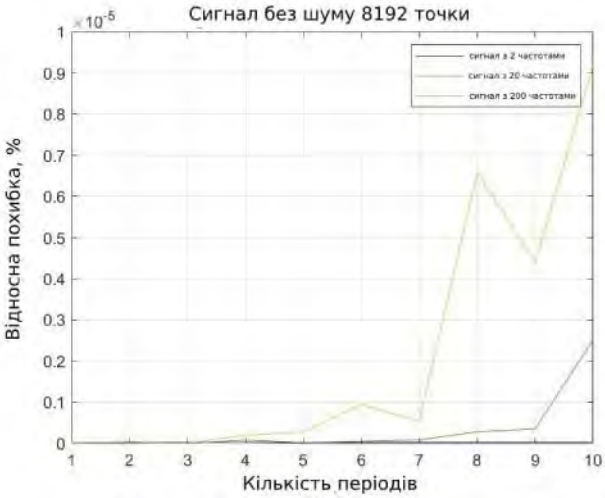


Рисунок 1. Похибки апроксимації гармонічних сигналів без шуму

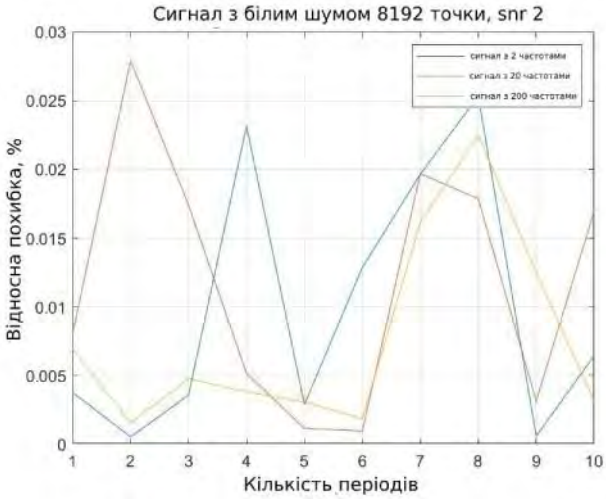


Рисунок 2. Похибки апроксимації гармонічних сигналів з білим шумом

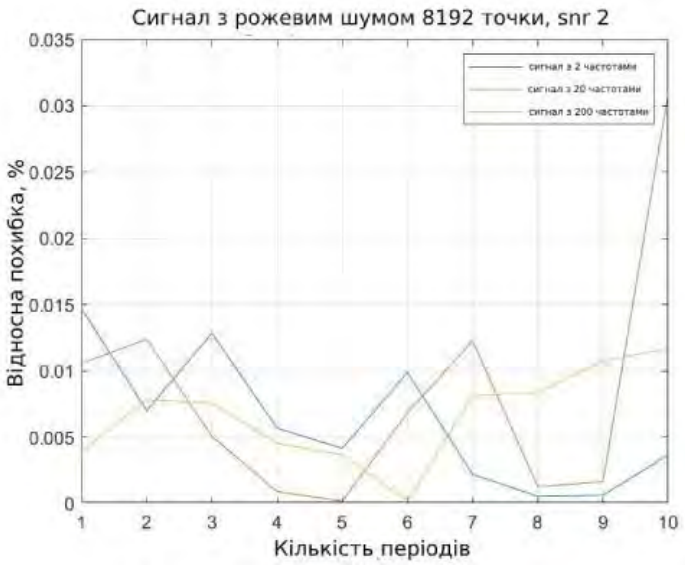


Рисунок 3. Похибки апроксимації гармонічних сигналів з рожевим шумом

З рисунків видно, що при відсутності шуму для сигналів з частотами 20Гц та 200Гц відносна похибка зростає при збільшенні кількості періодів, які знаходяться у заданій довжині сигналу. Це можна пояснити зменшенням частоти дискретизації, викликаним збільшенням кількості періодів при незмінній частоті сигналу. Також визначено, що відносні похибки в сигналах з кольоровим шумом зменшуються при збільшенні довжини сигналу.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто метод апроксимації методом найменших квадратів з попередньою інтерполяцією коливальних сигналів з кольоровими шумами різної природи. Змодельовано гармонічний сигнал без шуму, а також з білим, синім, рожевим і коричневим шумом. Проведено апроксимацію сигналів різної довжини (512, 1024, 2048, 4096, 8192 відліків) та з різним співвідношенням сигнал/шум (0.5, 1, 2). Для визначення ефективності алгоритму апроксимації дані дослідження проведено для трьох різних частот гармонічного сигналу (2Гц, 20Гц, 200Гц). Показано вплив довжини сигналу на кожній з перелічених частот на відносну похибку апроксимації. Отримані відносні похибки являються досить малими, що дозволяє застосовувати досліджений алгоритм апроксимації до коливальних сигналів з кольоровим шумом.

У подальшому планується провести ряд подібних дослідів для полігармонічних сигналів та порівняти ефективність використаного алгоритму з результатами апроксимації за допомогою нейронних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

[2] Аппроксимация сигналов и функцій. Режим доступа: URL: https://www.twirpx.com/file/212588. Дата звернення: 24.11.2020р.

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

Секція 2.
Економіка виробництва і використання оптичних та оптико-електронних приладів і систем

УДК 004.032.26

I.I.Avdeionok, master PI-91ms,d.t.n., prof. Borovytsy V.M..
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

MODELING OF AN OPTICAL NEURON

Abstract:. Recently, the landscape of commercially made photon chips is changing rapidly, and now it promises to achieve economies of scale, which was previously used exclusively by microelectronics. This article discusses the classification of neuron modeling, and hardware implementations based on optoelectronic elements

Keywords: neuromorphic calculations, neural networks, neural modeling, optical neuron

There are already several classifications for modeling a neuron. Namely, classified by successor features [1]:

- By form of information presentation (digital or analog);
- Type of element base (electronic, hybrid and opto-electron);
- - the nature of the setting of synapses (constant or variable);
- Signal transmission time (synchronous or asynchronous);
- By the nature of the setting of synapses (fixed or infused weights);

Among the optoelectronic element base can be divided into the following groups:

- Based on photodiodes and operational amplifiers;
- Based on managed banners;
- Based on optical bistable SEED devices;
- Based on space-time modulators;

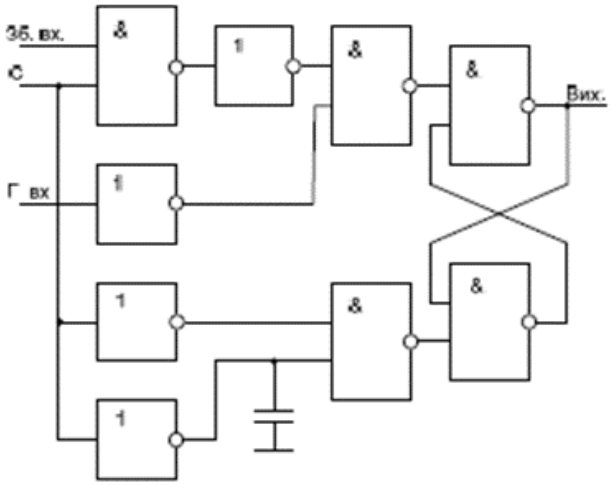


Fig.1 Model of a formal neuron

An example of a digital one-bit model is the model of a formal neuron (Fig. 1) [2]. The model is based on the usual R-S trigger. I-No logic elements, transistors, and sometimes an ionotron transistor are also used. This model is very simplified because the input and output signals are binary.

A more generalized classification of INS divides them into two classes (Fig. 2) depending on the availability of feedback. In the absence of feedback is called static, and in its presence - dynamic (recurrent).

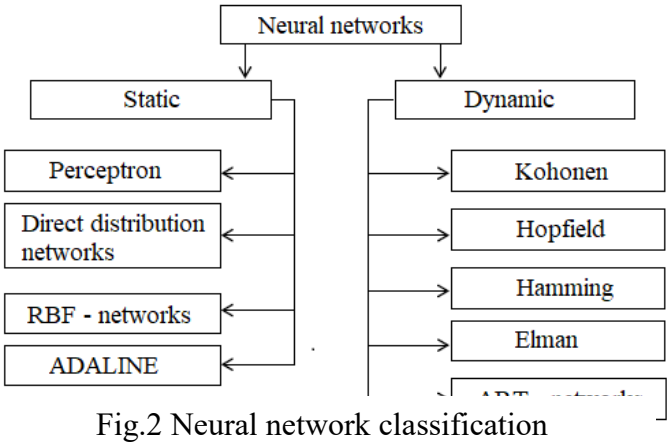


Fig.2 Neural network classification

Developed digital signal processor EnLight256 [3]. This device consists of an optical vector-matrix multiplier, a vector digital processing module and a standard scalar DSP. This construction allows you to calculate 8-ter multiplication and accumulation operations per second. For the clock period, it multiplies the 256-byte vector by the 256-byte matrix. It uses lasers, detectors, lenses and optical modulators included in the optical core.

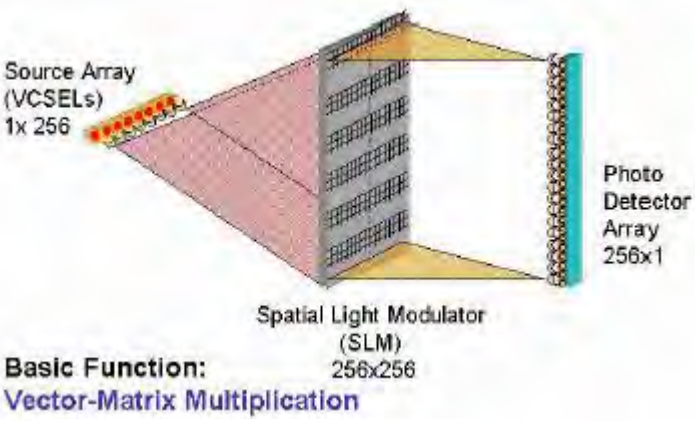


Fig.3 Basic design of the optical

The figure shows the basic design of the optical core. The input vector consists of 256 incoherent lasers. The spatial light modulator can implement 64k simultaneous multiplications on a single chip. The output signal is generated by detectors that are formed into a column of 256 world detectors integrated with an analog-to-digital converter.

Each element of the input vector is projected into the column of the spatial modulator. Each line from the spatial modulator is projected onto the detector vector. As a result, the energy in the detector can be calculated by the formula:

$$Y_i = \sum_{j=0}^{255} X_j \cdot a_y$$

where Y_i – output signal from the detector column

X_j – input signal from the laser vector

a_y – element of the spatial modulator matrix.

As a result of operation of an optical kernel we receive multiplication of a vector matrix for one measure.

The Massachusetts Institute of Technology is also developing a coherent optical neural network scheme [4]. Namely, a model of a neuron from a laser with radiation of vertical cavities. The neural network consists of an optical interference block and an optical unit of nonlinearity.

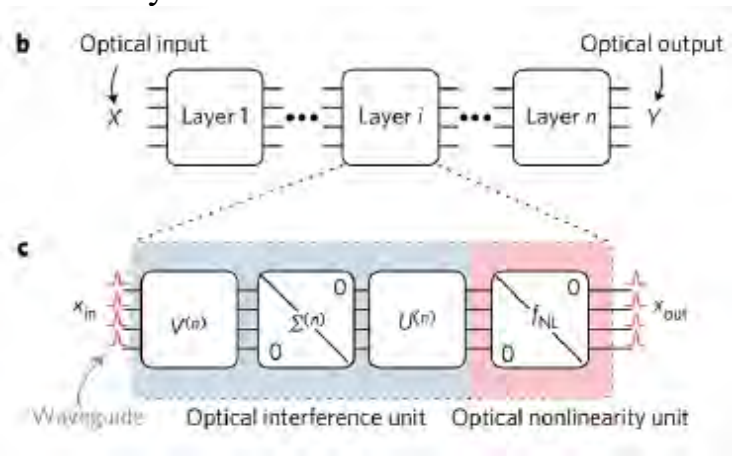


Fig.4 Functional diagram

The optical block of nonlinearity includes any real values of multiplication of a matrix by means of an optical separate beam, a phase and the switch.

The optical interference unit is implemented using optical nonlinearity, such as saturated absorption.

LIST OF REFERENCES

[1] О.Л. Kolesnytsky, IV Бокоцей, C.C. Yaremchuk Devices for modeling a neuron. Analytical review of inventions and patents
[2] Model of a formal neuron / GI Fursin.
[3] Galgalei Haplada St, Herzelia Pituach, 46733, ISRAEL EnLight256 8000 Giga MAC / sec fixed point DSP
[4] Shen, Yi Chen, et al. "Deep learning with coherent nanophotonic circuits." Shen, Yi Chen, et al. Nature Photonics (2017)

УДК 535

С.А. Нещеретов, студент гр. ПО-92мп, к.ф.-м.н. доцент Богатирьова Г.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИНТЕЗОВАНА БЕЗЛІНЗОВА ФУР'Є ГОЛОГРАМА

Анотація. У цій статті ви дізнаєтесь, що таке Голографія, її застосування і що таке безлінзова голограма Фур'є та як вона працює.

Ключові слова: Голограма Фур'є, Голограма, Безлінзова голограма Фур'є.

ВСТУП:

Голографія (від грецького holos – увесь, повний і grapho – пишу) – це спосіб точного запису і поновлення хвильових полів, заснований на реєстрації інтерференційної картини, яка утворена хвилею, відбитою від предмета, що освітлюється джерелом світла, і когерентною з нею хвилею, що іде безпосередньо від джерела світла. Зареєстрована інтерференційна картина називається голограмою. Голограма, що освітлена опорною хвилею, створює такий амплітудно-фазовий просторовий розподіл хвильового поля, яке створювала при запису предметна хвиля.

БЕЗЛІНЗОВА ГОЛОГРАМА ФУР'Є

Перетворення Фур'є двовимірної просторової функції *f* (x,y) записується у вигляді [2]:

$$F(u,v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) exp\{-2\pi i(ux + uy)\} dx\, dy, \qquad (1)$$

де u, v — просторові частоти. введемо вектори x=(x,y) та

$u = (u,v)$. Тоді наведене вище перетворення Фур'є набуде вигляду

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\, exp\{-2\pi i u \cdot x\} d^2x \qquad (2)$$

Також будемо використовувати операційний запис поширення оптичної дифракції, в якій дифракція світла від площини P_1 до площині P_2, віддаленої від першої на відстань d, записується у вигляді згортки комплексної амплітуди $a_1(x)$ в площині P_1 з оператором поширення $\psi(x;d)$, який визначається наступним чином (в наближенні дифракції Френеля) [3]:

$$\psi(x;d) = exp\{(i\pi/\lambda d)x^2\} \qquad (3)$$

При цьому для комплексної амплітуди в площині P_2 маємо

$$a_2(x) = a_1(x) * (1/i\lambda d)\psi(x;d) \qquad (4)$$

Строук та ін. показали, що можна отримати і без застосування лінз голограми, властивості яких аналогічні властивостям голограм Фур'є, записуваним за допомогою лінз [4]. Щоб записати безлінзову голограму Фур'є, опорне джерело розташовують в тій же площині, в якій знаходиться об'єкт. Припустимо, що об'єкт точковий. Тоді записана на голограмі інтерференційна картина буде являти собою серію смуг, віддалених один від одного на однаковій відстані, на противагу випадку, коли опорне джерело знаходиться не на тій же відстані від

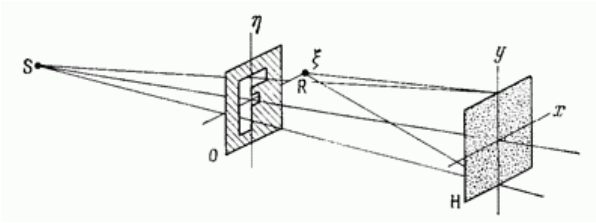


Рис. 1. Схема запису безлінзової голограми Фур'є.

голограми, що і об'єкт. В останньому випадку інтерференційні смуги згущуються в міру того, як вони все більше віддаляються від осі симетрії.

Розглянемо тепер загальний випадок, представлений на рис. 1. Об'єкт з комплексним пропусканням $t(\xi)$ висвітлюється хвилею від точкового джерела, розташованого на відстані d_1 від об'єкта. На малюнку об'єкт висвітлюється розбіжним пучком, проте з таким же успіхом без втрати спільності його можна висвітлювати і збіжним пучком (дійсно, голограми Фур'є іноді записуються саме таким чином). Припустимо, що об'єкт знаходиться на відстані d_2 від голограми. Опорне джерело R розташоване в тій же самій площині, що і об'єкт $t(\xi)$. Комплексну амплітуду опорного точкового джерела можна записати у вигляді

$$r_0(\xi) = \delta(\xi - \xi_0). \tag{5}$$

З виразів (4) і (5) випливає, що комплексна амплітуда опорної хвилі в площині голограми з точністю до постійного комплексного фазового множника $\psi\,(\xi_0;\ d_2)$, модуль якого дорівнює одиниці, дорівнює

$$r(x) = (1/i\lambda d_2)\psi(\mathrm{x} - \xi_0;\ d_2) \tag{6}$$

Або

$$r(x) = \left(\frac{1}{i\lambda d_2}\right)\psi(\mathrm{x};\ d_2)\exp\{-\left(\frac{2\pi}{\lambda d_2}\right)\mathrm{x}\cdot\xi_0\} \tag{7}$$

Світло, що випромінюється точковим джерелом та потрапляє на голограму, дифрагує на проміжку від джерела до об'єкта, в площині об'єкта множиться на його комплексне пропускання t(ξ) потім дифрагує на проміжку від об'єкта до голограми. Отже, комплексну амплітуду a(x) світла від об'єкта в площині голограми можна записати у вигляді

$$a(x) = [\psi(\mathrm{x}; d_1)\mathrm{t}(\mathrm{x})] * (\frac{l}{i\lambda d_2})\psi(\mathrm{x};\ d_2) \tag{8}$$

Використовуючи властивості функції ψ, вираз (8) можна записати таким чином:

$$a(x) = \left[\frac{d_1}{(d_1+d_2)}\right]\psi(\mathrm{x};\ d_2)[T(u) * \psi^*(\lambda d' u; d')] \tag{9}$$

де $d' = \frac{d_1 d_2}{(d_1+d_2)}$, T(u) — Фур'є-образ функції пропускання $t(\xi)$, а u - просторова частота, яка визначається виразом $\mathrm{u} = \mathrm{x}/\lambda d_2$.

Реєстрована в площині голограми інтенсивність інтерференційної картини, утвореної об'єктною та опорною хвилями, дорівнює

$$l(x) = |a(x) + r(x)|^2 \tag{10}$$

$$l(x) = a(x)r^*(x) + a^*(x)r(x) + |a(x)|^2 + |r(x)|^2 \tag{11}$$

Цікавими є перші два члена у виразі (11). Ми досліджуємо тільки перший член. Аналогічним чином можна досліджувати і другий член, який ми обговоримо нижче.

Припустимо, як зазвичай, що платівка проявлена таким чином, щоб її амплітудне пропускання було пропорційно експозиції. При цьому складова функції пропускання голограми, відповідальна за безпосереднє формування зображення, запишеться у вигляді

$$g_d(x)=a(x)r^*(x) \quad (12)$$

$$g_d(x) = [i\lambda d'/(\lambda d_2)^2][T(u) * \psi^*(\lambda d' u; d')]\exp\{2\pi i u \cdot \xi_0\} \quad (13)$$

Ці вирази описують розподіл комплексних амплітуд хвилі, що дифрагуює на голограмі, безпосередньо за голограмою, коли вона опромінюється плоскою хвилею одиничної амплітуди за умови, що параметри голографічного запису обрані належним чином.

Розглянемо тепер, до чого призводить Фур'є-перетворення виразу (15). Члени в квадратних дужках дадуть комплексне пропускання об'єкта, помножене на комплексний фазовий множник. Експонентний член справа призведе до зсуву відновленого зображення на величину, пропорційну ξ_0 — зміщення опорного пучка. При спостереженні зображення оком комплексний фазовий множник зникне і залишиться тільки інтенсивність вихідного об'єкта. Таким чином, вираз (13) описує Фур'є-перетворення об'єкта, за винятком лише того, що при відновленні з'являється фазовий множник. Ось чому голограма, на рис. 1, називається безлінзовою голограмою Фур'є.

Безлінзова голограма Фур’є застосовується для запису та зчитування великої ємності. В голографічній системі пам’яті інформація просторово розподілена і кожному бітові інформації відповідає своя інтерференційна картина. При запису великої кількості інформації одночасно або послідовно формується складна інтерференційна картина, при зчитуванні можна розділити окремі картини інтерференції, якщо їх положення відрізняються, по крайній мірі, на один період решітки. Також існують різноманітні способи кодування просторової інформації з використанням голограм, та її відновлення, просторової фільтрації, розпізнавання образів – що є важливою задачею для сучасної автоматизації процесів та систем [4].

ЛІТЕРАТУРА:

[1] Ж. Априль, А. Арсено, Н. Баласубраманьян и др. Оптическая голография: Пер. с англ./Под ред. Г. К.олфилда. — М.: Мир, 1982 — Т.1 — 376 с.
[2] ГудменДж. Введение в Фурье-оптику : монография / Дж. Гудмен. – М. : Мир, 1970. – 364 с.
[3] Berger H., Acoust. Holog., 1, 34-36 (1969).
[4] В.Л. Винецкий, Н.В. Кухтарев. Динамическая голографія. Киев, «Наукова Думка», 1983.

Наук. керівник – к.ф.-м.н., доцент Богатирьова Г.В.

УДК 681.7:62-229.312+621.373.826

Федорець О.В., студент гр. ПО-92мп, к.ф-м.н., доц. Богатирьова Г.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИЧНИЙ ПІНЦЕТ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАЗЕРНИХ МЕТОДІВ МАНІПУЛЮВАННЯ АТОМАМИ

Анотація: показано можливість використання оптичних технологій маніпулювання атомами на противагу механічним технологіям у вигляді звичайного пінцету. Лазерний пінцет є практично безальтернативним у випадку роботи з дуже малими розмірами.

Ключові слова: лазерний пінцет, оптичне маніпулювання атомами, лазерні методи маніпулювання атомами.

ВСТУП

Пінцет – інструмент, яким утримують і переміщують дрібні деталі. Надто дрібних деталей мікронних розмірів або хромосом в живій клітині не можна торкатися, інакше вони зруйнуються. Використовувати класичний, навіть надмініатюрний пінцет неможливо. А можливість захопити та перемістити мікрооб'єкт – нагальна задача сучасної мікро- і нанотехнології. Вирішення цього завдання прийшло з лазерної техніки останніх років.

Механічний пристрій для управління мікроскопічними об'єктами створити досить складно. Але достатні для цього зусилля здатні створювати лазерні промені. Сама ідея лазерних методів маніпулювання атомами бере витоки від робіт радянських фізиків: у 1979 році в Інституті спектроскопії АН СРСР доктор фізико-математичних наук В. С. Летохов разом з співробітниками здійснили перший вдалий експеримент по гальмуванню світлом пучка атомів натрію. Однак пристрій, що названо оптичним пінцетом, вперше продемонстрували в 1986 році американські дослідники із наукового центру "Белл-лаб" [1].

ПРИНЦИП ДІЇ ТА ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Принцип дії оптичного пінцета заснований на тому, що світловий потік має імпульс і при зміні його напрямку виникає сила, пов'язана з цією зміною.

Поняття імпульсу прийшло з механіки, де імпульсом називають добуток маси тіла на швидкість його руху. Швидкість – вектор, який характеризує не тільки величину, а й напрям. А оскільки рух будь-якого тіла відбувається під дією сили, зміна напрямку швидкості пов'язана зі зміною напрямку дії сили.

Фотон характеризується енергією E та імпульсом p, який, за аналогією з механічним випадком, є добуток його маси на швидкість світла: $p = mc$ (тут мається на увазі маса рухомого фотона, так як маса спокою фотона дорівнює нулю). Якщо фотон падає на непрозору (яка поглинає або відбиває) поверхню, то імпульс, що прикладено до неї є, по суті справи, тиском світла на цю поверхню. Але якщо висвітлити лазером прозору частку, то світловий пучок зазнає на ній заломлення – напрям вектору швидкості світла і, отже, напрямок імпульсу фотонів зміниться. Користуючись механічної аналогією, можна сказати, що при цьому виникає зміна сили, яке подіє на частку так, що вона рушить у бік найбільшої інтенсивності лазерного пучка [2].

Інтенсивність лазерного пучка максимальна на його осі та плавно спадає до країв. Закон зміни інтенсивності відповідає так званому нормальному, або гауссовому розподілу, якому підпорядковуються всі природні процеси. Тому частка утримується на осі пучка, а при фокусуванні пучка лінзою вона "втягується" у точку фокусу та виявляється "спійманою" в трьох вимірах. Щоб створити сили, здатні здійснити таку "тривимірну пастку", потрібно випромінювання потужністю порядку декількох міліват.

Переміщенням фокусу можна пересувати частинки, вибудовуючи з них найрізноманітніші конструкції. Сучасна технологія створює абсолютно фантастичну картину: промінь лазера рухається, і під його впливом у просторі матеріалізується необхідний об'єкт.

Об'єднуючи метод оптичного пінцета з використанням інших лазерних пучків, дослідники можуть, наприклад, захопити окрему хромосому та розрізати на шматочки для подальшого аналізу. Для захоплення можна застосувати інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі λ=1,064 мкм, а другу його гармоніку – зелене світло (λ=0,532 мкм) – для розрізання в якості "оптичних ножиць": біологічні об'єкти майже прозорі в інфрачервоній області, але сильно поглинають зелене світло.

Оптичний пінцет є зручним інструментом, що має, однак, ряд недоліків.

По-перше, чим сильніше стягнутий пучок у фокус, тим швидше він розходиться після нього. Це означає, що сила, що утримує частку, досить швидко падає по мірі віддалення від зони захоплення, і вже на відстані кількох десятків мікрон від фокуса виявляється недостатньою, щоб знову захопити частку. Однопучкова пастка реально корисна лише для захоплення одиночної частинки та тільки в області фокуса.

По-друге, лазерний пучок після зустрічі з об'єктом буде відрізнятися від вихідного через дифракції, заломлення, відображення і поглинання. Це також обмежує відстань, на якому він може діяти як оптичний пінцет.

Існує і ще одна обставина, пов'язана з розходимістю самого лазерного пучка. Чим сильніше він розходиться, тим гірше його фокусує оптична система, але отримати ідеально паралельний пучок принципово неможливо через дифракції. І довгий час не було навіть думки про те, що можна якось обійти це обмеження. Але в 1987 році американські фізики Дж. Дарнін, Дж. Майсел і В. Еберлі показали, що існує клас світлових пучків, фактично вільних від дифракції. Їх проекція на екран виглядає як яскрава пляма, оточена системою концентричних кілець (такий розподіл інтенсивності описує відома в математиці функція Бесселя, і тому самі пучки називають Беселеві).

Звичайний гаусів пучок перетворюють у пучок Бесселя за допомогою так званого аксікона – конічної лінзи, яка фокусує паралельний пучок променів не в точку, а в відрізок прямої лінії на оптичної осі. (Існують також інші методи, засновані на використанні голограм або просторових модуляторів світла.) Цей центральний промінь подібний "світловому шнуру", що не розходиться, постійної інтенсивності [3].

Беселевому пучку притаманна одна визначна властивість. На відміну від гауссова пучка, який спотворюється після проходження через частку, він має

здатність самостійно відновлюватися. Частина хвиль, що виходять з конічної поверхні аксікона, проходять повз перешкоди та сходяться позаду нього; їх інтерференція утворює неспотворений пучок. Це дозволяє подолати обмеження, притаманне оптичному пінцету на гауссовому пучку, здатному захопити лише частки, розташовані дуже близько одна до одної. Було показано, що оптичний пінцет, який використовує пучок Бесселя, здатний захоплювати частинки, рознесені на відстань 3 міліметри та лежать в окремих незалежних осередках. У цих експериментах використовувалося лазерне випромінювання з довжиною хвилі 1,064 мкм, що створює пучок Бесселя з яскравою центральною плямою, оточеною 19-ма кільцями. Загальна потужність випромінювання становила 700 мВт, з якої на центральну пляму припадало приблизно 35 мВт. Захоплювалась порожня сфера діаметром близько 5 мікрон між центральною плямою і першим кільцем пучка. Сфера спотворювала пучок, який за нею відновлювався і працював як оптичний пінцет, що зводить разом три кварцові сфери діаметром 5 мікрон. Після цього пучок відновлювався ще раз.

Інша відмінність оптичних пінцетів на беселевому пучку полягає в їх здатності захоплювати відразу декілька різних частинок. Наприклад, в експериментах проводилось одночасне захоплення суцільної кварцової сфери в першій клітинці, порожньої сфери в другій і частки з двозаломлюючого матеріалу в третій. Порожня сфера має менший показник заломлення, ніж вода, що заповнює осередки, і тому виштовхується з областей високої інтенсивності світла. Її захоплення відбувалося в темних зонах беселевого пучка між кільцями.

За допомогою оптичних пінцетів вимірювали механічні властивості молекул ДНК, прикріплюючи до їх кінців полістирольні намистинки та розтягуючи їх. Дослідники з Гарвардського університету вкладали еритроцити на білкову основу в кільця, ланцюжки та тетраедри, створюючи моделі клітинних "датчиків", налаштованих на виявлення певних хімічних речовин. Оптичний пінцет вже використовують для пересадки генів, і при штучному запліднені [4].

Експерименти, що заслуговують на увагу, виконані в угорському біологічному дослідному центрі. Там розроблена методика отримання мікроскопічних об'єктів довільної форми в результаті полімеризації клейкої маси під дією світла. Оптичний пінцет на основі інфрачервоного (λ = 0,994 мкм) напівпровідникового лазера захоплював і утримував у фокусі мікрочастинки. Далі використовувалася так звана двохфотонна методика: клей висвітлювали ультрафіолетовим лазером, що генерує дві довжини хвилі, які трохи розрізняються, поблизу 0,340 мкм, а необхідна для полімеризації інтенсивність досягалася фокусуванням у потрібній точці випромінювання аргонового лазера (λ = 0,514 мкм). У результаті впливу світла утворювався твердий полімер. Високоточний трьохкоординатний п'єзоелектричний маніпулятор, керований комп'ютером, переміщував матеріал відносно фокусу, створюючи мікроскопічні деталі – ротори, шестерінки, пропелери. Було виявлено, що при зсуві точки фокусу світло, відхиляючись від частки, призводить її в обертання. Величина та напрям моменту обертання залежать від

орієнтації ротора або шестерінки в фокусі. Якщо ротор оснащувався центральної віссю, стійкість його захоплення у пінцеті підвищувалася, а при збільшенні числа зубців шестерні обертання ставало більш рівномірним. При потужності випромінювання 20 мВт конструкція рівномірно оберталася з частотою до декількох обертів на секунду. Звідси – один крок до створення діючих мікромашин, керованих світлом. Автори сконструювали дві зчеплені шестерінки, що сидять на фіксованих осях, і вільно плаваючий ротор. Ротор захоплювали лазерним пінцетом, приводили в обертання і потім підводили до пари шестерень, змушуючи їх крутитися [5].

ВИСНОВОК

Існує технічна можливість виготовляти та використовувати такий прилад, як пінцет, що може захоплювати та переміщувати надто дрібні деталі мікронних розмірів, у тому числі хромосоми в живій клітині. Це рішення розроблюється понад 40 років і оптичний пінцет здійснив революцію в мікротехніці. Зараз у лабораторний умовах вже реалізовані високоточні трьохкоординатні п'єзоелектричні маніпулятори, що керовані комп'ютером, здатні переміщувати матеріали відносно фокусу, створюючи мікроскопічні деталі, які є подібними до деталей механічних пристроїв, що надає змогу на принципово новому рівні реалізовувати пристрої та вирішувати технічні задачі науки та виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Квасікова, Г. С. (2017). Розрахунок молекулярних сталих та імовірностей кооперативних коливально-ядерних переходів у спектрах двоатомних молекул. Науковий керівник: Хецеліус, О.Ю., д.ф.-м.н.,проф. (ОДЕКУ), 51-68.

[2] Ракитянский, М. М., Агранат, М. Б., Ашитков, С. И., Карагяур, М. Н., Мухамеджанова, С. П., Шевелев, И. Н. (2014). Исследования биологических объектов на клеточном и субклеточном уровне с помощью фемтосекундного лазерного оптического пинцета-скальпеля. Вестник трансплантологии и искусственных органов, 11(3), 107-113.

[3] Арцер, И. Р., & Рождественский, Ю. В. (2019). Световое давление на неоднородную сферическую частицу в поле лазерного пинцета. Журнал экспериментальной и теоретической физики, 156(5), 853-867.

[4] Потемкин, А.П., & Лускинович, П.Н. (2017). Нанопинцет для манипулирования частицами.

[5] Кучьянов, А. С., Мальцева, Е. О., Плеханов, А. И., Игуменов, И. К., & Кучумов, Б. М. (2014). Активная среда лазера.

Секція 3.
Ефективність автоматизованих виробничих систем і технологій приладобудування

УДК 519.682.6:681.1

О.І. Андрушко, студентка гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРИЛАДОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. В даній роботі розглянуто роль імітаційного моделювання в приладобудуванні, описано основні проблеми сучасного виробництва, розглянуто основну методологію імітаційного моделювання.

Ключові слова: приладобудування, виробництво, складна система, моделювання, імітаційна модель.

ВСТУП

Останнім часом спостерігається підвищення інтересу до імітаційного моделювання складних систем. Це можна пояснити як і швидким розвитком обчислювальної техніки і як результат – комп’ютерних технологій, а також необхідністю економічної теорії та практики, які зіткнулися з пришвидшеними темпами різних економічних перетворень, результати яких досить складно спрогнозувати.

Імітаційне моделювання, як новий науковий напрям в прикладної математики та кібернетики почав інтенсивно розвиватися в кінці попереднього століття, коли стали широко впроваджуватися і використовуватися складні технічні системи в найрізноманітніших галузях людської діяльності (космос, транспорт, біологія, медицина, економіка, нові технології на виробництві тощо).

Такі системи базуються на засобах обчислювальної техніки, включають в собі складні вимірювальні і керуючі комплекси, технологічне обладнання та людей-операторів. Їх дослідження традиційними математичними засобами стало неможливим або ж вони описуються настільки великою кількістю математичних співвідношень, що знайти вирішення виникаючих задач практично неможливо в прийнятний час навіть за допомогою потужних комп’ютерів.

СУТНІСТЬ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Сутність імітаційного моделювання полягає в побудові комп'ютерної моделі, яка за допомогою комп'ютерних технологій відтворює формалізований процес функціонування складної системи. При цьому складна система розбивається на окремі елементи, функціонування яких моделюється програмою-імітатором з урахуванням їх узгодженості, взаємодії та можливості об'єднання в єдиний процес функціонування системи в цілому. В цьому проявляється системний підхід, як до дослідження складних систем, так і до побудови комп'ютерної моделі, тобто – імітаційного моделювання.

Таким чином, імітаційна модель являє собою алгоритм функціонування системи, що програмно реалізований на комп'ютері [1].

В загальному вигляді імітаційне моделювання можна представити схемою, що представлена на рис. 1.

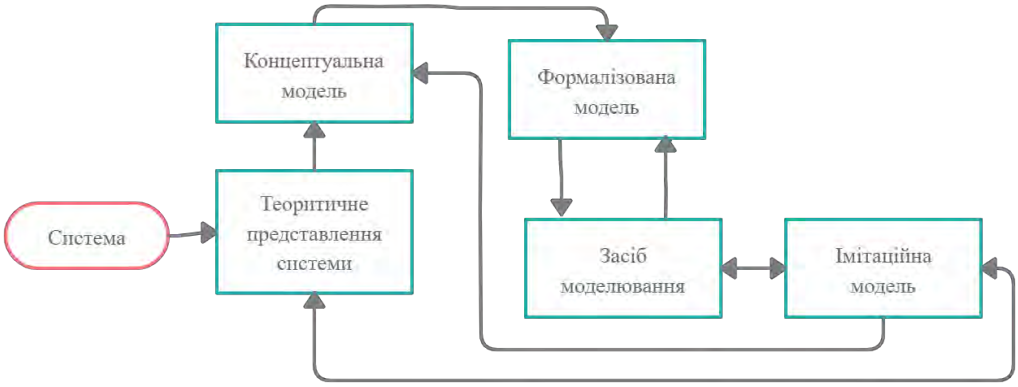


Рисунок 1. Загальна схема імітаційного моделювання.

Як видно із наведеної на рис. 1 схеми, особливістю імітаційного моделювання є наявність програмного засобу побудови моделі, в той час як в математичних моделях сам процес моделювання відбувається за допомоги аналітичних залежностей [2].

ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Виробництво відносять до складних систем (СС). Основним завданням теорії СС вважається розробка методів, що дозволяють на основі вивчення особливостей функціонування та властивостей окремих елементів, аналізу взаємодії між ними отримати характеристики системи в цілому.

В процесі моделювання оператор має справу з трьома об'єктами: системою (реальною, проектованою, уявною); математичною моделлю системи; машинною (алгоритмічною) моделлю. Відповідно з цим, виникають задачі побудови математичної моделі, перетворення її в машинну та програмної реалізації машинної моделі. В процесі вирішення цих задач дослідник отримує більш повне і структуроване уявлення про досліджувану систему, розробляє різні варіанти моделі, що відповідають різним сторонам функціонування системи та їх структурних перетворень [3].

В імітаційних моделях моделюючий алгоритм наближено відтворює функціонування елементів СС в часі, причому елементарні явища імітуються зі збереженням логічної структури і послідовності протікання. Суть цього методу моделювання забезпечується реалізацією на комп’ютері наступних алгоритмів: відображення динаміки функціонування елементів СС; забезпечення взаємодії елементів СС і об'єднання їх в єдиний процес; генерація випадкових чинників з необхідними ймовірнісними характеристиками; статистична обробка та графічна презентація результатів реалізації імітаційного експерименту. Моделюючий алгоритм дозволяє за початковими даними (початковою інформацією про стан процесу і його параметри) отримати інформацію про стан СС в різні моменти часу [4].

ПРОБЛЕМИ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вітчизняні підприємства з початком економічних реформ, що проводяться в Україні, виявилися в глибокій загальносистемній кризі. Радикальні

перетворення, що призвели до значного падіння валового продукту, бюджету країни і рівня добробуту населення, різке скорочення державного фінансування підприємств, виявили відсутність у більшості вітчизняних підприємств ефективних систем управління діяльністю, механізмів самоорганізації, адаптації та виживання в складних умовах. Таким чином, Україна все більше відстає на рівні ефективності конкретного підприємства, а основною проблемою зростання української економіки є низька конкурентоспроможність підприємств, їх нездатність ефективно організувати свою діяльність в умовах постійно зростаючих вимог ринку до ціни, якості і термінів виконання замовлення [3].

Головними причинами кризи виробничих підприємств є: застаріла, негнучка організаційна і управлінська структури підприємства; низька якість продукції, що випускається; низька продуктивність праці; кадрові проблеми (старіння кадрів робітників і відсутність надходження молодих); застаріле технологічне обладнання, яке не відповідає світовим стандартам; невисока завантаження устаткування та інші [3, 5].

Розв’язання задач організації ефективної діяльності приладобудівного виробництва в умовах постійно зростаючих вимог споживачів до якості продукції, її ціни і термінів поставки вимагає одночасного виконання комплексу декількох взаємопов'язаних і багато в чому суперечливих умов забезпечення конкурентоспроможності підприємства: підвищення якості; зростання продуктивності; зниження витрат; скорочення термінів освоєння продукції; скорочення тривалості виробничого циклу тощо [5].

Вихід вітчизняного виробництва з кризи можливий на основі його структурної перебудови. Структурна перебудова вимагає усунення всіх неефективних процесів, які можна виявити їх шляхом імітаційного моделювання.

Ще одним напрямком виходу вітчизняних підприємств з кризи є процес підготовки і реалізації програми комплексних змін організації виробництва з метою підвищення його конкурентоспроможності та ринкової вартості [3].

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показує, що проблема виходу з кризи і подальшого розвитку вітчизняних підприємств нерозривно пов'язана з вирішенням складної задачі вдосконалення їх систем управління. Оскільки виживання підприємства як виробника продукції в ринкових умовах можливе лише тоді, коли його продукція конкурентоспроможна на ринку, має низькі витрати виробництва, високу якість тощо, то неможливо обійтися без належної інтеграції підприємств, об'єднання їх виробництва з наукою, з фінансово-банківськими структурами. Тому для виживання підприємств в умовах ринку необхідна принципова перебудова їх систем управління і організація таких структур, які могли б забезпечити їх ефективне функціонування. Важливе значення в цій роботі має надаватися серйозного вдосконалення діючої системи менеджменту виробництва для підприємства з використанням нових наукових досягнень в галузі управління.

Метод імітаційного моделювання – це один з найбільш ефективних методів вивчення практично функціонуючих і створюваних об'єктів будь-якої природи і ступеня складності. Сутність цього методу полягає в побудові імітаційної моделі досліджуваного об'єкта і в цілеспрямованому експериментуванні з цією моделлю для вивчення поведінки в різних умовах [6].

Таким чином, суть імітації функціонування виробничої системи передбачає зміну в часі значень всіх вхідних характеристик стану моделі системи і визначенні її вихідних характеристик з використанням спеціальних комп'ютерних програм, що дозволяють здійснити цілеспрямоване вивчення властивостей і поведінки системи при здійсненні різних складних проектів, що спрямовані на виробництво нових видів продукції, вдосконалення методів роботи, з урахуванням тісної координації роботи різних планових, економічних, науково-дослідних, дослідно-конструкторських, технологічних, виробничих та інших служб підприємства.

Імітаційне моделювання управління може стати ефективним інструментом керівництва для здійснення таких кардинальних змін, які дозволять вітчизняним підприємствам істотно підвищити якість новостворюваних виробів, скоротити терміни розробки і постачання готової продукції, знизити її собівартість.

Системне моделювання менеджменту надає можливість домогтися істотного підвищення конкурентоспроможності на українському та світовому ринках наукоємної промислової продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Лычкина Н.Н. Технологические возможности современных систем моделирования // Банковские технологии. 2000. № 9. – С. 60–63.

[2] Астанина Л.А. Имитационное моделирование в экономических исследованиях: современное состояние и технология применения. // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Том 36. №3. – С. 77-84.

[3] Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 1: учеб. пособие / под ред. А.Н. Шелкового. – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 407 с.

[4] Лескин, А.А. Алгебраические модели гибких производственных систем / А.А. Лескин; отв. ред. В.М. Пономарев. – Л.: Наука, 1986. – 150с.

[5] Технология системного моделирования / Под общ. ред. С.В. Емельянова. – М.: Машиностроение, 1988. – 520 с.

[6] Андрушко О.І. Моделювання виробничих систем засобами системи Arena / О.І. Андрушко, С.П. Вислоух // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні : матеріали XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 10-11 грудня. К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 98–101.

Наук. керівник – д.т.н., доцент Вислоух С.П.

УДК 681.2-5

В.О. Бабич, студент гр. ПБ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПРИ РАДІОГРАФІЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ

Анотація. В даній статті описано методологію проведення експериментального дослідження якості зварних швів та подальшої обробки отриманих результатів. В якості методу контролю використовується радіографічний неруйнівний контроль. Після взаємодії з об'єктом контролю реєструється та аналізується проникаюче іонізуюче випромінювання. Результати дослідження представляються у вигляді рентгенівського знімка.

Ключові слова: неруйнівний контроль, зварювання, рентген, якість.

ВСТУП

При контролі зварних деталей необхідно враховувати, що зварний шов в середині може мати різні дефекти: тріщини, пори, непровари, шлакові включення. Дефекти в зварювальному шві можуть виникати внаслідок неправильного складу газової суміші [1], неякісної зварювальної проволоки, несправність обладнання, неправильного складання, низької кваліфікації зварювальника тощо. Для запобігання випуску неякісної продукції застосовують методи контролю, при цьому віддаючи перевагу неруйнівним методам, оскільки після їх застосування контрольований об'єкт можна використовувати за призначенням. Методи неруйнівного контролю засновані на виявлені фізичних змін та досліджені причин цих змін в контрольованому об'єкті. Одним з головних переваг радіографічного методу є наявність реального документа контролю — рентгенівського знімка, де чітко показана наявність дефекту або його відсутність.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для контролю зварювальних швів радіографічним методом [2] використовують апарат для просвічування деталі і результат отримується у вигляді зображення з зоною контролю, на якій видно наявність дефектів та їх характер або їх відсутність. На рис1. схематично показано основні види внутрішніх дефектів зварного шва.

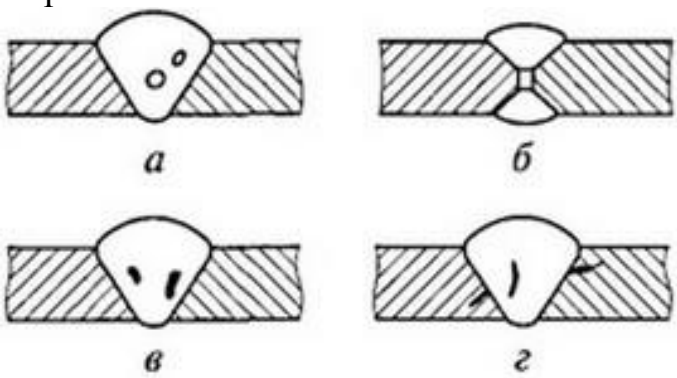


Рис. 1. Внутрішні дефекти зварного шва:
а пори; б непровари; в шлакові включення; г тріщини

Основними недоліками такого дослідження є висока вартість, необхідність висококваліфікованого спеціаліста для обробки даних та відносно великі часові

затрати. Існують автоматизовані системи для контролю, але вони мають низьку чутливість в порівнянні з ручними апаратами, що дозволяє їх використовувати лише для первинного дослідження.

В якості приладу для проведення експериментальних досліджень вибрано апарат РАП 150/300 (рис. 2). Рентгенівський апарат РАП 150/300 призначений для рентгенографічного контролю металевих і неметалевих виробів, а також якості лиття та зварювання в умовах цеху або заводської лабораторії. Товщина просвічуваного шару для сталі складає 10 мкм - 70 мм, для алюмінію до 250 мм.

Рис. 2. Рентгенівський апарат РАП 150/300

Проведення радіографічного дослідження включаю наступні види робіт [3]:

1. Підготовка зварного шва до контролю. Проводиться очистка від бруду, механічна або термообробка, якщо це необхідно за технічними вимогами.
2. Підготовка обладнання. До проведення контролю допускаються тільки атестовані спеціалісти. Проводиться обов’язкова ревізія хімікатів та апаратного забезпечення. Якщо хімікати будуть поганої якості кінцевий результат буде ненадійним.
3. Перед проведенням контролю проводиться візуальний огляд шва та біля шовної зони (15..20мм) для визначення недоліків, так як саме проведення контролю досить дороге. При виявлені недоліків об’єкт контролю відправляється назад на виробництво.
4. Для проведення контролю шов треба поділити, в залежності від розміру та форми, на мінімум п’ять рівних частин. Це необхідно для того щоб забезпечити необхідну точність.
5. Вибір режимів просвічування. Режим просвічування обирається в залежності від матеріалу та геометричних параметрів об’єкта контролю. Режими обирають відповідно до табличних значень, які описані в ГОС 7512-82.

6. Проводиться просвічування. Просвічування відбувається за допомогою еталона (як правило проволочного). Якщо різниця з еталоном більше ніж два рази, режим просвічування обраний невірно і потрібно обрати новий. Якщо жодне із табличних значень не підходить, тоді вибір режиму вибирається методом підбору між двома сусідніми значеннями в таблиці.
7. Отримання результатів. Після того як просвічування деталі за допомогою апарата проведено потрібно отримати результат на рентгенівській плівці. На рентгенівській плівці не допускаються буть-які дефекти. Плівку проявляють на негатоскопі. Після отримання плівки її оглядає інженер і видає висновок в свідоцтві про якість зварювальної поверхні [4].

Як можна побачити з методології, обробку остаточних результатів виконує кваліфікований інженер. Тому для підвищення ефективності проведення експериментальних дослідження пропонується провести обробку даних за допомогою програмного забезпечення, що дозволить усунути помилки інженера при оцінюванні результатів контролю. Для програмної обробки отриманих результатів експериментальних досліджень вибрано нейронні мережі. Створення програмного забезпечення вимагає проведення низки експериментальних досліджень як для зварних швів без дефектів, так і з дефектами різних видів. Далі необхідно провести навчання системи для можливості розрізняти різні види дефектів або їх відсутність за її допомогою.

ВИСНОВКИ

Обробка результатів контролю зварних швів радіографічним методом наразі займає багато часу та коштів, а також потребує залучення висококваліфікованого персоналу як для проведення, так і для обробки даних дослідження. Для автоматизації процесу обробки даних результатів експериментальних досліджень рентгенографічним методом запропоновано створення відповідного програмного забезпечення, що дозволить скоротити час отримання результатів, спростить сам процес обробки результатів та виключить людський фактор при обробці цих результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам’янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
[2] Неразрушающий контроль, Справочник, Том 1, Книга 2, Радиационный контроль, Клюев В.В., Соснин Ф.Р., 2008..
[3] Герасимов В. Г. Электротехнический справочник. / Владимир Григорович Герасимов. – МОСКВА: ЭНЕРГИЯ, 1980. – 520 с.
[4] Антонов А.А., Вышемирский Е.М., Капустин О.Е., Прыгаев А.К. Неразрушающий контроль сварных конструкций в нефтегазовых отраслях: уч. пособ. М.: Изд. “Спутник +”, 2014. 238с.

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

УДК 621.865.8

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

РІЗНОВИДИ ТРАЕКТОРІЙ РУХУ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА

Анотація. В даній статті приведено короткий опис траєкторій руху ефектора робота маніпулятора. Представлено особливості кожного з видів траєкторій, та описано можливості реалізації даних траєкторій в переміщені клешні робота.

Ключові слова : робот-маніпулятор, траєкторія, ефектор, координати, інтерполяція, вектор.

ВСТУП

Роботи-маніпулятори стали важливою частиною сучасної промисловості. Деякі з причин - низька собівартість виробництва, оптимізація процесів, їх гнучкість та адаптація до ряду виробничих подій. Крім того, внесення змін в програмуванні робота-маніпулятора дає можливість застосовувати його у діяльності різних галузей промисловості замість персоналу. Дослідження траєкторії руху робота-маніпулятора дозволить визначитися з конструктивними рішеннями для робота для сортування паперових та пластикових виробів [1].

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Корисність робота-маніпулятора зосереджена на можливості розташування його кінцевого ефектора в положенні з визначеною орієнтацією за заданою траєкторією. Для цього використовувались алгоритми для синхронізованого генерування та управління рухами суглобів робота. Мови високого рівня для програмування роботів базуються на трьох типах рухів: спільна інтерполяція (MOVEJ), лінійна інтерполяція (MOVES) та кругові дуги (MOVEC). У цій роботі ці три рухи реалізовані, як частина процесу відновлення п’яти ступенів свободи робота-маніпулятора [2].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рух по довільній траєкторії

Застосування цього руху дозволяє маніпулятору досягти кінцевого положення самостійними рухами суглоба. Це не забезпечує лінійної траєкторії між початковою та кінцевою точками (рис.1); тобто кінцевий ефектор рухається від однієї точки до іншої випадковим шляхом.

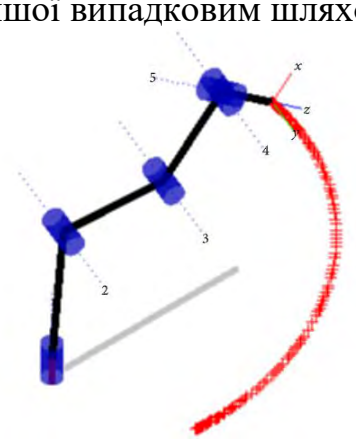


Рисунок 1. Траєкторія руху суглоба в самостійній формі [3].

Координати в робочому просторі кінцевого ефектора можна отримати за допомогою прямої кінематичної моделі (DKM), використовуючи спільні значення [4].

Рух по лінійній траєкторії

Якщо необхідно дійти до декартового положення, слідуючи за траєкторією по прямій лінії з кінцевим ефектором, для цього потрібен вектор із шістьма значеннями; перші три – це декартові змінні(X, Y та Z) бажаного положення в робочому просторі початку системи координат кінцевого ефектора. Наступні три стосуються потрібної орієнтації; ця орієнтація вводиться з кутами Roll(δ) Pitch(β) та Yaw(γ) , також відомими як кути RPY.

Таким чином, буде лінійний рух, як на рис. 2 , через шлях, згенерований від поточної точки або від початкової до кінцевої точки (точка, введена командою).

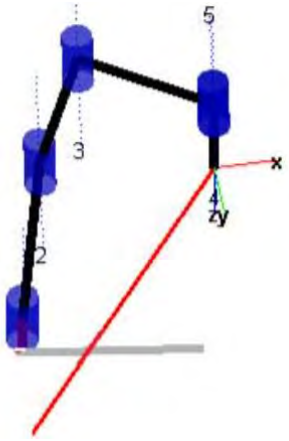


Рисунок 2. Траєкторія по прямій лінії з кінцевим ефектором [3].

Ефектом є рівномірне обертання з кутовою швидкістю навколо фіксованої осі обертання (рис.3.), що гарантує єдиний шлях . Представляє такий рух рівняння:

$$q_m = \frac{q_0 * \sin\left(\left(1 - t(i)\right) * \theta\right) + q_1 * \sin(t(i) * \theta)}{\sin(\theta)}$$

де q_m – кватерніон інтерпольований, q_o – перший кватерніон, q_1 – другий кватерніон, кут між векторами q_0 і q_1, а також t – сферична інтерполяція між векторами q_0 і q_1, зі значеннями між 0 і 1 [4].

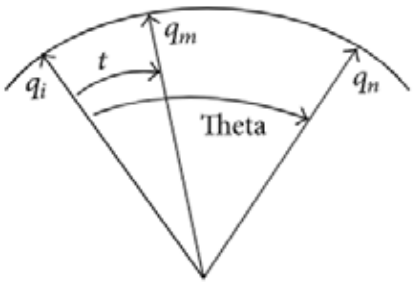


Рисунок 3. Рівномірне обертання з кутовою швидкістю.[3]

Рух по круговій траєкторії

Для виконання цього руху необхідні три лінійно незалежні точки. Перша це значення X, Y і Z декартової площини, де розташований кінцевий ефектор,

друга-це точка призначення, а третя належить до проміжної точки. Це все, що допомагає у визначенні шляху, по якому повинен ковзати кінцевий ефектор, визначає площину, в якій він буде працювати, як показано на рис. 4.

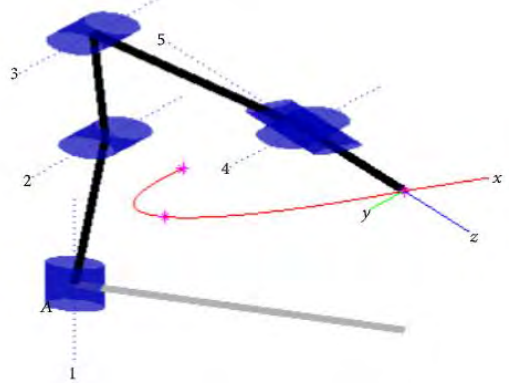


Рисунок 4. Кругова траєкторія суглоба.[3]

Для здійснення руху визначається орієнтація і напрямок вектора, пов'язаного з системами X_1,Y_1 , і Z_1. Подання проводиться вектором в кадрі, який обертає кут θ навколо X, кут α навколо Y і кут β навколо Z і переміщує відстані a,b і c щодо осей x, y і z; все це перетворюється в координати системи відліку. На кадрах X_1,Y_1 і Z_1, три лінійно незалежні точки визначають площину, яка буде містити розподіл точок, що складають криву [5].

ВИСНОВОК

У даній статті подано огляд траєкторій руху клешні робота маніпулятора. Ця тема є актуальною для досліджень, оскільки використання роботизованих маніпуляторів є ключовим способом автоматизації виробничих процесів та їх контролю. Оптимізуючи рух клешні робота, зменшується час на її переміщення, в результаті чого, збільшується продуктивність роботи робота маніпулятора. В результаті дослідження отримуємо, що оптимальним варіантом переміщення клешні є рух по круговій траєкторії, такий вид траєкторії застосовується у роботів PUMA, оскільки при такій траєкторії шлях переміщення клешні найменший.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Bishop O. Programming Lego Mindstorms NXT / Owen Bishop. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2008. - 198 p
[2] Ferrari M. Building Robots with LEGO Mindstorms NXT / Mario Ferrari, Guilio Ferrari, Ralph Hempel. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2007. - 480 p.
[3] L. Fortuna., Journal of Robotics – University Corporation of Huila, Corhuila, Neiva, Colombia, 2017. – 7 p
[4] Hestad D. Building LEGO Robots For First LEGO League [текст] / D. Hested. – Manchester : INSciTE, 2002. – 91 p
[5] Robotic Industries Association, 900 Victors Way, P.O. Box 3724, Ann Arbor, Michigan 48106. – 2006. – P. 1 – 266.

Наук. керівник – к.т.н. Барандич К.С.

УДК 621.389:535.215

Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЖИВЛЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ НА БАЗІ КОНТРОЛЛЕРА ATMEGA 328

Анотація. В роботі було розглянуто процес проектування приладу для контролю живлення соняцчної панелі на базі мікроконтролера ATmega 328, наведена структурна блок-схема та монтажна схема приладу, а також інтерфейс виведення результатів роботи датчиків.

Ключові слова : Вимірювання потужності, бездротова передача, Internet of Things, Thingspeak, діагностика, сонячна енергія, Wi-Fi модуль, ATmega 328.

ВСТУП

Сонячні електростанції необхідно контролювати для забезпечення оптимальної потужності. Це допомагає підвищити ефективність вихідної потужності з електростанцій при моніторингу несправних сонячних панелей, з'єднань і пилу, який збирається на панелях, та цим самим знижує вихідну потужність та створює інші подібні проблеми, що впливають на роботу сонячних батарей. Тому ми пропонуємо прилад для моніторингу сонячної енергії на основі IoT, яка дозволяє здійснювати автоматичний моніторинг сонячної енергії з будь-якої точки світу через інтернет. Для контролю параметрів сонячних батарей ми використовуємо систему на базі контролера ATmega. Наша система постійно стежить за сонячною панеллю і передає вихідну потужність в системі IoT через інтернет. Ми використовуємо сервіс IoT Thingspeak для передачі параметрів сонячної енергії через інтернет на сервери IoT Thingspeak. Він відображає параметри за допомогою ефективного графічного інтерфейсу користувача, а також попереджує користувача, коли вихідна потужність падає нижче визначених меж. Це робить дистанційне спостереження за установкою дуже простим і забезпечує високу вихідну потужність.

МЕТА РОБОТИ

Проектування приладу на основі IoT для дистанційного моніторингу сонячної установки та оцінки її ефективності. Він дозволить вчасно виявляти несправності, аналізувати роботу установки в реальному часі, що тим самим зменшить можливі фінансові витрати та підвищить об’єми добутої електричної енергії.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розробка системи онлайн-моніторингу та управління розподіленими поновлюваними джерелами енергії на базі платформи Android. В даному методі використовується Bluetooth-інтерфейс Android планшету або смартфону, як канал зв'язку для обміну даними з цифровим апаратним забезпеченням блоку кондиціонування електроенергії [1].

Введення в інфраструктуру миттєвого моніторингу системи генерації відновлюваної енергії, по вимірюванню струму і напруги кожного

поновлюваного джерела. Відповідні значення вимірюються за допомогою розроблених сенсорних схем і оброблюються мікроконтролером Microchip 18F4450. Потім оброблені параметри передаються на персональний комп'ютер (ПК) по універсальної послідовної шини (USB) для збереження в базі даних і миттєвого спостереження за системою. Кодований візуальний інтерфейс програмного забезпечення для моніторингу може управляти збереженими даними для аналізу щоденних, щотижневих та щомісячних значень кожного вимірювання окремо [2].

Гото Єсіхіро розповів про інтегровану систему, яка керує телекомунікаційними електростанціями і дистанційно контролює їх роботу. Система використовується для експлуатації та обслуговування більше 200 000 телекомунікаційних електростанцій, які включають в себе такі пристрої, як випрямлячі, інвертори, ДБЖ і установки кондиціонування повітря, встановлені приблизно в 8000 будівлях. Особливістю системи є інтеграція управління і функції дистанційного моніторингу в єдину систему і поліпшені інтерфейси, що використовують інформацію та комунікаційні технології [3].

СХЕМА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Розглянемо блок-схему приладу для моніторингу сонячної енергії (Рис.1).

Рис. 1 Блок-схема приладу для моніторингу сонячної енергії з використанням IoT

Головною метою використання ATmega 328 є його висока функціональність разом з простотою та звичайністю. ATmega 328 запобігає розриву між сонячною панеллю та IoT. Для роботи мікроконтролера ATmega 328 необхідно джерело постійного струму напругою 5 вольт.

Датчик INA219 є датчиком струму і потужності, він вимірює сумарну потужність, споживану шунтованим навантаженням, і зчитує в цифровому вигляді данні з ATmega 328 [4]. Контролер із завантаженою в нього програмою обчислює показання струму і напруги при шунтованому навантаження, та виводить їх на ЖК-дисплей (Рис 2).

Рис. 2 Схема монтажа

Всі розраховані дані ATmega 328 в подальшому обробляються Wi-Fi модулем для зберігання на IoT сервері або хмарі. Для аналізу цих даних на щоденно, щотижнево і щомісячній основі ми використовуємо популярну платформу IoT Thingspeak.

Платформа IoT об'єднує дані від різних сонячних батарей і застосовує аналітику для обміну найбільш цінною інформацією з додатками, створеними для задоволення конкретних потреб. Ці потужні платформи IoT, такі як Thingspeak, Microsoft Azure, хмарна платформа Google і т.д., можуть точно визначити, яка інформація є корисною, а яка може бути безпечно проігнорована. Ця інформація може бути використана для виявлення несправностей, винесення рекомендацій і виявлення можливих проблем до того, як вони трапляться. Інформація, що отримується підключеними датчиками, дозволяє приймати розумні рішення на основі інформації в реальному часі, яка допомагає заощадити час і гроші. Данні з датчиків можна також вивести на комп’ютер (Рис.3).

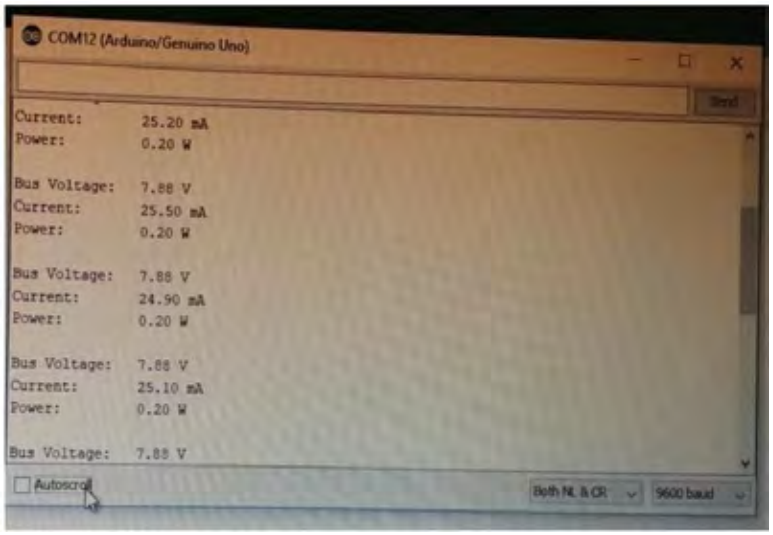


Рис. 3 Данні з датчиків виведені на комп’ютер

ВИСНОВОК

Оскільки розроблений в роботі прилад постійно стежить за сонячною електростанцією, щоденний щотижневий і щомісячний аналіз стає легким і ефективним, також за допомогою цього аналізу можна виявити будь-які несправності, що виникли в електростанції, так як вироблена потужність може показати деякі невідповідності в даних сонячної електростанції.

В перспективі подальших досліджень планується зовнішнє електроживлення 5 вольт і 3,3 вольт на енергію отриману з сонячних панелей. Також підключивши двигун можна налаштувати автоматичне керування розташуванням панелей, щоб стежити за сонцем для покращення генерації енергії. Крім того, використовуючи різні алгоритми машинного навчання і моделювання, можна зробити систему розумною, щоб вона могла самостійно аналізувати данні та приймати певні рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Jiju K. et. al., 2014. "Development of Android based online monitoring and control system for Renewable Energy Sources." Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), International Conference on. IEEE, 2014

[2] Kabalci, Ersan, Gorgun A. and Kabalci Y., 2013. "Design and implementation of a renewable energy monitoring system." Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), Fourth International Conference on. IEEE, 2013.

[3] Yoshihiro G. et. al., 2007. "Integrated management and remote monitoring system for telecommunications power plants with fully DC-powered center equipment." INTELEC 07-29th International Telecommunications Energy Conference. IEEE, 2007.

[4] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.

[5] Mayamiko N., Zennaro M. and Bagula A., 2011. "SM 2: Solar monitoring system in Malawi." Kaleidoscope: The Fully Networked Human?-Innovations for Future Networks and Services (K-2011), Proceedings of ITU. IEEE, 2011.

Наук. керівник – доц. Стельмах Н.В.

УДК 675.026.4

О.М. Загорулько, студент гр. ПБ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. В статті розглядається автоматизацыъ лазерного маркувального комплексу. Визначається роль лазерноъ обробки у виробництві, можливості цього моделювання та його особливості.

Ключові слова: виробництво, лазер, маркування, маркувальний комплкс, гравіювання.

ВСТУП

На сьогоднішній день лазерні технології застосовуються в багатьох сферах діяльності людини, в більшості галузей промисловості, а також у телекомунікаціях, науці, медицині, екології, культури, військовому справі. Настільки великий перелік сфер застосування лазерних технологій обумовлює необхідність великого різноманіття видів лазерів. більш ніж за п'ятдесят років, протягом яких лазери активно використовуються в різних областях діяльності людини, були винайдені газові, рідинні, твердотільні, ексимерні, лазери на парах металів та інші. Однак очевидно, що сфер застосування лазерів набагато більше, ніж їх видів. Отже, для виконання конкретного завдання необхідно проаналізувати безліч факторів як технічних, так і економічних, і на підставі аналізу зробити висновок про те, наскільки вигідно застосовувати лазерні технології, який вид лазера доцільно використовувати і якими параметрами він повинен володіти для вирішення поставленого завдання.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Технічні характеристики лазерного маркувального комплексу повинні забезпечити процеси маркування й гравірування конструкційних матеріалів. економічна доцільність тут очевидна: лазерна обробка матеріалів відрізняється точністю на мікронному рівні, великою швидкістю виконання операцій і можливістю повністю автоматизувати процес, тим самим виключивши людський фактор. Однак завдання оптимізації параметрів лазера є однозначною і вимагає детального розгляду.

Лазерна технологічна установка є складною системою, що складається з набору підсистем. Параметри пучка випромінювання на виході лазера, необхідні для реалізації певного впливу на поверхню оброблюваного матеріалу - це результат всіх процесів, що відбуваються всередині лазерної установки. Тому параметри вихідного випромінювання в значною мірою залежать від роботи кожної підсистеми установки.

На основі результатів аналізу процесу обробки конструкційних матеріалів в випаровувальному режимі і на основі результатів аналізу здійснюється вибір типу випромінювача, вибір різних технічних рішень компоновки лазерного комплексу, а також оптимізація параметрів процесу лазерної обробки конструкційних матеріалів.

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНОЇ РОБОТИ

В результаті огляду інформаційних джерел для виконання операцій маркування конструкційних матеріалів був обраний волоконний лазерний випромінювач, а також був визначений ряд вимог до тимчасовим, просторовим і енергетичними характеристиками лазерного комплексу. Виходячи з даних вимог, була розроблене компонування ЛМК: волоконний лазер IPG Photonics YLPM-20 з діодним накачуванням, коллиматором і напівпровідникових трассирующим лазером, що сканує система Raylase Miniscan II - 10, фокусує об'єктив Linos Ronar F-Theta f = 163 мм, електромеханічна вісь (Z) Isel LES-6.

За результатами тестування ЛМК були зроблені наступні висновки:

– залежність вихідної потужності лазерного випромінювання від потужності накачування має лінійний характер.

– значення максимальної потужності, тривалості імпульсу і частоти проходження імпульсів випромінювача відповідають заявленим в специфікації параметрам.

– пучок випромінювання лазера в поперечному перерізі близький до кола, а форма розподілу інтенсивності в перерізі пучка близька до гауссовой.

– діаметр плями лазерного випромінювання в фокальній площині об'єктива росте зі збільшенням потужності накачування, проте приріст діаметра плями менш ніж на 10 мкм не впливає на продуктивність і якість маркування.

Перевірка працездатності лазерного маркувального комплексу здійснювалася шляхом проведення операції гравіювання. На основі рішення теплової задачі випаровування стали були розраховані енергетичні, часові і просторові характеристики лазерного випромінювання, що забезпечують виконання даної операції. Була виведена методика теоретичного і експериментального підбору технологічного режиму гравіювання інструментальної сталі.

Для верифікації розрахункових значень був проведений експеримент: розраховане час проведення гравіювання стали на глибину 500 мкм і виконано порівняння його з реальним часом проведення гравіювання. також проводилась гравірування латунного і титанового зразків. глибина гравіювання і час проведення операції відповідають розрахунковим значенням в межах норми.

За результатами проведеної розрахункової і експериментальної роботи можна зробити наступні висновки.

– Описана мною методика розрахунку технологічного режиму обробки сталевого зразка є коректною, оскільки гарантує збіг розрахункових і експериментальних величин з точністю не більше ± 5%.

– Відхилення розрахункових і експериментальних величин глибини гравіювання для латунного і титанового зразків пов'язано, по-перше, з тим, що глибина гравіювання оцінювалася формулою, що враховує експериментально підібрані параметри гравіювання для сталевого матеріалу. Для отримання більш точних результатів необхідно застосовувати весь алгоритм підбору технологічного режиму обробки даних матеріалів. По-друге, титан відноситься до тугоплавким металів і перевершує сталь за такими властивостями як

температура випаровування, прихована теплота випаровування, що сильно ускладнює гравірувати титан при тієї ж енергії імпульсу.

– Найбільший внесок в ефективність видалення матеріалу шляхом лазерної обробки вносить такий теплофізичний параметр як температуропровідність оброблюваного матеріалу.

– Для того щоб проводити гравіювання шляхом лазерного випаровування таких тугоплавких матеріалів як титан з ефективністю порядку 0.14 мг / с, 84 необхідна енергія імпульсу лазерного випромінювання порядку 1.5 мДж при тієї ж тривалості імпульсу 200 нс.

– Можна використовувати для гравіювання сталевих муфт.[5]

ВИСНОВКИ

На основі результатів проведеного експерименту можна зробити наступні висновки: теплова задача випаровування матеріалу підходить для оцінки параметрів лазерного випромінювання, необхідних для проведення операцій маркування та гравірування. Лазерний маркирующий комплекс володіє всіма необхідними параметрами для ефективного виконання маркування й гравірування конструкційних матеріалів в випарному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Скляров О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учеб. пособие. СПб.: «Лань», 2010. 272 с

[2] Технічна інформація // Отражение света металлами. URL: http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/LightAndColor/ReflectionOfTheMetals.

[3] Волоконные решетки показателя преломления и их применения / С. А. Васильев, О. И. Медведков, И. Г. Королев и др. // Квант. электроника. 2005, вып. 35 (12). С. 1085—1103.

[4] Парфёнов В. А. Лазерная микрообработка материалов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011г. 66 с.

[5] Подолян, О. О. Контроль якості монтажу муфт на магістральний трубопровід [Електронний ресурс] : монографія / О. О. Подолян, Г. С. Тимчик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 180 с.

Науковий керівник – к.т.н. доц. Подолян О.О.

УДК 621.3

А.С. Затуленко, студентка гр.ПБ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЕРУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СЕРІЇ STM-32

Анотація. У статті досліджено використання мікроконтролера серії STM-32 в системі керування п'єзодвигунами. Розглянуто спосіб зменшення небажаних пульсацій за рахунок використання в управлінні п'єзоактюатором третього стану широтно-імпульсної модуляції. Запропонована математична модель динаміки п'єзоактюатора при живленні від широтно-імпульсного модулятора із трьома станами, та розроблена функціональна схема цифрового п'єзоелектричного приводу, що представляє собою одноконтурну систему регулювання по заданому параметру.

Ключові слова: мікроконтролер серії STM-32, системи керування п'єзодвигунами, п'єзоелектричний привід.

ВСТУП

У зв'язку з інтенсивним розвитком сучасного технологічного і дослідницького устаткування широке поширення одержали п'єзодвигуни. Внаслідок чого встає питання про керування п'єзодвигунами, як окремими елементами в електроніці.

Завдання вирішуються застосуванням сучасних лінійних підсилювачів і обладнання керування з вихідними каскадами на високовольтних транзисторах, що працюють у ключовому режимі, тобто використанням імпульсного обладнання, а також спеціалізованих драйверів для п'єзоелектричних виконавчих приладів.

Керування п'єзодвигунами в таких системах зазвичай виконується з використанням ШІМ (широтно-імпульсної модуляції), що, в свою чергу, викликає появу небажаних ударно-вібраційних ефектів.

Для подолання цих ефектів у виробах, працюючих в мікродіапазоні швидкостей, застосовують комбіновані алгоритми, які поєднують в собі як елементи безперервного керування шляхом сканування по частотній характеристиці двигуна, так і імпульсного – шляхом внутрішньої модуляції частоти збудження для виробів [1].

Іншим шляхом для подолання ударно-вібраційних ефектів є використання алгоритму із застосуванням третього стану ШІМ, в цьому разі синтез регулятора системи управління необхідно виконувати з урахуванням нелінійності рівняння динаміки об'єкта управління.

Сучасні мікропроцесорні системи керування, у тому числі і п'єзоелектричні виконавчі механізми, дозволяють реалізувати керування шляхом відповідного програмування із компенсацією зовнішніх впливів і нелінійності, властивих обладнанню даного типу.

Велика номенклатура мікроконтролерів дозволяє реалізовувати цифрове керування як одноконтурних приводів, так і більш складних багатоконтурних і багатоприводних систем і комплексів.

Метою роботи є розробка методу керування п'єзоелектричним двигуном з використанням широтно-імпульсної модуляції із трьома станами на базі мікроконтролерів серії STM-32.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

При проектуванні приводу рухомих елементів оптико-електронної системи, в числі інших методів [2, 3] розглянуто використання в системі управління п’єзоактюатору ШІМ з трьома станами, що дозволяє підвищити споживчі властивості п'єзоприводу за рахунок зниження паразитної вібрації об'єкту пересування і привнесення в систему властивості астатизма.

Для реалізації експерименту за методом управління п’єзоактюаторами з використанням ШІМ на базі мікроконтролеру серії STM-32 прийнята функціональна схема цифрового п'єзоелектричного приводу (Рис.1), що представляє собою одноконтурну систему регулювання по заданому параметру.

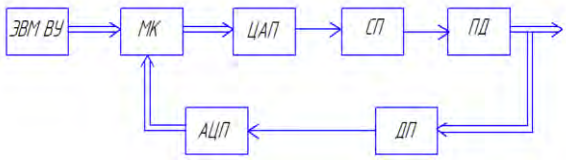


Рисунок 1. Функціональна схема цифрового п'єзоелектричного приводу

Схема містить дві частини – цифрову (мікроконтролер (МК)), обладнання зв'язку з мікроконтролером, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і обчислювальна машина верхнього рівня (ЕОМ ВР)) та аналогову (силовий перетворювач (СП), п’єзодвигун (ПД) і датчик параметру (швидкості, положення, температури тощо) (ДП)).

Контролер серії STM-32 (Рис. 2), призначений для використання в програмах, де потрібні більші обсяги пам'яті і підвищені швидкості роботи ядра.

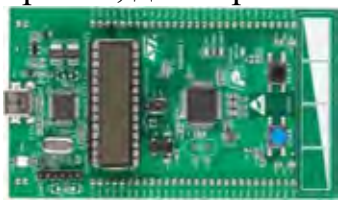


Рисунок 2. Зовнішній вигляд мікроконтролеру серії STM-32

Вибір контролера серії STM-32 обумовлено тим фактом, що цей контролер вже використовується в оптико - електронному пристрої для виконання інших завдань (обробці даних болометричної матриці). До його складу [4] входить таймер з розширеними функціями, призначений для забезпечення керування приводами, містить шість комплементарних виходів ШІМ. Роботи з програмування мікроконтролеру STM-32 проводились на технологічній платі для налаштування мікроконтролеру в середовище STM32CubeIDE генерації коду від компанії ST.

Управління виконавчими механізмами здійснюється з використанням ШІМ. Вихідні силові транзистори підсилювачів потужності працюють в ключовому режимі, що дозволяє істотно підвищити КПД вихідного каскаду, знизити нагрів транзисторів і, як наслідок, значно зменшити габаритні розміри підсилювача. Пристрій формування керуючої напруги на електродах п’єзоактюатора при використанні широтно-імпульсної модуляції замінюється еквівалентною схемою (Рис. 3).

Вихідний каскад пристрою представлений двома послідовно включеними ключами SW1 і SW2 (верхній і нижній силові транзистори, що працюють в ключовому режимі). Значення залишкового опору включеного ключа, внутрішнього опору джерела живлення і додаткових, обмежуючих струм резисторів, визначають значення внутрішнього опору пристрою, еквівалентно представленого резистором Ry.

Джерело живлення характеризується постійною напругою *Un*, а п’єзоактюатор в такій схемі еквівалентно представляється конденсатором PA. В експериментах з вибором оптимальної схеми керування п’єзодвигуном приводу елементів оптико-електронної системи розглянуто варіант управління п’єзоактюаторами от ШІМ з трьома станами. При використанні класичної ШІМ з двома станами, значення керуючого сигналу Ua на електродах п’єзоактюатора варіюється за рахунок зміни інтервалів часу протифазного включення/ вимикання ключів SW1 і SW2, які характеризуються керуючим параметром γ ∈ [0,1). Напруга U в точці з'єднання ключів SW1 і SW2 - періодична імпульсна. Напруга Ua на електродах п’єзоактюатора матиме періодичний пульсуючий компонент з періодом *T*, що призведе до небажаних періодичних коливань об'єкта мікропереміщення, як в перехідному, так і в сталому режимах роботи.

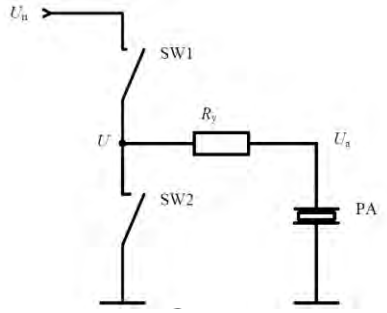


Рисунок 3. Еквівалентна схема формування керуючої напруги на електродах п’єзоактюатора при використанні ШІМ

При керуванні швидкості широтно - імпульсною модуляцією відчутні ударно - вібраційні ефекти які, найчастіше, неприпустимі при роботі мікроманіпуляційної системи.

Існує спосіб [5] зменшення небажаних пульсацій за рахунок використання в управлінні п’єзоактюатором третього стану ШІМ.

У цьому стані обидва ключа SW1 і SW2 розімкнуті, а керуючий сигнал *Ua* зберігає постійне значення за рахунок власної ємності п’єзоактюатора.

При позитивної керуючої дії включається тільки SW1 на час γ*T* з подальшим переходом в третій стан.

При негативної керуючої дії включається тільки SW2 на час γ*T* з подальшим переходом в третій стан. Дискретна нелінійна модель динаміки об’єкту представлена рівнянням (1).

$$\left.\begin{aligned} &X((n+1)T) = e^{A_0(1-\gamma(nT))T}(e^{A\gamma(nT)T}X(nT) + A^{-1}(e^{A\gamma(nT)T} - I)BU_п), \\ &U = \begin{cases} U_п \Leftarrow x_3(nT) < V(nT), \\ 0 \Leftarrow x_3(nT) \geq V(nT), \end{cases} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

де: $V(nT) = \gamma(nT)Un$ – сигнал управління;

T – постійний період сигналу широтно - імпульсного модулятора;

t – час на інтервалі [0,T).

$U(\tau)$ – управляючий сигнал;

X(nT) – вектор стану дискретної системи на початок n-го періоду сигналу ШІМ;

n =0,1,… – дискретний час управляючим параметром γ ∈ [0,1).

Рівняння (1) дозволяє рекурентно обчислювати перехідну характеристику керованого п’єзоактюатора, виконувати синтез регуляторів і аналіз динаміки п'єзоприводів.

Переваги управління п’єзоактюатором від ШІМ з трьома станами у порівнянні з класичним управлінням:

- знижується рівень коливання при переміщення корисного навантаження;
- у п’єзоактюатора за рахунок накопичення електричного заряду з'являється астатична властивість, тобто управління здійснюється не величиною переміщення корисного навантаження, а швидкістю;
- аналіз умов комутації ключів показує, що алгоритм роботи ШІМ з трьома станами не допускає можливості виникнення наскрізних струмів в силових ключах.

ВИСНОВКИ

1 Математична модель динаміки п’єзоактюатора при живленні від широтно-імпульсного модулятора із трьома станами, яка визначена рівнянням (1) коректна та реалізовано на базі мікроконтролеру серії STM32.

2 Наявність в модуляторі третього стану породжує параметричну нестаціонарність. Розроблена модель дозволяє врахувати зазначені ефекти при синтезі систем керування.

3 При проектуванні приводу рухомих елементів оптико-електронної системи доцільно, в числі інших методів, розглянути можливість використання в системі управління п’єзоактюатору ШІМ з трьома станами, що дозволяє підвищити характеристики п'єзоприводу за рахунок зниження паразитної вібрації об'єкту пересування і привнесення в систему властивості астатизма.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Петренко С.Ф. Исследование сопутствующего ударно-вибрационного шума пьезоэлектрического двигателя в режиме микро- и наноскоростей / С.Ф. Петренко, А.В. Омелян, А.Н. Лысенко, В.С. Антонюк // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського": Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – Київ – № 78 (2019). 2019 – С.- 67–73. • DOI: https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.78.67-73

[2] Петренко. С.Ф., Омелян А.В., Антонюк В.С., Новаковський О.Г. Система керування п’єзоелектричним двигуном // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: Серія приладобудування. – 2018. – Вип.55(1) . - С. 5 – 10. DOI: https://doi.org/10.20535/1970.55(1).2018.135857

[3] Petrenko, S.F., Omelyan, A.V.a, Antonyuk, V.S., Novakovskyi, O.G. Comparison of piezoelectric and DC motor control principles // Journal of Nano- and Electronic PhysicsVolume 10, Issue 5, 2018, Номер статьи 05032 • DOI:10.21272/jnep.10(5).05032

[4] Описание микроконтроллера STM32F407/417 [Электронный ресурс]. URL: www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1577/LN11-85

[5] Бойков В.И., Быстров С.В., Королёв А.Ю. Динамика пьезопривода с управлением от широтно-импульсного модулятора с тремя состояниями // Известия высших учебных заведений. Приборостроение - 2013. - Т. 56. - № 4. - С. 81

Наук. керівник – д.т.н. Антонюк В.С.

УДК 621.865.8

С.С. Заєць асис., Н.С. Строкань студентка гр. ПБ-91м, В.В. Шевченко к.т.н.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Анотація. Задачею роботи є розробка пристрою для роботизованого складання та моделювання авто пошукового процесу роботизованого складання підвищеної точності деталей типу вал втулка. В роботі проведено аналіз методів та засобів работизованого складання, аналіз теоретичних і експериментальних досліджень роботизованого складання, моделювання авто пошукового процесу складання, розробка складального креслення захвату з авто пошуковим модулем.

Ключові слова: Роботизоване складання, автопошуквий модуль, прецензійні деталі, ситема моделювання.

ВСТУП

Застосування промислових роботів (ПР) розширює можливості виробництва підвищує точність, конкурентна здатність, і темпи виробництва. В нашій країні застосування ПР ще не набуло широкого вжитку в зв’язку з скрутним економічним становищем в 90 роках двадцятого сторіччя.

Роботи що застосовуються на виробництвах в Україні в більшій мірі мають вузький профіль застосування, й конструкції які морально застаріли. Для застосування нових технологій в виробництві необхідно застосовувати нове обладнання яке здатне виконувати данні технологічні операції. В основному ПР застосовують при обробці деталей, нанесення різноманітних видів покриття і складані деталей з різноманітним видом з’єднання.

Не зважаючи на точність з якою працює ПР і терміном його використання при роботі все рівно відбувається похибка виконання операції. Для того, щоб відкоригувати дії механізмів роботів застосовують різноманітні методи корекції. Одного чи декількох способів корекції деталей при роботизованому складанні не існує, тому в залежності від виду виробництва і габаритних розмірів деталей, що складаються, використовую різноманітні способи й механізми складання. Кожен з цих методів і механізмів має свої переваги і недоліки, тому постійно проводиться розробка нових методів і конструкцій приладів.

ОПИС РОБОТИ

В залежності від специфіки виробництва тій чи іншій країні світу розвиток конструкцій ПР зазнає певних змін. В сполучених штатах Америки використовують роботи в більшості в машинобудуванні при складані автомобілів, і на виробництвах з вузьким профілем їх використання. В країнах Азії широке застосування знайшли універсальні ПР, які легко переналагоджуються на новий тип продукції і можуть виконувати більше різноманітних функцій. В Європі з її різноманітними промисловими центрами знайшли застосування обидва метода використання роботів, лідерами в їх використані в Європі є: Німеччина, Франція, Великобританія, Данія, і інші країни. В Україні впровадження робото технічних технологій проводиться повільніше ніж у всьому світі, тому однією з головних умов відбудови промисловості нашої держави є впровадження промислових роботів в різні

галузі народного господарства, це дозволить значно підвищити рівень якості праці і темпів розвитку.[5]

Задачі роботизованого складання з'єднань виконуються переважно двома шляхами: розрахунком розмірних ланцюгів з'єднань з урахуванням точних характеристик складальних роботів і застосуванням методів компенсації погрішності відносно орієнтації об’єктів складання. Практика експлуатації складального устаткування показує, що цей шлях є більш ефективним з погляду забезпечення надійності і достатньої продуктивності устаткування.

Компенсацію неточності взаємної орієнтації деталей можливо здійснювати пасивною або активною корекцією положення об’єктів складання.

В залежності від умов жорсткого базування, при якому активними силами впливу на деталь є складальні зусилля F й сила тяжіння mg (де: m – маса приєднувальної деталі; g – прискорення вільного падіння), умови пружного базування характеризуються додатковим впливом на складальні компоненти пружною силою jx або моментом M(jx) сил (де j - жорсткість пружних елементів; x – координата зміщення), сприяючих умовам складання і дозволяючи розширити область допустимих початкових зміщень об’єктів складання. При цьому необхідно, щоб піддатливість елементів значно перевищувала сумарну піддатливість руки маніпулятора, т.е. відповідно $\lambda 1 \geq \lambda 2$. [1]

Разом з тим, метод пасивної корекції, прикладом реалізації якого є пружне базування деталей, допустимих при умові, якщо неузгодженість об’єктів складання не перевищує розмірів направляючих конструктивних елементів деталей (фасок, і т.д.). Незважаючи на це, навіть в цьому випадку не може бути гарантовано 100% складання деталей в наслідок можливості їх відносного перекосу й заклинювання. Тому для складання прецензійних з’єднань пружне базування застосовують тільки в поєднані з одним з методів активної корекції відносно положення складальних компонентів[2].

Ці методи розділяються на дві основні групи: пошукові й адаптивні. Прикладом стохастичного пошуку є орієнтування деталей за допомогою обертаючого потоку газів. метод оснований на газодинамічних процесах, що відбуваються у обертаючому потоку газів й впливаючи на деталі, що складаються, розміщені в цьому потоці[3]. В наслідок чого відбувається суміщення з’єднувальної й базової деталей відповідних мас $m \leq m$ під дією центробіжної сил F(t), створюючи обертовий момент. Даний метод дозволяє здійснити складання циліндричних, різьбових, шпоночних й шліцевих з’єднань, забезпечує при цьому високу продуктивність складання в умовах масового виробництва. Але обмеження, що накладаються типорозмірами деталей на параметри газодинамічної труби, не дозволяє в повній мірі ефективно використовувати цей метод в умовах мало серійного виробництва, що характеризується широкою номенклатурою з’єднань не тіль по виду, а й по типорозмірам деталей, що складають.

Другим ефективним методом активної корекції відносного положення об’єктів складання є траєкторний авто пошук. Суть цього методу полягає в тому, що з з’єднувальних деталей (іноді обома) при пружнім базуванні сповіщають переміщення по заданій траєкторії, т.е. проходить пошук,

сканування області неузгодженості об'єктів складання, кінцевою метою якого є компенсація похибки відносної орієнтації й суміщення контурів чи геометричних осей з'єднувальних поверхонь.

Параметри траєкторії – амплітуда ai й крок si пошуку залежать від величини похибки орієнтації, точності з'єднань, допустимого зміщення й етапу з'єднувальних об'єктів складання. Активними силами є рушійна сила пошуку F(t), що є функцією часу й змінюється по періодичному закону, складальні зусилля P, а також пружною силою jx базових елементів, характеризується їх жорсткістю й величиною деформації при суміщені по відповідній координатній вісі [2].

Дослідження процесу складання деталей за допомогою авто пошуку й створенню функціональних пристроїв складальних автоматів, реалізуючи даний метод, присвячено багато робіт [4,5,6,7].

В основу запропонованого методу поставлено задачу підвищення точності й швидкості автоматизованого складання деталей типу вал – втулка. Розроблений спосіб маніпулювання реалізується шляхом того, що деталь типу втулка закріплюється нерухомо, і орієнтується на поверхні за допомогою заживних пристроїв, а вал орієнтують в захваті за допомогою захватних пристроїв. Вал розміщений в захваті транспортують в зону складання маніпулятором промислового робота, піджимають до робочої поверхні втулки й задають йому пошуковий рух, при після здійснення кожного пошукового руху реєструють зменшення зусиль підтискання при збігу з'єднувальних поверхонь, при не поєднані осей з'єднувальних деталей проводять повторно авто пошукові рухи до того часу поки не відбудеться повне поєднання осей деталей, що з'єднуються.

В приладобудуванні, при проведені корекції під час складання деталей типу вал – втулка за допомогою промислових роботів використовують різноманітні способи маніпулювання деталей. За допомогою даних способів проводять авто пошукові дії, корекцію положення деталей одна відносно іншої. Для різних видів виробництва застосовують різні способи маніпулювання, в залежності від точності складання часу який затрачується на проведення даних дій. Для того щоб прискорити і вдосконалити процес авто пошуку, розроблюється новий метод маніпулювання для роботизованого складання деталей типу вал - втулка.

Поставлена задача досягається тим, що складання деталей типу вал – втулка, при нерухомому закріплені деталі типу втулка вал орієнтують за допомогою захватних пристроїв, транспортують в зону складання, підтискають до робочої поверхні втулки й задають закон пошукового руху з максимальною амплітудою, фіксують дотик з'єднувальних деталей, змінюють амплітуду, проводять корекцію положення деталей одна відносно іншої. Після проведення процесу корекції повторно задають пошуковий рух, але з меншою амплітудою коливань, далі задають переміщення по осі з'єднання, якщо спів падіння осей не відбулося і процес складання провести не можливо проводиться повторна корекція положення деталі і проведення авто пошукових рухів до тих пір поки не відбудеться повний збіг осей деталей, після чого проводять остаточне з'єднання.

Виконання способу маніпулювання можливе із-за конструктивних особливостей захвату з авто пошуковим модулем. Особливістю є використання в конструкції п'єзоелементів. За вдяки фізичним особливостям п'єзоелементів можливо виконувати різноманітні авто пошукові рухи.

В залежності від умов складання на п'єзоелемента задається різноманітний по амплітуді електричний сигнал, що приводить до змінення форми п'єзоелемента, він може, як збільшитися так і зменшитись. Використовуючи властивості п'єзо елемента задають закон пошукового руху з максимальною амплітудою.

Після проведення авто пошукових рухів реєструють зменшення зусиль підтискання при збігу з'єднувальних поверхонь, змінюють амплітуду пошукових рухів, задають переміщення по осі з'єднання, і проводять процес складання деталей типу вал - втулка при мінімальному значені амплітуди.

ВИСНОВОК

Для використання того чи іншого способу маніпулювання на виробництві чи дослідницьких цілях необхідно застосовувати захвати з авто пошуковими модулями. В світі є багато різноманітних конструкцій захватів в залежності від виду виробництва умов складання і призначення захвату, вони мають різне призначення. Для здійснення розробленого методу маніпулювання необхідно використовувати захват з авто пошуковим модулем. Так як для здійснення методу вже розробленого захвату не було знайдено, тому було проведено розробку нового захвату з авто пошуковим модулем для виконання розробленого способу маніпулювання.

Запропонований спосіб маніпулювання при складані деталей типу вал втулка, дозволяє підвищити якість складання зменшити затрати часу на пошукові дії маніпулятором, зменшити машинний час, збільшити продуктивність, а також збільшити можливості застосування в різних умовах і на різних видах виробництва від штучного до масового виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] А.А Гусев Адаптивні пристрої складальних машин. – *М.: Машинобудування, 25-34 с.1979.*

[2] Л.С. Ямпольский, О.Н. Калін, М.М. Ткач Гнучкі автоматизовані виробничі системи. *К: Техніка, 42-76 с.1985*.

[3] А.В. Воронін, Д.М. Левчук, Автоматичне складання з'єднань з зазором у обертаючому потоці газів .- *М.: Машинобудування, 54-67 с.1976*.

[4] В.Н. Давигора, Автопошукові модулі багато номенклатурних складальних машин. – *К.: Знання. 22-46 с.*1981.

[5] В.Н. Боміру, В.А. Добзов, Визначення еффективності методів відносного орінтування при автоматизованому складані. –*Рига.: Знання. 12-48 с. 1972*.

[6] В.Н. Кабанов, В.А. Яхимович, Оцінка еффективності скануючих розгорток складальних автоматів. *Київ Приладобудування. 65-98с. 1977*.

[7] М.С. Лебедовский, А.І. Федотов, В.Л. Вейц, Наукові основи автоматичного складання . – *Л.: Машинобудування, 22-68 с.1985*.

УДК 681.865.8

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

АВТОМАТИЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Анотація. В статті розглянуто структуру систем керування безпілотними літальними апаратами та представлено елементи вдосконалення схем керування безпілотниками, а саме функціональна схема системи управління БПЛА та блок-схема комплексування модуля магнітометрів, пірогоризонта та модуля GPS/ ГЛОНАСС

Ключові слова : БПЛА, система управління, автоматизація, стабілізація, керування.

ВСТУП

Ефективне функціонування безпілотних літальних апаратів в складі аеромобільних комплексів, забезпечується автоматичною системою керування (САК), що забезпечує виконання наступних завдань:

- забезпечує необхідні динамічні властивості безпілотного літального апарата;
- стабілізує кутове положення;
- автоматизує траекторне керування.

Система керування БПЛА в не залежності від галузі використання, та сфери діяльності в якій застосовують безпілотник, повинна бути стійкою в експлуатації. Стійкість системи управління БПЛА визначається, як здатність системи керування БПЛА продовжувати справно виконувати свої функції, навіть за наявності пошкоджень в різних частинах СК БПЛА. Такі завдання вирішуються за допомогою дворівневої організації керування, при якій другий рівень керування адаптований до певних умов. Цю адаптацію можна представити як перебудову параметрів або перехід до нової структури системи керування першого рівня. Другий рівень це програмне забезпечення, здатне при відмовах будь-яких систем вибирати альтернативні алгоритми управління для продовження польоту, його також називають «інтелектуальний» модуль авіоніки.

Авіоніка БПЛА - комплекс апаратно-програмних засобів, що знаходяться на борту безпілотного літального апарату, тобто бортова апаратура керування (БАК), що забезпечує справне виконання всіх режимів польоту. Авіоніка приймає сигнал від наземної системи керування через спеціальний радіоканал зв'язку з наземною апаратурою керування (НАК). Безпілотний літальний апарат, як об'єкт керування, кермові приводи органів управління, БАК і НАК утворюють систему автоматичного керування (САК) БПЛА. Функціональна схема системи управління БПЛА приведена на рисунку 1.

Бортова і наземна апаратура управління повинна забезпечити такі режими польоту БПЛА:

- зліт і посадка в автоматичному режимі (можливі також ручний режим зльоту і посадки з управлінням по радіоканалу оператором);
- політ в напівавтоматичному режимі з управлінням по радіоканалу з коригуванням дій оператора бортовою апаратурою керування (БАК);

- політ в автоматичному режимі по контрольним точкам з одночасною посилкою телеметрії на наземну апаратуру керування (НАК).

РЕЖИМИ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ

В ручному режимі оператор, візуально оцінюючи поведінку (стан) БПЛА, за допомогою НАУ відхиляє органи управління (кермо, органи управління двигуном), що приводяться в рух сервоприводами. Напівавтоматичний режим можливий в радіусі дії радіоканалу, який для малорозмірних БПЛА без застосування спеціальних радіоантен знаходиться в межах 2500 м.

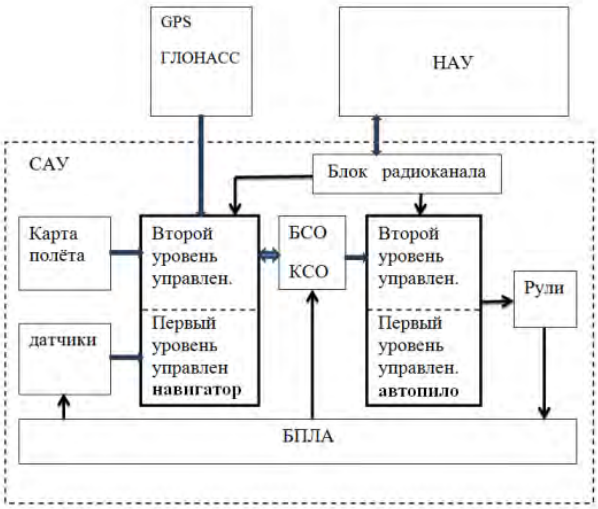


Рисунок 1 - Функціональна схема системи управління БПЛА

Напівавтоматичний режим управління в даному випадку здійснюється за допомогою інформації про просторове положення БПЛА, одержуваної по радіоканалу і відображається на віртуальній приладовій панелі НАК. Дії оператора в цьому режимі управління коригуються САК, яка виконує функції автопілота, що не допускає потенційно небезпечних параметрів руху БПЛА.

У напівавтоматичному режимі САК БПЛА забезпечує два інформаційних потоки через радіоканал:

-від блоку ручного управління до пристрою управління автопілота;

-від датчиків і системи орієнтації через модуль навігатор, інтерфейс телеметрії на пристрій візуалізації параметрів польоту.

У напівавтоматичному режимі польоту БПЛА модуль автопілота здійснює контроль за командами НАК:

- отримує по радіоканалу команду від НАК;

- отримує поточну інформації про кутовий орієнтації БПЛА і кутових швидкостях по двох осях (кут крену і кут тангажа) від системи орієнтації. При цьому використовується комплексування систем орієнтації.

В автоматичному режимі польоту керування відбувається за системою "наведення стабілізація". Модуль навігатора виконує команду наведення (що включає потрібний напрямок польоту та поточний напрямок польоту, обчислений за сигналами систем орієнтації, навігації та датчиків).

КОМПЛЕКСУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Крім траекторного керування, зазвичай, здійснюються кутова стабілізація і керування кутовим положенням БПЛА. Найважливішими завданнями при створенні такого керування БПЛА- це забезпечення стійкості руху на всіх режимах польоту з урахуванням усіх можливих перешкод та відхилень, досягнення точності виконання цільового призначення літального апарату та забезпечення живучості системи керування при заданих відмовах, викликаних зовнішнім впливом, в системі керування.

При польоті в автоматичному режимі, безпілотник повинен літати на малих висотах з можливістю підлаштовуватися під рельєф місцевості. При цьому повинна бути забезпечена висока точність дотримання висоти в межах трьох метрів. Створення інтелектуальної системи автоматичного керування БПЛА, ядром якої є бортова апаратура керування (Авіоніка), можливо тільки при використанні в системі керування інтегрованої системи орієнтації та налаштування коефіцієнтів автопілота на задані режими польоту БПЛА. Зокрема, повинні бути передбачені варіанти виходу з критичних режимів польоту, наприклад з крену, який може виникнути внаслідок пориву вітру при здійсненні маневру по розвороту.

Основна мета комплексування (об'єднання) систем орієнтації і навігації полягає в підвищенні точності визначення навігаційних і кутових параметрів орієнтації БПЛА. Це дозволяє реалізувати фільтр Калмана для оцінки систематичних помилок X, Y, Z, магнітних датчиків. Такий спосіб комплексування підвищує точність визначення кутів тангажу θ і крену γ і усуває помилки, пов'язані з наявністю залишкових некомпенсованих магнітних перешкод і помилку, обумовлену кутом ковзання БПЛЛ.

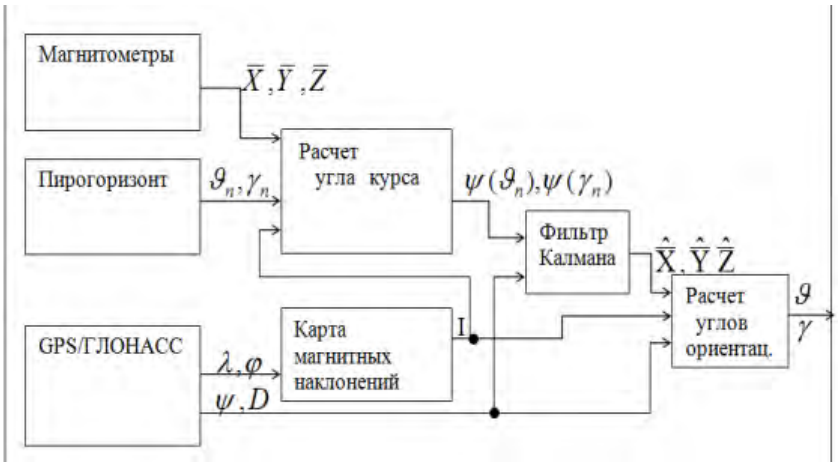


Рисунок 2. Блок-схема комплексування модуля магнітометрів, пірогоризонта і модуля GPS / ГЛОНАСС

ВИСНОВКИ

Використання методів оптимальної калманівської фільтрації передбачає, що параметри стохастичного опису збурень і помилок вимірювань відомі точно. На практиці, в разі невизначеності параметрів, настройка фільтра виробляється на апріорні моделі збурень і помилок вимірювань, що призводить

до додаткових втрат в точності оцінювання. В цьому випадку ковариаційна матриця не є оцінкою точності вектора стану, тобто фільтр неправильно формує точнісну характеристику (ковариацію помилки оцінювання) разом з оцінкою вектора стану. Для підвищення точності вектора стану, разом з калмановської фільтрацією розроблений алгоритм нейромережевої апроксимації довільної щільності розподілу ймовірності. Нейромережі можуть навчатися на реальних вимірах, а не на моделі похибок, що дозволяє обійти невизначеності моделі.

Перспектива в розробці САК БПЛА полягає в створенні "інтелектуальної" авіоніки, з програмним забезпеченням, що здатне при відмовах будь-яких систем вибирати альтернативні алгоритми керування для продовження польоту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Распопов В. Я. Микросистемная авионика. Тула: «Гриф и К», 2010.-248с.:
[2] Н.А.Северцев, А.Н.Катулев. Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечение безопасности. Тверь 1999.
[3] А.В.Бецков Формирование и функционирование аэромобильных комплексов МВД России. М.: ТЕИС, 2010.
[4] Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002.
[5] Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. англ. М. Издательский дом "Вильямс", 2006. 1104 с.: ил.Парал. тит. англ.
[6] В.Г.Курбанов. Математические методы в теории управления. Санкт-Петербург 2009.
[7] В.А.Чулюков, И.Ф.Астахова, А.С.Потапов, И.Л.Каширина, Л.С.Миловская, М.В.Богданова, Ю.В.Просветова. Системы искусственного интеллекта. Практический курс. М.: Бином. Лаборатория знаний .2008.

УДК 004.031.2

О.В. Кирієнко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВІТРОДВИГУНА

Анотація. У розглянутій у статті проведено аналіз на прикладі системи оперативного моніторингу RemoteXY яка використовується для моніторингу стану вітродвигуна. Було досліджено необхідність використання даної системи, а також нюанси та проблеми, які виникають під час експлуатації вітродвигуна. 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. Сучасний та нестандартний підхід забезпечує ефективну роботу вітродвигунів, належний контроль за його роботою, а також своєчасне інформування в разі виникнення позаштатних ситуацій під час його роботи.

Ключові слова: вітродвигун, RemoteXY, Arduino, смартфон, «розумний» будинок.

ВСТУП

На сьогоднішній день в сучасному світі швидкими темпами розвивається електроніка та IT-сфера, що в свою чергу зробило можливим існування систем «розумний» дім та розвинути «зелену» енергетику як альтернативне живлення дому в автономному режимі. В якосні 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 персонально комп’ютера та смартфону, в наслідок чого це надає віддалений доступ через мережу 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. А так як вітродвигун виконує функцію відновлюваного джерела енергії для роботи інших пристроїв «розумного» дому виникає потреба у віддаленому доступі моніторингу його стану роботи за допомогою програми RemoteXY. RemoteXY - це система розробки і використання мобільних графічних інтерфейсів для управління контролерами зі смартфона або планшета [3]. До складу системи входять редактор мобільних графічних інтерфейсів для контролерів, розміщений на сайті remotexy.com та мобільний додаток RemoteXY, що дозволяє підключатися до контролера і відображати графічні інтерфейси.

RemoteXY перетворює смартфон в пульт дистанційного керування системою автоматизації безпосередньо в своєму будинку (дивись рис. 1).

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.

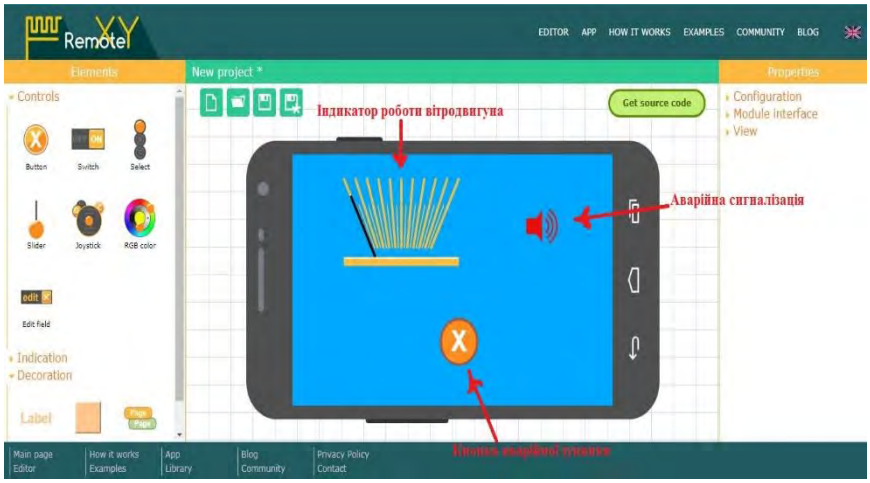


Рисунок 1. Графічний інтерфейс програми RemoteXY

По-перше, вони дуже громіздкі, по-друге, у них дуже високий цінник. Тобто, в порівнянні зі смартфоном й іншими гаджетами ціна на їх досить завелика. Щоб зв’язати мобільний додаток і вітродвигун та інші системи «розумного» дому використану просту і доступну платформу Arduino (Ардуіно) - апаратну обчислювальну платформу для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є спрощеною підмножиною C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так й підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері [4].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час роботи вітродвигуна можуть з’являтися стрибки потужності викликані поривами вітру, які можуть пошкодити обмотку генератора вітродвигуна та допоміжного обладнання. Для вимірювання потужності в системі моніторингу стану вітродвигуна встановлено вимірювач сили струму за допомогою датчика SCT-013-030 (дивись рис. 2) [4], що використано як вимірювальний трансформатор, де роль первинної обмотки грає провід з вимірюваним струмом. Такі трансформатори виконуються на замкнутих сердечниках у вигляді кільця з феромагнетичних матеріалів, причому сердечник деяких моделей має розріз, через який в отвір кільця вводиться провід.

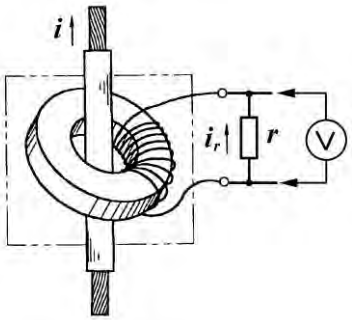
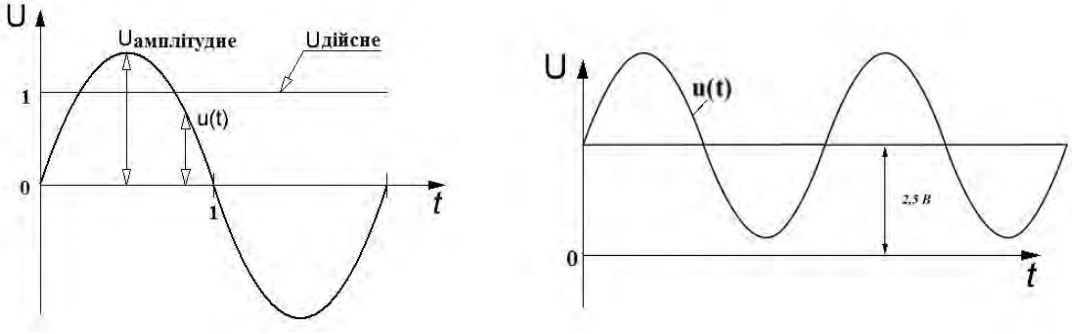


Рисунок 2. Датчик струму

При протіканні змінного струму по дроту, в котушці виникне ЕРС, а якщо до неї підключити амперметр, то ланцюг замкнеться й прилад покаже струм, пропорційний вимірюваній.

Для підключення датчика SCT-013-030 до аналогового порту Arduino, на його вихід підключено резистор (дивись рис. 4). Arduino чекає на аналоговому вході напруга в межах від 0 до 5 В, а з датчика випливає щось в межах від -1 В до +1 В (дивись рис. 3, а).



а) б)

Рисунок 3. Графіки напруг

Таку синусоїду потрібно «підняти» над віссю t, вивести цілком в позитивну область. Це можна зробити, додавши до u(t) половину напруги живлення Arduino (дивись рис. 3, б).

Для цього підключимо датчик до +5 В через дільник напруги. Для боротьби з можливими перешкодами додамо в схему конденсатор.

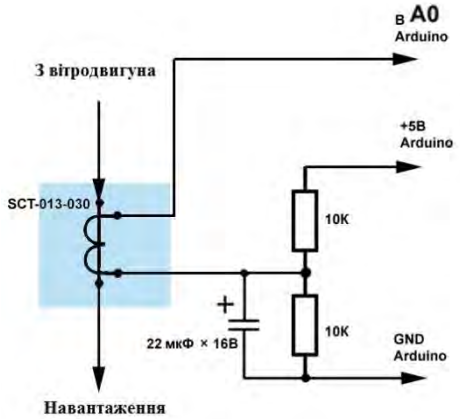


Рисунок 4. Схема підключення датчика SCT-013-030

Як навантаження використано навантажувальний опір. Струм через нього становить майже рівно 7 А. Після зібраної схеми пишемо простий скетч для Arduino:

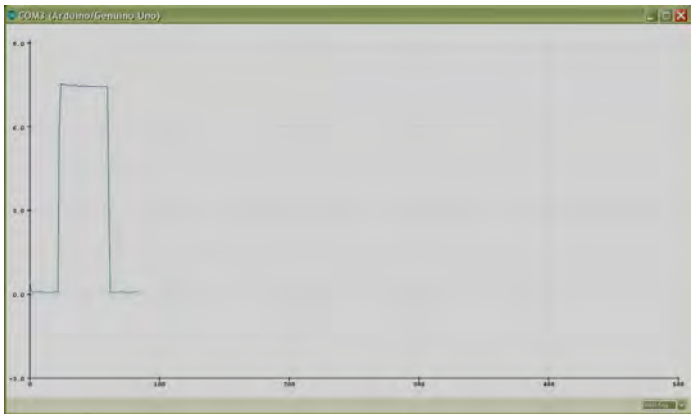
void setup () {Serial.begin (9600); } Void loop () {int x = analogRead (0); Serial.println (x);}

Встановлюємо бібліотеку і переписуємо наш скетч. Можна взяти і готовий приклад з бібліотеки.

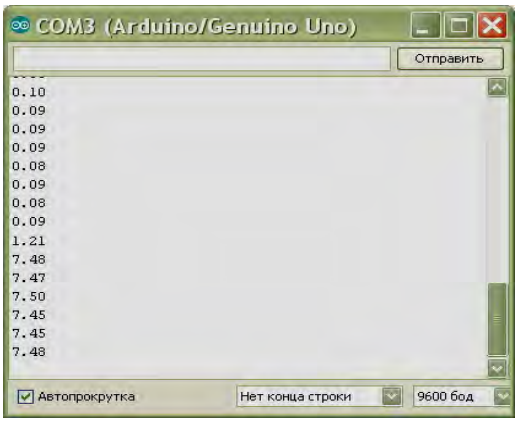
```
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;
void setup ()
{Serial.begin (9600); emon1.current (0, 30); }
void loop ()
{Double Irms = emon1.calcIrms (1480); Serial.println (Irms); }
```

Функція emon1.current (0, 30) має два параметри. Перший - номер аналогового порту, куди підключений датчик (A0) (дивись рис. 5 а). Другий - калібрувальний коефіцієнт, який виходить розподілом максимального значення вимірюваного струму на максимальне значення вихідної напруги датчика. В нас 30/1 = 30 (дивись рис. 5 б).

Функція emon1.calcIrms (1480), яка видає діюче значення струму Irms (від англ. Root-mean-square), має в параметрі число 1480. Це означає, що вимірювання проводяться 1480 раз за 14 періодів зміни струму, що становить приблизно 106 вимірювань за один період. Змінювати цей параметр не варто.



а



б

Рисунок 5. Отримані значення струму в програмі Arduino

На основі отриманих даних будуємо математичну модель, яка дозволить керувати роботою вітродвигуна. Підключення через хмарний сервер RemoteXY дозволяє управляти пристроєм з будь-якої точки світу де є Інтернет. Модуль ESP буде налаштований як клієнт для підключення до точки доступу WiFi.[3].

ВИСНОВКИ

Отже, використовуючи програму RemoteXY на своєму смартфоні, ми можемо отримувати дані про стан вітродвигуна в режимі реального часу та керувати ним знаходячись на великій відстані від дому. В поєднанні з мобільним додатком RemoteXY і платформи Arduino роботу «розумного» дому та його гаджетів перевести в автоматичний режим з автономним живленням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Розумний будинок. Режим доступу: https://www.smarthouse.ua/ua/umnyj_dom.html
[2] Gregersen E. “Wind power”, – 2020. – Режим доступу: https://www.britannica.com/science/wind-power
[3] https://remotexy.com/ - офіційний сайт додатку RemoteXY
[4] https://www.arduino.cc/ - офіційний сайт платформи arduino

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

УДК 658.6

В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-91 мп, к.т.н., доц. Шевченко В. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Анотація. Найбільш перспективним напрямком підвищення ефективності обробки деталей приладів на верстатах з числовим програмним управлінням є впровадження систем адаптивного керування. Системи адаптивного керування, оцінюючи знос абразивного інструменту, можуть організовувати оптимальні, з точки зору продуктивності, режими обробки.

Ключові слова: адаптивне керування, процес різання, підвищення ефективності та точності.

ВСТУП

Підвищення ефективності та точності на верстатах з ЧПУ являє собою комплексну і найбільш важливу задачу у досягненні якості нової продукції. В умовах автоматизації підвищення ефективності виробництва і забезпечення високої якості обробки деталей приладів займають особливе місце. Динамічні процеси, що відбуваються при обробці на верстатах з ЧПУ, мають вирішальний вплив на точність і стійкість обробки, визначаючи можливість застосування раціональних режимів різання, умови обслуговування верстата [1].

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесу обробки деталей приладів на верстатах з ЧПУ шляхом впровадження системи адаптивного керування. При механообробці особливо важкооброблюваних матеріалів інструмент схильний до зношування. Нестабільність властивостей інструментального та оброблюваного матеріалу обумовлюється неможливість надійно прогнозувати поточний стан інструменту, а, отже, гарантувати надійність здійснення процесу обробки деталей[2].

Контроль працездатності різального інструменту передбачає реєстрацію критичного зношування різального інструменту і його поломку, а також визначення моментів початку і кінця різання. Для чистових операцій основною функцією засобів контролю буде реєстрація критичного зношування різального інструменту.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПУ

Найбільш інформаційними параметрами, на підставі яких можна з упевненістю судити про стан різального інструменту, є акустична емісія.

Тому, система контролю зношування різального інструменту повинна бути заснована на вивченні природи виникнення при різанні, сигналу акустичної емісії [3].

Одним із найважливіших застосувань методу акустичної емісії в діагностиці умов обробки є активний контроль і прогнозування стану різальних кромок інструмента без переривання робочого циклу виготовлення деталей.

Реальний розкид технологічних факторів, які впливають на стійкість інструмента у виробничих умовах, не дозволяє надійно прогнозувати зношування різальних кромок і призводить до необхідності їх активного

контролю. Примусова заміна інструменту на автоматизованому металорізальному обладнанні після обробки заданого числа деталей незалежно від його фактичного зношування економічно недоцільна, а також не дає повної гарантії безаварійної роботи інструменту через сколювання, поломки, викришування.

Наявність кореляційного зв'язку між параметрами акустичної емісії і зношуванням основана на наступному. Сигнал акустичної емісії при різанні складається із постійної і змінної складової. Постійна складова несе інформацію про сукупність процесів руйнування, пластичної деформації і тертя, які супроводжують утворення елемента зрізаємого шару. Змінна складова враховує вплив нестаціонарних ефектів, в першу чергу зношування, тобто збільшення площі контакту поверхонь. Таким чином створюються фізичні посилання для ідентифікації зношування інструменту шляхом виділення з загального рівня сигналу акустичної емісії змінної в часі складової при збереженні всіх інших умов обробки постійними. Крім того, оскільки зношування інструмента є необоротним процесом з термодинамічних позицій, то залежність сигналу акустичної емісії від зношування повинна бути однозначною і монотонно змінюватись [4].

Система контролю зношування різального інструменту, що базується на вимірюванні сигналу акустичної емісії має наступні переваги:

- швидке реагування на аварійну ситуацію;
- можливість обробки всіх видів матеріалів;
- нема потреби вносити зміни в конструкцію верстата;
- система є більш стійкою до збоїв (прийняття правильних рішень);
- висока надійність та низька вартість устаткування.

Система контролю зношування різального інструменту складається з датчика вимірювання сигналу акустичної емісії 1 (рис. 1) сигнал від якого через підсилювач 2 і фільтр низьких частот 3 надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 10. Інший діагностичний сигнал у вигляді блоку потужності двигуна головного руху 4, передається на підсилювач 5. Модулятор 7 здійснює модуляцію сигналу потужності. Далі сигнал поступає в блок порівняння 8. Цей блок, з урахуванням коригувальний параметрів, передає інформацію про відхиленнях від норми на блок прийняття рішень 9 і, також надходить на вхід АЦП. Подальша обробка та аналіз виміряних параметрів проводиться за допомогою ЕОМ, до складу якої входять: блок оцінки інтенсивності і розміру зношування 11, де на підставі даних про максимальне і мінімальне значення сигналу потужності 12 здійсниться моніторинг аварійного стану, в разі виходу значення сигналу потужності з допустимих меж на виконуючий механізм 19 (блок керування двигунами, блок управління приводом подачі тощо) подаються відповідні сигнали аварійної зупинки. Також в блоці 11 визначається інтенсивність та значення зношування різального інструменту, при якому використовуються поправочні коефіцієнти, які знаходяться в БД 13.

При оцінці зношування інструменту враховуються режими обробки, які передаються в блок 11 від блоку ЧПУ. Після визначення зношування, дані, про

нього, передаються в блок 14, де відбувається моделювання процесу обробки, за допомогою якого обчислюється залишкова стійкість інструменту, а також проводиться прогнозування зношування інструменту, на підставі даних отриманих від блоку ЧПУ.

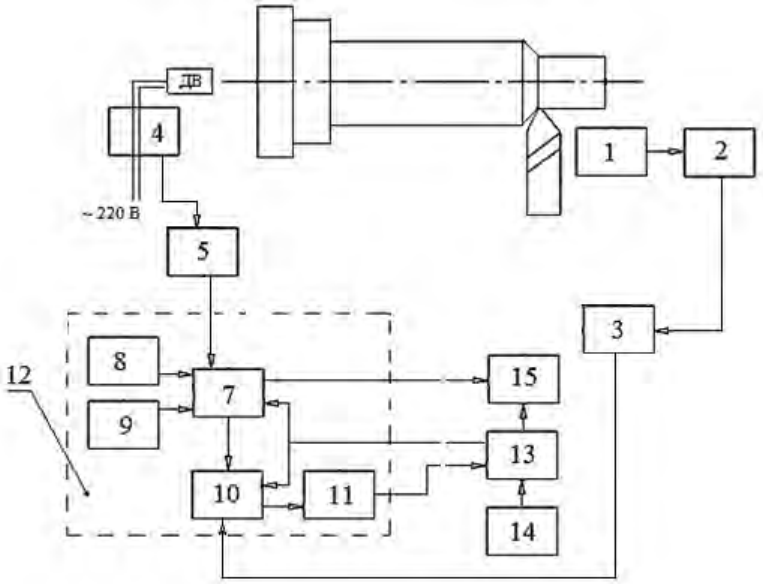


Рис. 1. Структурна схема системи адаптивного керування.

У блоці 15 формуються керуючі, корекційні сигнали по зміні режимів обробки, які надходять на блок ЧПУ. У разі коли корекція процесу обробки неможлива, здійснюється зупинка процесу обробки або заміна різального інструменту. У блоці ЧПУ, на підставі керуючих сигналів від блоку 15, вносяться зміни до команди управління, які надходять на виконуючі механізми.

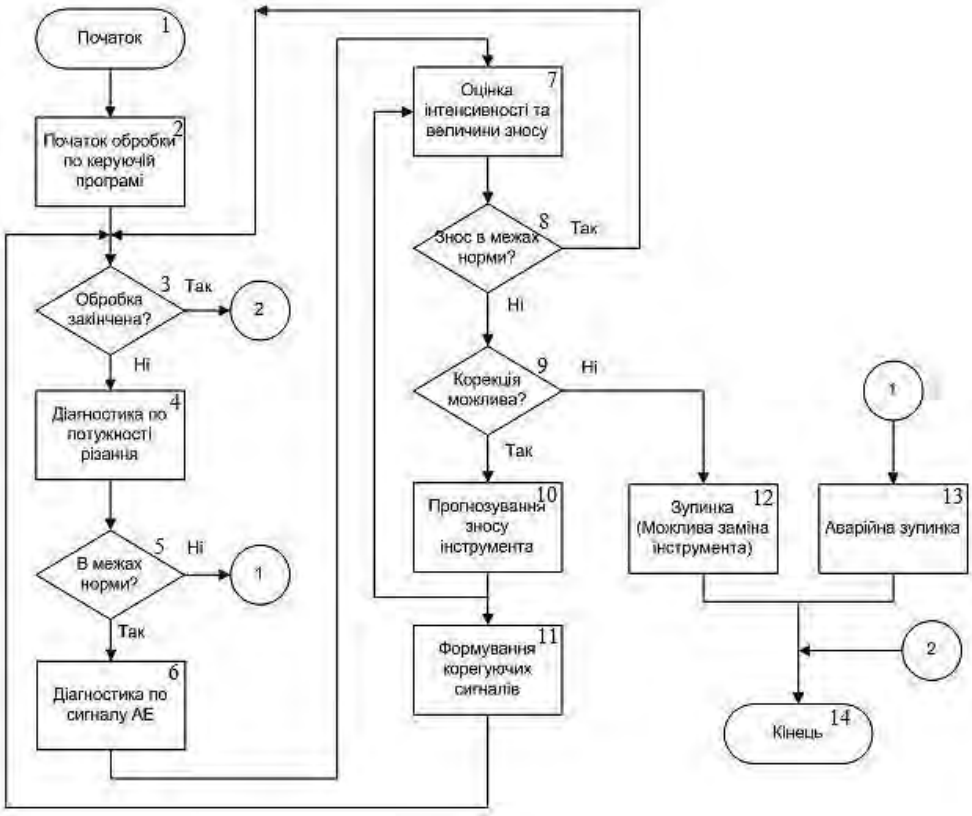


Рис. 2. Алгоритм функціонування системи контролю зношування різального інструменту.

На основі розглянутої раніше структурної схеми системи контролю зношування різального інструменту було розроблено алгоритм функціонування даної системи, який приведено на рис. 2. По розробленому алгоритму дуже легко зрозуміти принцип функціонування адаптивної системи керування.

Блок 2 відповідає за підготовку до обробки та початок обробки заготовки згідно керуючої програми (КП). Блок 4 відповідає за визначення потужності двигуна головного руху, що включає вимірювання потужності двигуна та розрахунок дійсного його значення. В блоці 5 відбувається перевірка значення визначеного сигналу потужності двигуна головного руху із допустимими і у випадку коли сигнал знаходиться в допустимих межах далі проводиться діагностика зношування різального інструменту по сигналу акустичної емісії (блок 6), а у випадку коли значення сигналу виходить за допустимі межі відбувається аварійна зупинка обробки (блок 13).

Після визначення величини зношування різального інструменту відбувається його оцінка (блок 7), після чого в блоці 8 відбувається перевірка величини визначеного зношування із прогнозованим, якщо відхилення не перевищує допустиме значення то, обробка продовжується та відбувається повторне дослідження (блоки 3-8), в іншому випадку оцінюється можливість проведення корекції режимів обробки (блок 9) задля повернення інтенсивності зношування до нормального значення. Якщо корекція неможлива відбувається зупинка процесу обробки або заміна різального інструменту (блок 12), в іншому випадку проводиться прогнозування зношування (блок 10) та формування корегуючих сигналів (блок 11), після чого відбувається внесення поправок до програми керування та продовження обробки.

ВИСНОВОК

Впровадження розробленої системи адаптивного керування обробки деталей приладів на верстатах з ЧПУ в умовах автоматизованого виробництва дозволить підвищити ефективність, точність обробки, якість деталей, знизити кількість бракованих деталей, знизити собівартість деталей, а також значно підвищити продуктивність обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Ковалёв В. Д., Куриленко Я. С. Пути повышения точности тяжелых станков с ЧПУ. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. Краматорськ, 2006. Вип. 20. С. 98–102.

[2] Панов А.А. Обработка металов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин и др. М.: Машиностроение, 2004. – 416 с.

[3] Попов В.С. Зносостійкість, сплавів відновлення та зміцнення деталей машин / В.С. Попов. – Запоріжжя: Видавництво ВАТ «Мотор Січ», 2006. – 420 с.

[4] Сарилов М.Ю., Максимов А.Ю. Контрольно-измерительный комплекс для контроля износа режущего инструмента. [Патент RU 2246072]. - Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – 2001.

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

УДК 519.682.6

К.О. Кулик, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

Анотація. В статті розглядається питання моделювання динамічних дискретних систем. Визначається роль імітаційного моделювання у виробництві, можливості цього моделювання та його особливості.

Ключові слова: виробництво, динамічна система, дискретний процес, моделювання, імітаційне моделювання.

ВСТУП

До дискретних динамічних систем відносять такі динамічні системи, в яких процеси формуються лише в окремі моменти часу хоча б в одному із елементів їх структури [1].

Очевидно, що будь-яка лінійна автоматична система з комп'ютером у замкнутому контурі, який в принципі працює виключно лише з дискретними величинами, належить до класу дискретних динамічних систем.

Використовуючи модель динамічного дискретного процесу, можна уточнювати та визначати ймовірнісні характеристики параметрів, виявляти конкретні зв'язки між ними (наприклад, між рівнем завантаження виробничої дільниці, середнім часом зберігання заготовок і середнім часом, необхідним для виконання технологічної операції, тощо) [1].

Важлива перевага методів моделювання динамічних систем полягає в тому, що вони дозволяють різко скоротити обсяг і масштаби натурних експериментів. Математичне моделювання незамінне там, де натурний експеримент може стати небезпечним або вартісним.

Основою моделювання є теорія подібності, яка стверджує, що абсолютна подібність має місце лише за умови заміни одного об’єкта іншим, точно таким самим.

При моделюванні абсолютна подібність не має місця, вимагається лише, щоб модель достатньо адекватно відображала властивості функціонування об’єкта, що досліджується.

Залежно від характеру процесів математичні моделі можна поділити на детерміновані та стохастичні, статичні й динамічні, дискретні, дискретно-неперервні й неперервні.

Детерміноване моделювання відображає детерміновані процеси, тобто процеси, в яких припускають повну відсутність випадкових впливів. Стохастичне моделювання відображає ймовірнісні події та процеси. При моделюванні аналізують низку реалізацій випадкового процесу та оцінюють його характеристики, тобто набір однорідних реалізацій. Статичне моделювання передбачає незмінність досліджуваного явища в часі. Динамічне моделювання служить для опису поведінки об’єкта в будь-який довільний змінний момент часу. Дискретні, дискретно-неперервні й неперервні математичні моделі є конкретизацією динамічних моделей [2].

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Алгоритми та комп'ютерні програми дозволяють наочно уявити досліджуваний об'єкт за допомогою імітації або графічного відображення математичних залежностей, що описують досліджуваний об'єкт.

Відповідно. розрізняють фізичне, математичне і комп'ютерне моделювання. Між класами систем і моделей необов'язково має існувати однозначна відповідність. Наприклад, дискретні системи можуть бути представлені у вигляді безперервних моделей, а детерміновані системи – в вигляді імовірнісних моделей, і навпаки. Основна увага приділяється математичному моделюванню, що широко використовується при дослідженні складних технічних систем, таких як динамічні дискретні системи [3].

Об'єктами моделювання в техніці, в загальному випадку, є системи і комплекси, що мають структурну і функціональну організацію. Структура системи може бути задана в графічній або аналітичній формі. Функція системи може бути задана в алгоритмічній, аналітичній, графічній або табличній формі.

Системі притаманні такі властивості як цілісність, зв'язність, організованість і інтегрованість. Наявність цих властивостей означає, що систему не можна розглядати як просту сукупність елементів, оскільки, вивчаючи кожен елемент системи окремо, не можна пізнати всі властивості системи в цілому [3].

Моделювання направлено на вирішення задач аналізу, що пов'язані з оцінкою ефективності систем, і синтезу, спрямованих на побудову оптимальних систем відповідно до обраного критерію ефективності.

Ефективність системи задається у вигляді сукупності показників ефективності, кожен з яких слугує мірою одної властивості системи. Міра ефективності, узагальнююча всі або деякі, найбільш істотні, властивості системи в одній оцінці є критерієм ефективності.

Для кількісного опису системи використовують параметри, що описують первинні властивості системи, і характеристики, які визначаються в процесі вирішення завдань аналізу як функції параметрів.

Множину параметрів технічних систем можна поділити на внутрішні (структурні і функціональні) і зовнішні (навантажувальні і параметри зовнішнього середовища) [3].

Параметри можуть бути детермінованими або випадковими і керованими або некерованими. Основними характеристиками технічних систем є наведені цифри щодо оперативності, надійності і вартості.

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

Динамічні задачі характеризуються великою кількістю структурних станів, послідовністю переходів відповідно до технологічного процесу і часом перебування в кожному структурному стані.

Логіко-динамічні принципи функціонування широко використовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами безперервних виробництв і там цей принцип є нижнім рівнем в ієрархії управління [4].

Дискретне виробництво – це такий тип виробництва, в якому вихідний матеріал (сировина) при переробці в кінцевий продукт, проходить через кінцеву кількість технологічних і складальних операцій.

Зазвичай початок і закінчення операцій визначається сигналами двохпозиційних датчиків [4].

Дискретний тип виробництва переважає в машинобудуванні, приладобудуванні, легкій промисловості, на підприємствах з випуску меблів, упаковок, в фармацевтиці тощо. За даними Міжнародної асоціації інженерів-технологів, таке виробництво існує більш ніж на 75% промислових підприємств світу. Навіть там, де випуск продукції носить виключно безперервний характер, в якості допоміжних присутні дискретні процеси.

Сучасний рівень автоматизації виробництва, що базується на новітніх інформаційних технологіях, призвів до постановки задачі побудови ефективних автоматизованих систем оперативного диспетчерського управління, що дозволяють значно поліпшити диспетчерський контроль за всіма технологічними етапами виробництва, отримати можливість оперативно контролювати виконання планів виробничими підрозділами з виявленням відхилень на ранніх стадіях і автоматизувати документообіг [4].

Для побудови систем прийняття рішень широко використовуються різні методи моделювання (більш того, головною метою побудови будь-якої моделі і проведення імітації є прийняття рішень).

При побудові моделей процесів, що відбуваються в складних виробничих системах, використовуються різні аналітичні і імітаційні схеми математичного моделювання.

Відомо, що побудова аналітичної моделі функціонування виробництва є трудомістким і часто не реалізованим процесом . Єдиним виходом у такій ситуації стає метод імітаційного моделювання, який є ефективним інструментом оцінки характеристик функціонування складних систем на етапах їх дослідження і проектування [5].

Але цим можливості даного методу не обмежуються: в сучасних системах управління, тому імітаційне моделювання використовується безпосередньо в контурі управління, на його основі вирішуються задачі діагностики і прогнозування для прийняття рішень [4].

ВИСНОВКИ

Дискретні динамічні системи є важливою складовою імітаційного моделювання. Складна система включає в себе багато факторів. Процес може мати динамічний характер протікання та представляти собою сукупність дискретних подій пов’язаних у часі.

Саме дискретні динамічні системи мають можливості описувати такі складні об’єкти, що мають місце на виробництві. Імітаційне моделювання використовує дискретні динамічні системи як інструмент для відтворення процесів та подій, що важко або неможливо описати іншими засобами.

При дослідженні та проектування складних процесів, що мають дискретний та динамічний характери, є необхідним застосування особливостей

дискретних динамічних систем для їх опису та проведення експериментів з метою дослідження особливостей та зміни стану в динаміці на протязі певного часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Математичні моделі дискретних детермінованих лінійних динамічних систем з зосередженими параметрами [Електронний ресурс]. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/1mokin_matmetody_identifikaciyi_dinamsystem/2.html.

[2] ВВЕДЕННЯ В МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ [Електронний ресурс].URL: http://www.csc.knu.ua/uk/library/books/khusainov-17.pdf.

[3] МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МСС. [Електронний ресурс].URL: http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/03/MatModelMSSlast.pdf.

[4] Автоматизація виробничих процесів [Електронний ресурс].URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/1551/1/TextbookProts_Sawkiw_Shkodzinskyy_Liashuk-Automation_production_processes_2011.pdf

[5] Кулик К.О. Імітаційне моделювання технологічних процесів. / К.О. Кулик, С.П. Вислоух // Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ”, 10-11 грудня 2019 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – С. 140 – 143.

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

УДК 004.451.64:004.94

Д.В. Кіт, студент гр. ПБ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського»

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ 3Д-ДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНСПЕКЦІЇ

Анотація. У розглянутій статті опрацьовано та проведено аналіз методу геометричної інспекції якості друкованих 3Д деталей. Було досліджено фактори, які впливають на точність друку 3Д деталей. У роботі наведено і описано етапи проведення контролю якості за допомогою сканування. Завдяки застосуванню нових форм і методів контролю якості з поєднанням практики на виробництві дозволяє досягти подальшого професійного вдосконалення виробництва 3D-деталей.

Ключові слова: 3Д друк,3Д, контроль якості.

ВСТУП

Технологію 3D-друку було запатентовано у 80-х роках минулого століття, але популярність вона здобула відносно нещодавно. За весь час існування було розроблено багато нових так перспективних методик і можливостей 3D-технології, які вийшли на абсолютно новий рівень. Але на сьогодні методика відома далеко не у всіх колах. 3D-друк – це методика виготовлення об'ємних виробів на основі цифрових моделей. Незалежно від конкретної технології, суть процесу полягає в поступовому відтворенні об'єктів.[1].

У цьому процесі застосовується спеціальний електронний пристрій – 3D принтер, який друкує певними видами матеріалів. Інші назви технології – швидке прототипування або адитивне виробництво. Часто словосполучення «адитивні технології» використовується в значенні «3D технології».

Завдяки 3D-принтерам можна відновити різні деталі, так, наприклад, автомобілістам зовсім скоро не потрібно буде очікувати зламану запчастину місяцями та переплачувати великим промисловим холдингам. Звідси виникає питання: як перевірити і бути впевненим в тому, що деталь з 3D-принтера прослужить стільки ж, скільки і кована, лита, пресована – зроблена стандартними методами? Як здійснити контроль якості виробів з 3D-принтера?

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження методів контролю якості 3Д-друкованих деталей для вдосконалення моделі виробів та забезпечення їх експлуатаційних характеристик.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Прототипування методом наплавлення (FDM) – один з найбільш поширених та доступних методів моделювання, який полягає в пошаровому накладанні гарячої нитки з плавкого робочого продукту (воску, металу, пластику). Найчастіше використовується для швидкого прототипування різних моделей, наприклад, серійного виробництва деталей.

Технологія FDM користується великим попитом та охоплює багато сфер діяльності. Значна кількість користувачів лише зараз почала стикатися з невідповідністю розмірів моделі та виробу. Тому це потребує деякого контролю геометрії. Бо якщо до точності друку прямолінійних виробів нарікань

практично немає, то друк криволінійних поверхонь проходить зі значно меншою точністю.[2].

Контроль геометрії – це контроль якості. Наприклад, коли підприємство отримує заготівки, які воно має доопрацювати. Якщо здійснювати вхідний контроль цих заготівок, таким чином можна позбутися зайвого головного болю на етапі виготовлення.

Фактори, які впливають на точність 3D друку

Для початку необхідно почати з особливостей роботи CAD-програм. Побудова криволінійних поверхонь за допомогою програмного забезпечення здійснюється за допомогою прямих, тобто, якщо взяти оболонку радіусом R, то вона матиме вигляд набору трикутників (рис 1).

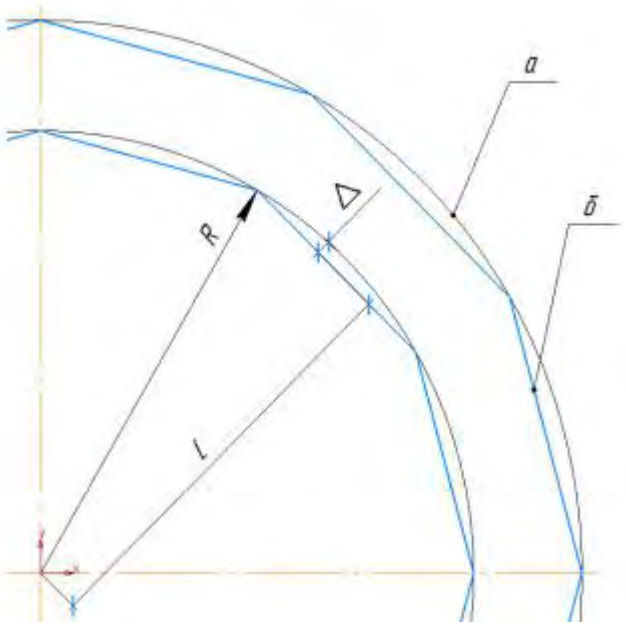


Рисунок 1 – Приклад відтворення криволінійної поверхні CAD програмою (а – криволінійна ділянка, б – результат перетворення криволінійної ділянки)

З цього прикладу зрозуміло, що радіус оболонки зменшиться на величину Δ, що залежить від кроку розбиття ділянки.[3].

Особливості 3D-друку. В разі використання сопла з діаметром некратним товщині стінки алгоритм надає перевагу забезпеченню точності зовнішньої поверхні перед внутрішньою.

Перерозподіл пластичного полімеру в бік центру кривизни поверхні, що друкується. Вплив цього фактору спостерігається не на всіх радіусах кривизни[3].

Контроль якості надрукованих деталей можна проводити різними методами. Наприклад, для контролю заповнення 3Д-друку можу бути використаний ультразвуковий метод.[5]. Даний метод контролю потребує подальших досліджень відносно до 3Д-друку.

Геометричний контроль якості 3D-друку деталей за допомогою сканування. Цикл обробки і лиття становить тиждень, на етапі відливці необхідно зробити отвори, обробити поверхню та інше. У будь-який відливці є припуски, тобто матеріал, який знімається із заготівок при обробці на верстаті.

Якщо при обробці 100 елементів з'ясовується, що на 95-му елементі не вистачає припуску, коли вже зроблено 94 деталі, витрачено час оператора, електрика, зношений ріжучий інструмент, але вся партія є браком. Так відбувається у тому разі, якщо немає вхідного контролю якості заготовок.

Процес контролю геометрії полягає у використані 3D-сканування деталей. У порівняні з традиційними методами контроля, такий метод дає можливість процес виробництва зациклити. Тобто, якщо є серія однакових деталей у кількості 1000 штук, то для того, щоб провести контроль стандартними інструментами – шаблонами, мікрометрами, штангенциркулями та інше, потрібно кожну із 1000 деталей виміряти по списку та на кожну скласти таблицю. Геометричний контроль за допомогою 3D-сканування допомагає це зробити зовсім по-іншому, швидше та більш якісно.

Контроль якості складається з наступних етапів:

1. Сканування.
2. Підготовка до аналізу (робота в ПЗ).
3. Аналіз.
4. Отримання звіту в необхідному вигляді.

В такому разі по відношенню до першої деталі вручну будуть виконуватися перші три пункти (сканування, підготовка до аналізу і безпосередньо аналіз), а звіт складає програма. Усі наступні деталі вручну будуть лише скануватися, а іншу роботу виконуватиме ПЗ. Таким чином, доводиться витрачати час лише на сканування. А у разі контролю геометрії сканування – це зазвичай займає від 5 до 15% витраченого часу, не більше. Отже, при потоковому контролі або контролі серійного виробництва можна значно економити час.

Раніше підприємство могло собі дозволити контролювати лише 1 деталь з 1000, тому що на це йшов день. Впроваджуючи 3D-сканування, можна контролювати якість ста деталей із 1000 всього за два дні. У перший день усі роботи виконуються вручну, і лише ще один день потрібно витратити на 99 деталей – їх треба тільки відсканувати. Після чого всю іншу роботу виконує програмне забезпечення.

Друк 3D-деталей на сьогодні використовується у багатьох сферах. Тому дуже важливо виконувати геометричний контроль якості. Наприклад, зараз багато проектів, які пов'язані з автомобільною промисловістю. Запчастини для автомобілів, як всім відомо, досить дорогі. Їх завжди можна замовити з Китаю, але набагато зручніше налагодити виробництво в Україні. В якості яскравого прикладу можна розглянути контроль геометрії автомобільних деталей. Важливо щоб такі деталі підходили по розміру та не «грали», коли їх намагаються посадити на місце. Геометричний контроль якості дозволяє виявити різницю між оригінальною запчастиною та тією, що була виготовлена за допомогою 3Д-принтеру.

Контроль якості включає в себе і експлуатаційний контроль. Це, як правило, пов'язано зі складними, дорогими пристроями, по типу літака. В процесі експлуатації на нього діють колосальні навантаження, і існують обмеження на структурні зміни конструкції, які літак набуває в процесі

експлуатації. Кожна деталь повинна відповідати необхідним умовам, будь-які відхилення можуть значно ускладнювати збирання виробів отриманих шляхом 3D друку у вузли.

ВИСНОВКИ

Сучасні методи 3D-друку мають наступні переваги:

1. Висока швидкість роботи. Сучасні технології забезпечують стислі терміни розробки прототипу виробів.
2. Мінімальна матеріалоємність. Прогресивні 3D-принтери дозволяють виробляти об'єкти з низькими показниками браку.
3. Надійна внутрішня структура. Інноваційні пристрої допомагають спроектувати об'єкти великих розмірів при цьому з мінімальною вагою.
4. Екологічності. Використовувані матеріали повністю безпечні і не становлять шкоди для користувача.

До додаткових переваг створення 3Д-об'єкта можна віднести довговічне і зручне зберігання матеріалів, що не вимагає особливих умов.

3D-технології – це майбутнє, адже завдяки їм сьогодні реалізуються самі нестандартні дизайнерські проекти як в побуті, так і в промисловій сфері. А завдяки застосуванню нових форм і методів контролю якості з поєднанням практики на виробництві дозволяє досягти подальшого професійного вдосконалення виробництва 3D-деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Краткий экскурс в методы 3D-печати [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/post/136340/

[2] Основные методы и виды 3D печати [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.2d-3d.ru/opisanie-programm/1536-osnovnye-metody-3d-pechati.html

[3] Arc Compensation. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://reprap.org/wiki/ArcCompensation

[4] My attempts to make a rapid prototyping machine that I will use to make parts for a machine that will be able to make parts for a copy of itself. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://hydraraptor.blogspot.com/2011/02/polyholes.html

[5] Подолян, О. О. Контроль якості монтажу муфт на магістральний трубопровід [Електронний ресурс] : монографія / О. О. Подолян, Г. С. Тимчик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 180 с.

Наук. керівник – к.т.н. Подолян О.О.

УДК 629.7

І.В. Мастенко, студент гр. ПБ-91мп, Сірош В.О. студент гр. ПБ-71
к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КАРКАСНОГО ТИПУ МЕТОДОМ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Анотація. У даній статті розглянуто застосування SIMP-методу топологічної оптимізації, для проектування технології виготовлення конструкції каркасного типу. Наведено постановку завдання для оптимізації конструкторської моделі та виконано її відповідне CAE моделювання в середовищі «FUSION 360» Отримані результати свідчать про можливість зниження маси вихідного виробу на 56%.

Ключові слова: топологічна оптимізації, метод пеналізації для твердого ізотропного тіла, технологічний процес, навантаження, SIMP-метод

ВСТУП

Методи і засоби оптимізації конструкцій знаходять все більше застосування в промисловості, в тому числі і в приладобудівній галузі. Зниження маси і збільшення питомої міцності виробів – найактуальніші завдання сьогодення, які стоять перед інженерами всього світу. Рішення даних проблем безпосередньо пов'язане з завданням пошуку оптимальних геометричних параметрів виробів, що проектуються. В даний час для вирішення цього завдання досить успішно використовуються методи топологічної оптимізації. Застосування методик оптимального проектування дозволяє знайти найкращі параметри конструкції, що задовольняють технологічним і обмеженням по міцності, забезпечуючи таким чином, мінімум цільової функції. [1].

Застосування методів топологічної оптимізації в приладобудівній галузі є відносно новим підходом процедури проектування. Основними завданнями топологічної оптимізації (ТО), при проектуванні деталей, можуть бути як мінімізація об’єму та маси при фізичних обмеженнях, так і оптимізація інших параметрів з заданими геометричними обмеженнями.

В наш час ще досить часто застосовують конструкції відносно застарілого типу, які виготовленні з занадто великим запасом міцності, що в свою чергу робить деталі важкими, а технологічний процес трудомісткий та тривалий [2,3].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Конструкція каркасного типу «rackmaund» складається з 3 типових деталей (рис. 1): юнітова стійка (рис. 1 п. 1), п-подібна деталь(рис. 1 п. 2), та направляюча (рис. 1 п. 3), всі деталі у кількості 4 штук. Матеріал даних деталей – листова сталь марки 08КП, 2мм та 3 мм товщини. При складанні використовують 40 гвинтів М6 та виконують 84 різьбонарізні операції та 16 установчих, для установки запресовочних гайок, що є доволі складним та трудомістким технологічним процесом. Загальна маса початкового виробу складає 6,3 кілограма.

Завдання полягає у максимально можливому зниженні ваги виробу за умови, що навантаження, які повинна витримувати конструкція складає 20G.

Рис. 1. Конструкція каркасного типу«rackmaund»

1 - п-подібна деталь , 2- юнітова стійка, 3 – направляюча

ПРОЦЕДУРА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті аналізу початкової конструкції та ТП її виготовлення було запропоновано відмовитись від 60 кріпильних точок для обладнання, які були отримані різьбонарізним способом та замінити їх на 60 монтажних гайок, а в місцях з’єднання елементів конструкції замість гвинтових з’єднань застосовувати заклепки антивібраційного структурного типу.

Для вирішення даного завдання було застосовано SIMP-метод (Solid Isotropic Material with Penalization), метод пеналізації для твердого ізотропного тіла, - це метод ТО, основна ідея якого полягає в створенні поля віртуальної щільності, що представляє аналог деякої реальної характеристики об'єкта. Призначення методу полягає в оптимальному перерозподілі матеріалу конструкції для усіх ділянок моделі, що не обмежена граничними умовами (рис.2). Для розрахунку оптимізованої моделі, було застосовано засоби САПР «FUSION 360» та його модуль CAE «GENERATIVE DESIGN». Також для цієї моделі була врахована сила притиску кожної заклепки, яка становить 180кгс [4].

Було установлено граничні умови, а саме необхідно забезпечити незмінність геометричних форм виробу та кріпильні точок конструкції, для корпусу та обладнання. В результаті було виділено три основні опорні вузли каркасу, перший кутові елементи, адже вони містять з’єднувальні отвори деталей та витримують основне навантаження, другий це лицева та задня сторона виробу, через конструктивні особливості закріплення обладнання та третій - 8 точок кріплення до захисного корпусу, в який монтується дана конструкція каркасного типу

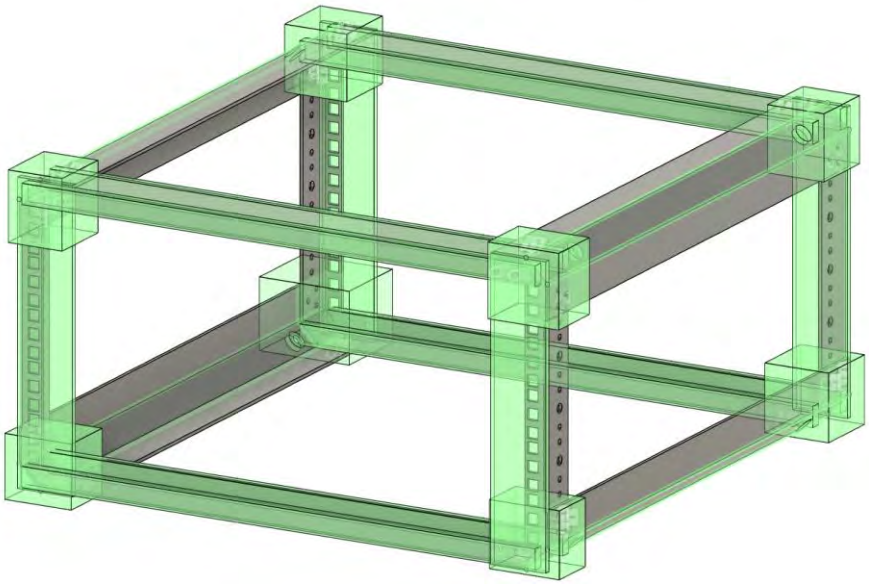


Рис. 2. Ділянки конструкції, обмежені граничними умовами

Згідно з завданням було проведено виконано розрахунок навантажень, які діють на об’єкт дослідження з силою 20G, при цьому було обрано оптимальні матеріали для конструктивних елементів виробу: п-подібна деталь – листова нержавіюча сталь марки AISI 304 товщиною 1,5мм, юнітова стійка - листова нержавіюча сталь марки AISI 304 товщиною 3мм,, направляюча -листовий алюміній марки АД0 (1050) товщиною 3мм (рис. 3).

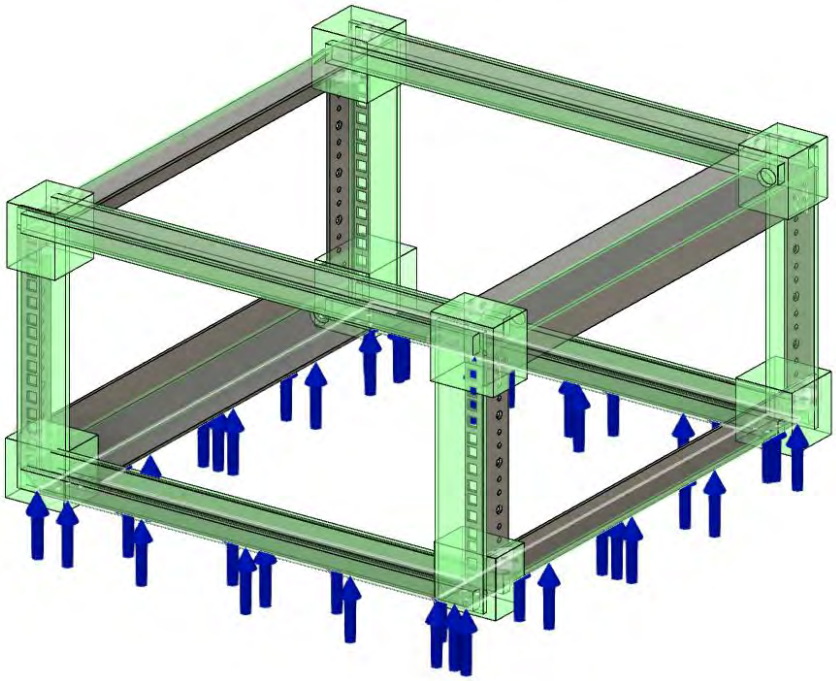


Рис. 3. Розподіл робочих навантажень конструкції при заданих граничних умовах

Після виконання CAE розрахунку було отримано оптимізовану модель, яка представлена новою конфігурацією конструктивних елементів виробу та при цьому витримує всі необхідні навантаження, при заданих граничних умовах. В результаті було отримано виріб, вагою 3.6 кг, що на 56% легше від початкового та збережено запас міцності каркасної конструкції.

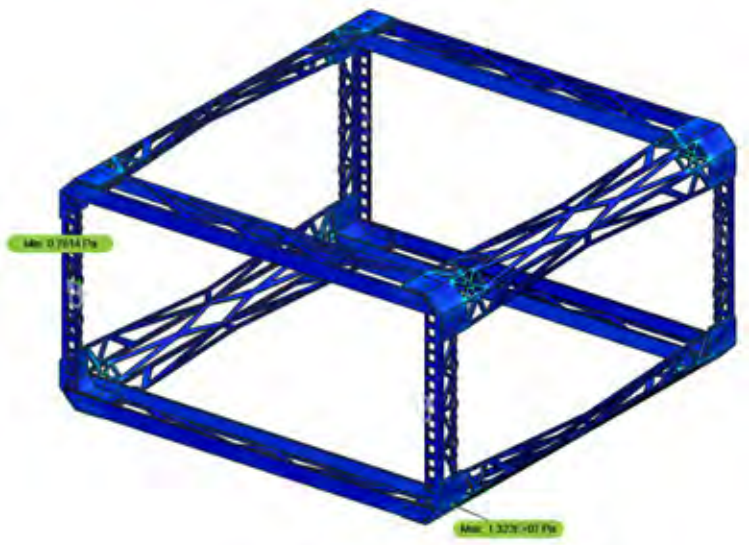


Рис. 4. Топологічно-оптимізована модель

ВИСНОВОК

В результаті виконанні роботи було вирішене комплексне завдання по зменшенню маси виробу та оптимізації технологічного процесу виготовлення конструкції каркасного типу. Заміна матеріалів конструктивних елементів виробу та застосування SIMP-метод топологічної оптимізації продемонстрував свою ефективність при вирішенні завдань по зменшенню маси. Таким чином вдалось зменшити масу виробу на 56% меншу від початкової. Внесені зміни до технологічного процесу виготовлення конструкції каркасного типу зменшили його трудомісткість

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Yoon, Gil Ho (2010). "Topology optimization for stationary fluid-structure interaction problems using a new monolithic formulation". International Journal for Numerical Methods in Engineering. 82 (5): 591- 616.

[2] Lundgaard, Christian; Sigmund, Ole (2018). "A density-based topology optimization methodology for thermoelectric energy conversion problems". Structural and Multidisciplinary Optimization. 57 (4): 1427–1442.

[3] Мастенко 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.

[4] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.

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

УДК 628.917:621.3.032.9

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. У даній роботі розглянуто особливості технології виготовлення світлодіодних елементів, а саме детально розглянуто метод вирощування кристалів Чохральського, в основі якого лежить явище рідинно-фазової епітаксії. Також проаналізовано основні переваги світлодіодних елементів при використанні.

Ключові слова: світлодіод, складання світлодіодів, рідинно-фазова епітаксія, інкапсуляція, технологія вирощування кристалів Чохральського.

ВСТУП

Останнє десятиріччя спостерігається бурхливий розвиток технологій виготовлення світлодіодних елементів, що зумовлює постійне удосконалення та розробку нових складових компонентів. По мірі вдосконалення властивостей і характеристик, даний промисловий продукт є одним з головних і найбільш популярним типом виробів для освітлення. Світлодіодні елементи стали чудовою альтернативою для заміни лампочок у багатьох електричних та електронних конструкціях, оскільки вони використовують менше енергії, мають довший термін служби, нижчу теплопровідність і випромінюють кольорове світло, а також є більш практичними та ефективнішими.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Загалом, світлодіодні елементи виготовляються з дуже тонких шарів напівпровідникового матеріалу; один шар містить надлишок електронів, а інший – недостатню кількість [1]. Ця різниця змушує електрони переходити з одного шару в інший, тим самим генеруючи світло. На сучасному виробництві ці шари можна зробити досить тонкими, а саме близько 0,5 мкм.

Домішки всередині напівпровідника використовуються для створення необхідної електронної густини. Пластина напівпровідника являє собою єдиний однорідний кристал, і домішки додаються до нього пізніше в процесі виробництва. Конкретними напівпровідниками, що використовуються для виробництва світлодіодів, є арсенід галію, фосфід галію та фосфід арсеніду галію. Різні напівпровідникові матеріали та домішки призводять до генерування різного кольору світла від світлодіоду [1].

Світлодіодні елементи функціонують за допомогою живлення електричним струмом. Таким чином, дроти входу та виходу повинні бути прикріплені до корпусу світлодіодного елемента. Матеріали дротів повинні мати відповідні хіміко-фізичні властивості та бути придатними для процесів подальшого паяння та нагрівання. Для цього найчастіше використовують такі матеріали як золото та срібло, оскільки вони утворюють хімічний зв’язок із галієм на поверхні корпусної деталі світлодіодного елемента.

Далі світлодіодний елемент встановлюють у прозорий корпус, виготовлений із пластику. Пластик може бути будь-якого різновиду і його оптичні властивості визначатимуть як виглядає вихідне забарвлення світлодіодного елементу [3].

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розглянемо технологічний процес виготовлення світлодіодних елементів. Спочатку виготовляється напівпровідникова пластина. Матеріалом для неї може бути – арсенід галію, фосфід галію, що визначається кольором бажаного світлодіоду. Кристалічний напівпровідник вирощують у високотемпературній камері високого тиску. Галій, миш'як та фосфор очищаються та змішуються в камері [2]. Тепло і тиск зріджують і стискають компоненти між собою, щоб вони потрапили в розчин. Щоб вони не потрапили в газ під тиском в камері, компоненти часто покриваються шаром рідкого оксиду бору, який ущільнює їх так, що компоненти повинні злипатися [4]. Це явище відоме як інкапсуляція рідини, або метод росту кристалів Чохральського. Після змішування елементів в однорідному розчині стрижень занурюють у розчин і повільно витягують. Розчин охолоджується і кристалізується на кінці стержня, утворюючи довгий циліндричний кристалічний злиток із суміші напівпровідних матеріалів (рис. 1, а). Потім напівпровідниковий злиток нарізають на дуже тонкі пластинки напівпровідника, товщиною приблизно 25 мкм (рис. 1, б).

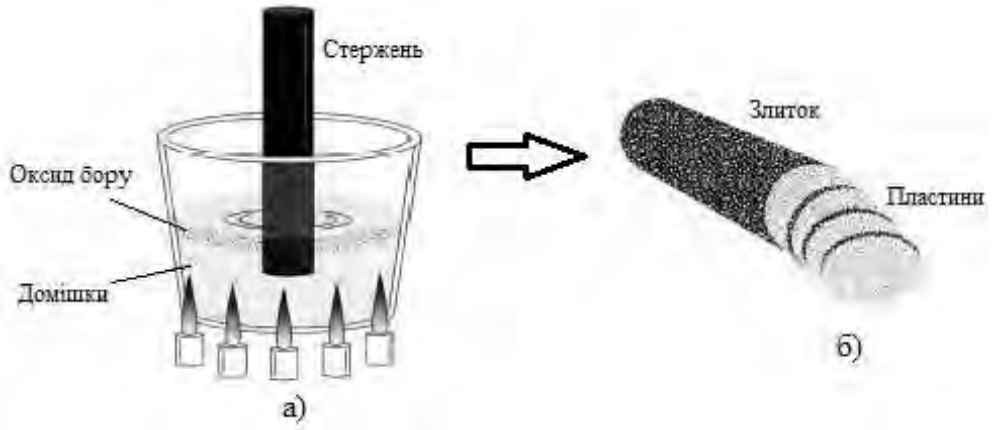


Рисунок 1. Технологія виготовлення пластин: а) утворення злитку, б) нарізання злитку на пластини.

Пластини поліруються до тих пір, поки поверхні не стануть дуже гладкими, так що вони легко приймуть більше шарів напівпровідника на свою поверхню. Кожна пластина повинна бути єдиним кристалом матеріалу однорідного складу. На жаль, іноді в кристалах утворюються неякісні ділянки, які в подальшому впливають на якість роботи світлодіодного елементу.

Далі пластини очищаються за допомогою хімічного та ультразвукового процесу з використанням різних розчинників. Чим точніша обробка, тим якіснішим буде отриманий світлодіодний елемент [4,5].

Додаткові шари напівпровідникового кристалу вирощуються на поверхні пластини. Один із способів – додати до кристала домішки або легуючі речовини. Кристалічні шари вирощують за допомогою процесу, який називається рідинно-фазова епітаксія (РФЕ) [3]. В цій технології епітаксіальні шари – напівпровідникові шари, які мають однакову кристалічну орієнтацію із підкладкою. Дані шари наносяться на пластину, поки вона протягується під резервуарами розплавленого напівпровідника. У резервуарах змішані відповідні легуючі речовини. Пластина спирається на графітову пластину, яку

проштовхують через канал під контейнером, що утримує розплавлену рідину. Нанесені шари є продовженням кристалічної структури пластини.

Рідинно-фазова епітаксія створює надзвичайно однорідний шар матеріалу, що робить її кращою технологією нарощування та легування. Утворені шари мають товщину в кілька мікрон (рис. 2).

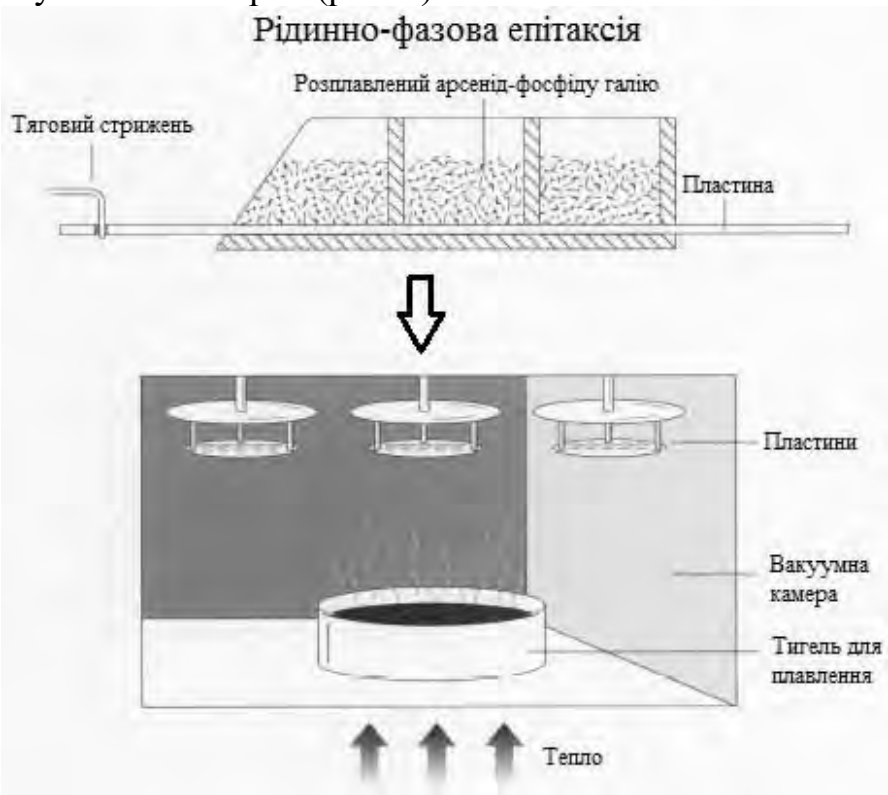


Рисунок 2. Процес рідинно-фазової епітаксії

Після нанесення епітаксійних шарів може знадобитися додавання додаткових домішок, щоб змінити характеристики діоду для зміни кольору або покращення ефективності світіння. Якщо проводиться додаткове легування, пластину знову поміщають у високотемпературну трубку печі, де її занурюють у газоподібну атмосферу, що містить легуючі речовини – азот або амоній цинку є найбільш поширеними домішками. Азот часто додають у верхній шар діода, щоб зробити світло більш жовтим або зеленим [5].

Потім на пластині формуються металеві контакти. Структура контактів визначається на стадії проектування і залежить від того, використовувати діоди поодинці чи в комбінації. Рідкий резист (захисний шар) наноситься краплями, коли пластина обертається, розподіляючи його по поверхні. Резист зміцнюється коротким випіканням при низькій температурі 100 градусів за Цельсієм. Далі еталонний рисунок, або маска, копіюється на фоторезисті, розміщуючи його на пластині і опромінюючи ультрафіолетовим світлом. Відкриті ділянки резисту змиваються окисником, а неекспоновані ділянки залишаються, покриваючи напівпровідникові шари.

Контактний метал випаровується на малюнку, заповнюючи відкриті ділянки. Випаровування відбувається в іншій високотемпературній камері у вакуумному режимі. Резист нагрівається до температури, яка призводить до його випаровування. Він конденсується і прилипає до відкритої

напівпровідникової пластини. Потім фоторезист можна змити ацетоном, залишивши лише металеві контакти. Залежно від остаточної схеми кріплення світлодіоду, на задній стороні пластини може випаровуватися додатковий шар металу. Будь-який осаджений метал повинен пройти процес відпалу, при якому пластина нагрівається до декількох сотень градусів і залишається в печі (з інертною атмосферою водню або азоту, що протікає через неї) до декількох годин. Протягом цього часу метал і напівпровідник з'єднуються хімічно.

На одній пластині діаметром 5 см буде однаковий малюнок, повторений до 6000 разів; це вказує на розмір готових діодів. Діоди розрізають шляхом розколу або розпилюванням алмазною пилкою. Розрізання пластини – складний процес, в результаті не всі світлодіоди будуть працювати [3-5].

Світлодіодні елементи, отримані розрізанням, встановлюють у відповідний корпус. Якщо діод буде використовуватися в якості світлового індикатора, то його встановлюють на два металевих дроти довжиною близько 50 мм. Зазвичай у цьому випадку задня сторона пластини покривається металом і утворює електричний контакт із проводом, на який вона спирається. Далі весь вузол герметично термічно закривається пластиковою кришкою. Провід і світлодіод підвішені всередині корпусу, який має форму відповідно до оптичних вимог складання. Корпус заповнюється рідким пластиком або епоксидною смолою. Після затвердіння епоксидної смоли процес формування світлодіодного елемента вважається завершеним [5].

ВИСНОВОК

Розглянуті в роботі підходи виготовлення світлодіодних елементів наявно демонструють трудомісткість та довготривалість технологічного процесу. Використання сучасних технологій, таких як рідинно-фазова епітаксія та метод росту кристалів Чохральського, а також вдосконалених методів обробки, дозволяють значно спростити виготовлення, підвищити точність, якість та надійність світлодіодних елементів. Саме тому дані елементи масово використовують у багатьох сучасних електронних пристроях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] A. Porst, F. Auerbach, H. Brunner, G. Deboy, F. Hille. Improvement of the diode characteristics using emitter-controlled principles (EMCON-diode) // Proc. ISPSD. 1997.

[2] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.

[3] Gillessen, Klaus. Light-Emitting Diodes: An Introduction. Prentice Hall, 1987.

[4] LED Manufacturing. Light-Emitting Diode (LED) – Режим доступу: https://ru.scribd.com/document/56591418/LED-Manufacturing – 10.11.2020 р.

[5] Marston, Ray. "Working with LED's." Radio-Electronics. January, 1992, p. 50; February, 1992, p. 69.

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

УДК 621.3

М.Ю. Пакета, магістрант гр. ПБ-91мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОПТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Анотація. Розглянуто умови отримання тонких ахроматичних просвітлюючих покриттів і виявлені закономірності в зміні коефіцієнта відбиття нанесеного покриття від параметрів його формування при нанесенні шару оксиду алюмінію. Визначено параметри технологічного процесу для кожного з шарів покриття та отримано залежності коефіцієнта відбиття функціонального покриття від режимів осадження: температури субстрату, швидкості конденсації та відхилень у товщині нанесеного шару.

Ключові слова: просвітлюючі покриття, мікроструктура, швидкість конденсації, оптична товщина.

ВСТУП

Впровадження оптичних приладів і методів дослідження в різні галузі науки і техніки призводить до необхідності створення багатошарових діелектричних систем з унікальними вимогами до їх властивостей [1].

Подальше розширення функціональних можливостей створюваних оптичних систем вимагає якісно нового підходу, як до традиційних технологій формування поверхневого шару, так і до принципово нових перспективних видів обробки елементів оптоелектроніки, мікрооптики тощо [2, 3].

У сучасній оптотехніці використовується величезна кількість матеріалів, з покриттями, однак існуючі методи підвищення якості оптичних характеристик з використанням покриттів не завжди забезпечують необхідні експлуатаційні параметри оптоелектронних приладів [4].

Метою роботи є визначення залежності впливу основних технічних параметрів електронно-променевого напилення на коефіцієнт відбиття просвітлюючого покриття на аморфному матеріалі.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Як об’єкт досліджень взято оптичну деталь – пластина зі скла К8 (оптичне кварцове скло), на яку наносили 3-шарову плівки з різних матеріалів за умов зміни технологічних параметрів формування з метою визначення коефіцієнта відбиття, якщо коефіцієнти заломлення залежить від похибок товщини шару.

Структура покриття: товщина зовнішнього шару рівна λ/4, середнього λ/2, внутрішнього λ/4, тобто другий шар був подвоєний, при цьому коефіцієнт відбиття сформованої плівки визначався у видимій області: 450-650 мкм.

В якості плівкоутворюючих матеріалів на перший (від скла) наносився шар з окису алюмінію – Al_2O_3 (n_3), показник заломлення плівок якого значно впливає швидкість конденсації і коливається в інтервалі від 1,6 до 1,7.

Матеріалом другого шару покриття було вибрано оксид гафнію HfO_2 (n_2), показник заломлення якого в залежності від умов нанесена на субсторат при кімнатній температурі рівний 1.87, а зі збільшенням температури підкладки до 300°C зростає до 2.00.

Останнім наносили шар з фториду магнію MgF_2, показник заломлення якого практично не змінюється, тобто за стабільних умов n_1=1.38. Цей шар

наносився на підігрітий до 300°С субстрат таким чином отримували стабільну, тверду плівку, що має гарною адгезією.

Експериментальні дослідження з формування просвітлюючих покриттів виконували на вакуумній установці моделі ВУ-1АМ з оптичною схемою комплексу СФКТ-751В (Рис. 1), яка включає: 1 - електронний промінь; 2 - потік розпиленої речовини; 3 - вакуумна камера; 4 - субстрат; 5 – оснастка, що обертається; 6.1 - лампа розжарювання "на просвіт"; 6.2 - лампа розжарювання "на відображення"; 7 - плоскі дзеркала; 8 - зразок-свідок; 9 - цифровий вольтметр; 10 - осцилограф; 11 - електронний підсилювач; 12 - фото-електронний підсилювач; 13 - монохроматор; А - анод (тигель); К – катод.

Система складається з освітлювача і оптичних елементів, які забезпечують формування світлового пучка: монохроматора, що працює в діапазоні 0,22…0.8 мкм, можливістю заміни дифракційної решітки для роботи в інших спектральних діапазонах, а також приймального і реєструючого блоків.

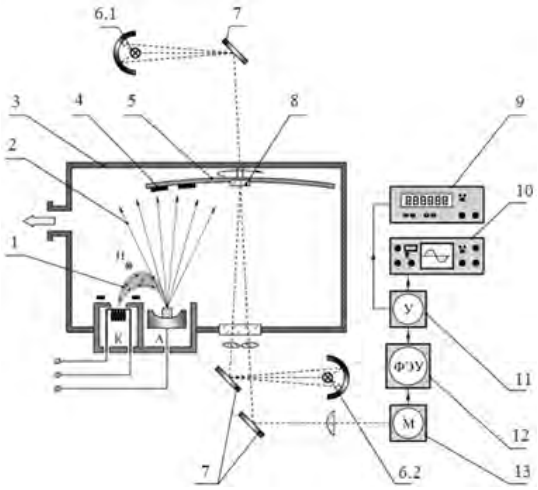


Рисунок 1. Схема установки ВУ-1А з оптичною схемою комплексу СФКТ-751В

Контроль товщини виконували за спектральним коефіцієнтом пропускання (відбиття), центрального (контрольного) або бічних (робочих) зразків, віддалених від центру на відстані 60 ÷ 150 мм.

Формування просвітлюючого покриття виконували методом електронно-променевого випаровування у вакуумі двоокису алюмінію, двоокису гафнію та фтористого магнію.

Технологічний процес нанесення ахроматичного просвітлюючого покриття включав такі операції: підготовка обладнання, підготовка пластин зі скла К8, нанесення покриттів.

Нанесення покриття виконували при тиску $1\cdot10^{-5}$ - $5\cdot10^{-5}$ мм.рт.ст., і з частотою обертання тримача 20…40 об/хв., з постійним контролем товщини шарів за допомогою фотометричного пристрою.

Після знегажування речовин, що випаровувались, шляхом сканування променю по поверхні пігулки окису гафнію, окису алюмінію або фтористого магнію відкривали екран і проводили нанесення шарів із заданою швидкістю конденсації, не допускаючи розприскування речовин, що випаровуються. Оцінку швидкості конденсації шару на поверхні деталі визначали за часом нанесення шару з оптичною товщиною λ/4.

Залежність коефіцієнту відбиття 3-шарового покриття від зміни температури субстрату і швидкості конденсації при нанесенні шару Al_2O_3 показано на рисунку 2.

Дисперсія показника заломлення шару при нанесенні його при температурі субстрату 40°С і швидкості конденсації 20Å/с показана на рисунку 3 (крива 2),

а дисперсія показника заломлення шару при нанесенні його при температурі субстрату 300°С і швидкості конденсації 27…28Å/с (крива 3).

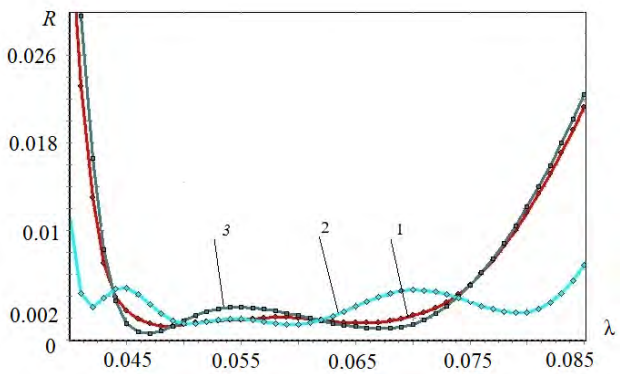


Рисунок 2. Залежність коефіцієнту відбиття 3-шарового покриття від зміни температури субстрату і швидкості конденсації при нанесенні шару Al_2O_3.

На довжині хвилі 550 нм показник заломлення менший при коефіцієнті відбиття алюмінію 1.61, тобто шар Al_2O_3 слід наносити при температурі підкладки 40°С і швидкості конденсації 20Å/с. (Рис. 3 (крива 2). На рисунку 3 показана залежність коефіцієнта відбиття від похибок у товщині шару Al_2O_3.

При експериментальних дослідженнях значення геометричної товщини шару Al_2O_3 змінювали у межах ±10% і фіксували зміну кінцевого показника відбиття покриття. Теоретична геометрична товщина шару складає 0.0843мкм.

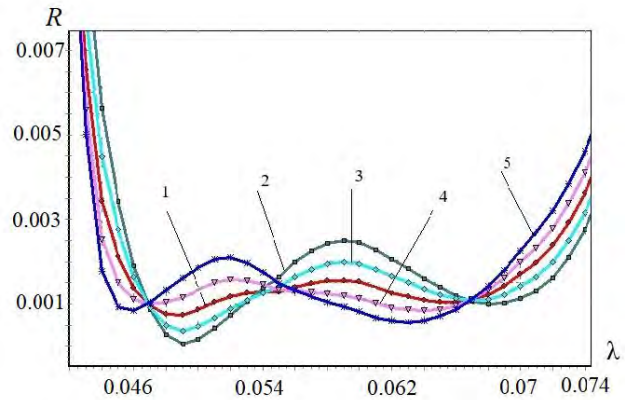


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта відбиття від варіювання товщини шару Al_2O_3

Найбільш низький коефіцієнт відбиття у видимій частині спектру отримали, якщо товщина шару буде на 5% більша (крива 4).

Як показали експериментальні дослідження для шару покриття HfO_2 (n_1=1,38; n_2=1,95; n_3 приймає значення 1,61 та 1,7).

Встановлено, що показник заломлення шару не впливає на коефіцієнт відбиття всього покриття, але температура субстрату має бути нижчою за 300°С, товщина шару має нижчою за номінал у межах 5%.

Для шару покриття MgF_2 – температура субстрату має бути близько 300°С, при такій температурі зростає щільність, твердість і адгезійна здатність плівок. В результаті досліджень встановлено, що для трьохшарового покриття Al_2O_3–HfO_2–MgF_2 найкращі значення коефіцієнта відбиття отримали при показниках заломлення для n_1=1.61, при будь-якому значені n_2 і при n_3=1.38, відповідно.

ВИСНОВКИ

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити особливості формування ахроматичних просвітлюючих покриттів і виявити закономірності в зміні коефіцієнта відбиття покриття від параметрів його формування: температури субстрату, швидкості конденсації, похибок товщини шару.

Встановлено, що параметри формування кожного з трьох шарів покриття мають свої особливості, тому їх нанесення необхідно проводити з різними технологічними параметрами залежно від складу напилюваного матеріалу, при цьому зміни у товщині 3-го шару впливають на коефіцієнт відбиття сильніше, ніж такі ж зміни товщини у 1-му і 2-му шарах сформованого покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Покриття у приладобудуванні / В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко Ю. І. Коваленко, М. О. Бондаренко, Р. П. Гайдаш // К. : НТТУ «КПІ», 2016. – 360 с. : іл.– 106; табл. – 5. Бібліогр.: С.355-360, http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36387/1/pokryttya-u-pryladobud.pdf

[2] Skoryna E., The investigation of the nanoreliefs of optical elements of measuring instruments, which modified by electron-beam microprocessing / E.Skoryna, V.Medyanyk, M.Bondarenko, [etc.]// Innovations. – 2018. – Year VI. – Issue 1. – P. 30-33. https://stumejournals.com/journals/innovations/2018/1/30

[3] Yatsenko I., Antonyuk V., Kyrychenko O., Vashchenko V. Improving the reliability instruments of measuring and thermal control of objects of different physical nature by the finish of electron beam processing surfaces of optical elements // Machines. technologies. materials. International scientific journal. (*International journal for science, technics and innovations for the industry*). Вып. 1/2017 – 2017 – С. 20-23. https://stumejournals.com/journals/mtm/2017/1/20.full.pdf

[4] Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування [Текст] : навч. посіб. // В.А. Ващенко, В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, І. В. Яценко, М. О. Бондаренко, О. В. Кириченко, М. П. Рудь – К.: НТУУ «КПІ», 2012.–412 с. https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Vaschenko.Antonuk.Timchik.i.dr_.Osn_teploper_v_elem_optical_pb.pdf

Наук. керівник – д.т.н. Антонюк В.С.

УДК 621.757

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ SADT У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА

Анотація. У цій роботі розглянуто застосування традиційного засобу побудови моделей складних систем - методологію SADT. Розроблено функціональну структуру управління технологічною підготовкою виробництва з використанням принципів SADT. Показані шляхи скорочення часу технологічної підготовки виробництва за рахунок використання інформатизації документообігу виробничих процесів.

Ключові слова: SADT, IDEF, виробничі процеси, модель, PDM-системи.

ВСТУП

Починаючи аналізувати існуюче виробництво або запроваджуючи нове, важливу роль відіграє модель прийняття рішень. Обрана модель може різнитися від іншої ступінню деталізації процесів, їх формою представлення, може враховувати тільки статичні або тільки динамічні дані тощо. Загальна модель виробництва буде представлена у сукупності функціональної, організаційної та інформаційної моделі.

Функціональна модель має опис об’єднаних підсистем та зв’язків, що демонструють взаємодію підсистем при загальному функціонуванні технологічної підготовки виробництва. Організаційна модель – склад та структура служб та підрозділів технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Інформаційна описує потоки інформації у вищезгаданих моделях.

До традиційних засобів побудови моделей складних систем відноситься методологія SADT (Structured Analysis Design Technique)[1]. Її мета – уніфікувати підходи до опису складних систем. SADT включає як концептуальний підхід до побудови моделей систем, так і набір правил і графічних позначень для їх опису. Запропоновані методи побудови функціональних моделей, де опис систем здійснюється з точки зору виконуваних ними функцій, отримали назву методології IDEF0. Існують також спеціальні методології для побудови інформаційних моделей, що описують потоки інформації (IDEFIX) і динамічних моделей, відображають причинно-наслідкові зв'язки між об'єктами системи (IDEF / CPN).

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Використання методології IDEF0 при побудові моделей дозволяє підвищити якість і глибину опрацювання, систематизувати інформацію, зменшити число помилок, поліпшити проектну документацію тощо. Однак діаграми IDEF0 (як і діаграми інших видів) є лише однією із форм уявлення моделей.

Найбільш сучасним і продуктивним вважається об'єктно-орієнтований підхід побудови моделей. Цей підхід реалізований в цілому ряді систем програмування та інструментальних засобів. Розглянемо основні поняття і особливості даного підходу [2].

Об'єкт – деяке поняття, що належить до даної предметної області – наприклад, "цех", "технологічний процес" та ін. Об'єкти, що мають однотипні

характеристики, об'єднуються в підкласи і класи – наприклад, об'єкт "фреза" є елементом підкласу "ріжучий інструмент", який входить в клас "кошти технологічного оснащення". Характеристиками об'єкта (атрибутами) можуть служити будь-які дані про нього, необхідні для опису цього об'єкта в даній предметній області.

Ієрархічний характер компонентів моделі відбивається у вигляді ієрархії класів і підкласів, а функціонування системи розглядається як взаємодія об'єктів. При цьому зв'язки між об'єктами розглядаються як самостійні сутності. З кожним об'єктом може бути пов'язано виконання деяких дій – наприклад, перегляд, копіювання, видалення тощо.

Цикл розробки об'єктно-орієнтованої системи містить кілька етапів (аналіз, проектування, програмування, тестування, складання, модифікація), які не вимагають суворої послідовності їх виконання[3, 4].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З використанням принципів SADT була побудована функціональна модель ТПВ (рис.1). Ця модель інтегрує перспективні пропозиції керівництва і фахівців з урахуванням думки експертів та системних аналітиків й на цій основі формують процеси діяльності підрозділів підприємства.

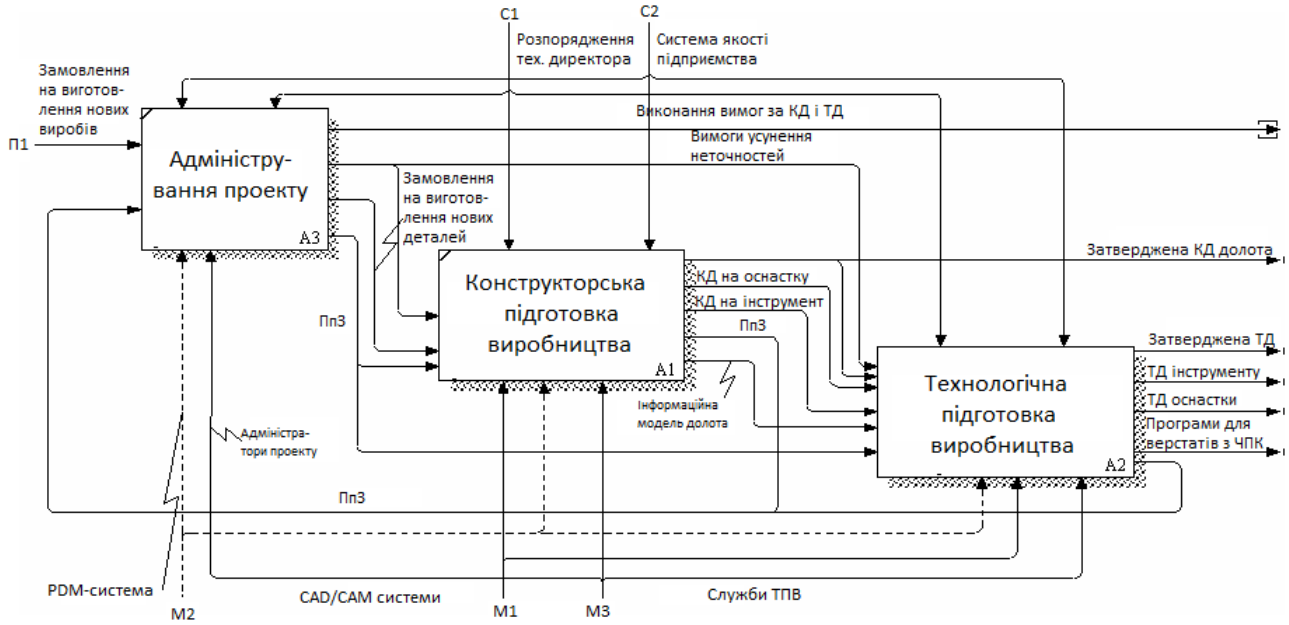


Рисунок 1. Функціональна структура управління технологічною підготовкою виробництва: КД – конструкторська документація; ТД – технологічна документація; ТП – технологічний процес; ТПА – технологічна підготовка виробництва; ПЗ – повідомлення про зміни; ЧПК – станки с числовим програмним керуванням.

Відомо, що оптимальне число блоків в функціональних діаграмах по SADT-методології становить від трьох до шести. Основні зміни пов'язані з механізмами реалізації наявних функцій.

В результаті проведеного функціонального аналізу було встановлено, що більшість витрат на ТПВ відноситься на етап "Проектування технологічної документації" і, зокрема, на процес "Проектування технологічного процесу". Звідси випливає, що поліпшення організації проектування пов'язано з

підвищенням ефективності PDM-систем (Product Data Management – система управління даними про виріб).

Формування PDM-системи за IDEF-моделями дозволить оптимізувати функціональні структури процесів. Реалізована методика моделювання процесів від моделі "як є" до моделі "як має бути" з концептуальною моделлю даних (КМД) є базою для єдиного інформаційного простору.

Можна простежити як впровадження PDM-системи відбилося на функціональній структурі процесу "Управління технічною підготовкою виробництва" (рис.1). Зміни торкнулися рівня "Управління технічною підготовкою виробництва виробів основного профілю". Крім існуючих етапів: конструкторська підготовка виробництва і ТПВ, з'явився новий етап – адміністрування проекту.

Для реалізації цього етапу введена нова посада "адміністратор проекту", завданням якого є координація дій конструкторів і технологів в єдиному інформаційному просторі, створеному впровадженням PDM-системи. Завдяки створенню єдиного інформаційного простору, адміністратор бачить поточну картину технічної підготовки виробництва і стежить за виконанням вимог за конструкторською та технологічною документаціями.

Зміни стосуються також етапів конструкторської та технологічної підготовки виробництва, всередині яких з'являються нові функції: адміністрування конструкторської підготовки виробництва і адміністрування ТПВ. Для цього в складі конструкторського і технологічного відділів передбачені відповідні посади фахівців з PDM-системи.

ВИСНОВКИ

Використаний об'єктно-орієнтований підхід побудови моделей зручний при реінжинірингу існуючої організації. Тому на основі даного підходу запропонована структура управління технологічною підготовкою виробництва, яка відповідає вимогам SADT-методології, а механізм реалізації заснований на PDM-системі, що дозволяє спростити і прискорити процес проектування технологічної документації за рахунок створення єдиного інформаційного простору. Завдяки використанню представленої моделі можна провести раціоналізацію всіх виробничих процесів приладобудівного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Марка Д., Мак-Гоуен К. Методологія структурного аналізу і проектування. М .: Метатехнологія, 1993.
[2] Бусленко Р.П. моделювання складних систем. М .: Наука, 1978.
[3] Е. И. Яблочников ИПИ-технологии в приборостроении / Е. И. Яблочников, В. И. Молочник, А. А. Миронов. – СПб: ГУ ИТМО, 2008, – 128 с.
[4] Філіппова М. В., Демченко М. О., Матвієнко С. М. Моделювання технологічного процесу складання за допомогою IDEF0 //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Т. 2. – №. 3. – С. 62.

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

УДК 681.932

Г.М. Соколов, студент гр. ПМ-91мп, к.т.н., доц. Нечай С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРТАТИВНІ ЕКСТРУДЕРИ ПРУТКА

Анотація. У роботі автором представлені існуючі портативні екструдери прутка від передових виробників у даній сфері. Описані їх конструкції, технічні характеристики, принципи роботи, відмінності та області застосування. Також розглянуті основні переваги та недоліки будови кожного з брендів. Тенденції у розвитку портативних екструдерів.

Ключові слова: екструдер, ПЛА, АБС, 3D друк, сопло, 3D-принтер.

ВСТУП

У статті проведено огляд існуючих комерційних рішень, які являються вже реалізованими та поступили у продаж. Дані пристрої мають на меті такі цілі, як популяризація переробки та самостійного виготовлення пластикового прутка для подальшого його використання у 3D-друці. Цей спосіб отримання матеріалу, незважаючи на вартість обладнання, швидко окупається та має ряд переваг, серед них такі: самостійний підбір параметрів екструзії та матеріалів з метою отримання прутка з необхідною характеристикою, доступність пластикового дроту в будь-який час, можливість переробки бракованих деталей, що, в свою чергу, зменшує ціну матеріалу, пруток за доступнішою ціною за рахунок власного виробництва.

FILAMENTMAKERS ВІД 3DEVO

Нідерландська компанія розробила екструдер (рис. 1) для виготовлення прутка для 3D-принтерів.

Рисунок 1. Портативний екструдер FilamentMakers NEXT 1.0. від компанії «3DEVO»

Компанія зосереджена навколо сталого розвитку. Їх мета полягає у тому, щоб допомогти переходу підприємств, освітніх установ і дослідницьких лабораторій до більш стійкої бізнес-моделі, не тільки з економічного боку, але й екологічно чистій практиці 3D-друку. NEXT 1.0 має 7 основних функцій, які, за словами фахівців компанії, виділяють його серед інших подібних пристроїв:

- Створення високоякісної нитки – спеціальна система послідовної екструзії дозволяє легко транспортувати гранули всередину пристрою і перетворювати їх в щільні нитки.

- Вбудований датчик Хоппера – він нагадає користувачеві про те, що гранули закінчуються і пора подбати про дозаправлення.
- Система управління діаметром – користувач самостійно вибирає діаметр готової нитки.
- Система автоматичного намотування готової нитки.
- Доступний і зрозумілий призначений для користувача інтерфейс, яким можуть користуватися навіть люди, які використовують пристрій вперше.[1]

Пристрій має наступні технічні характеристики:

- Габарити – 506x216x448 мм;
- Потужність – 1300 Вт;
- Температура нагрівання – до 450 градусів;
- Кількість обертів шнеку – від 2 до 15 об/хв;
- Діаметр ниті – від 0.5 до 3 мм;
- Інформативний дисплей в якому є можливість обрати матеріал, температуру, товщину та інші характеристики;
- Система автоматичного намотування готової ниті;
- Оптична система контролю товщини ниті з точністю 43 мікрон.[2]

Серед переваг відмічають зрозумілий інтерфейс, малі габарити, чудовій дизайн та широкий вибір сировини для застосування. Також відмічають такі недоліки як труднощі при протягуванні ниті від сопла до бобини та недосконалість системи подачі гранул.

EXOEXTRUDER

Exoextruder – машина для створення пластикової нитки для 3D-принтера (рис. 2), шляхом продавлювання (екструзії) через профілюючий інструмент.

Рисунок 2. Екструдер від компанії «Exo».

Власник екструдера і 3D-принтера має вдома міні фабрику 3D друку, його витрати на пластик скорочуються на 30%, а виробництво стає безвідходним, весь брак, а з ним і гроші, будуть не на звалищі, а знову стануть 3D моделями, так само можна виробляти пластик з гранул будь-якого кольору.

Інженери розробили унікальну систему намотування нитки на котушку, аналога якій більше немає, нитка виходячи з філь’єри розгортається на 180 градусів і подається через систему охолодження та рівномірно намотується на котушку, яку в свою чергу можна з легкістю замінити. Така система дала

можливість зробити екструдер максимально компактним, в робочому вигляді він вміщається на звичайному столі.

Технічні дані:

- Споживана потужність – до 500 Вт;
- Розмір корпусу (в зібраному стані) – 675х200х275 мм;
- Температура нагрівальної головки – до 300 ° С;
- Швидкість обертання шнека – 22 обор / хв. ;
- Діаметр виробленої нитки – 1.75 мм, 2,85 і 3 мм;
- Продуктивність – до 370 см в хв;
- Похибка діаметра нитки – ± до 5% від діаметра нитки;
- Ручне регулювання діаметра нитки;
- Вага апарату – 16 кг.[3]

Серед переваг відмічають надійність та довговічність екструдера, простота його використання та стабільність температури нагрівання. В недоліках відмічають слабкий вузол намотування ниті та гучність роботи.

NOZTEKXCALIBUR

Абсолютно нова версія NoztekXcalibur 3 (рис. 3), ця версія має абсолютно нову операційну систему, користувачі тепер можуть підключити свій ноутбук або ПК для безпосереднього управління екструдером та завантажити данні об екструзії після кожної сесії. Зрештою, це буде пов'язано з новою системою датчиків допуску, що дозволяють користувачам аналізувати температуру нагрівних елементів екструдера, швидкість двигуна та допуск нитки.

Рисунок 3. Екструдер від компанії «Noztek».

Екструдер Xcalibur – це один з найбільш передових настільних екструдерів на сучасному ринку. Він має розширений спектр функцій, включаючи потрійні високотемпературні нагрівальні елементи, всі вони призначені для надійної роботи при температурі до 600°С. Він розроблений для розплавлення практично будь-якого полімеру, включаючи високотемпературні термопласти і металеві Порошкові комбінації.

NoztekXcalibur має спеціально розроблений триступеневий гвинт, який генерує додатковий внутрішній тиск у стовбурі. Встановлений дуже потужний двигун постійного струму з регульованою максимальною швидкістю 35 об / хв

(також доступні більш швидкі Двигуни до 57 об / хв і крутний момент 22 нм) і високим крутним моментом 35 Нм – це необхідно для підтримки постійних обертів шнека при екструзії високов'язких матеріалів. Цей екструдер здатний видавлювати приблизно 10 м в хвилину або 2 кг на годину.

ТЕХНІЧНІ Характеристики NoztekXcalibur:

- Габарити: 1350x400x400 мм;
- Три незалежно керованих високотемпературних нагрівачів;
- Запис даних температури і швидкості двигуна;
- 7-дюймовий сенсорний екран;
- Швидкість екструзії 6-8 м. за хвилину;
- Градієнт від 130мм до 200мм.[4]

Користувачі відмічають такі переваги як дуже високу швидкість роботи, надійність редуктору та широкий асортимент підтримуваних матеріалів. З недоліків відсутність системи контролю намотування готової ниті.

ВИСНОВОК

З поширенням 3D друку також зростає потреба у матеріалі для його роботи і деякі компанії вже мають готове рішення. Це молода галузь в якій ще має місце для розвитку даних категорії пристроїв з їх подальшим зменшенням габаритних розмірів, енергоефективності, підвищенням точності та швидкодії. Також необхідні технічні покращення у механізмі намотки ниті та шумоізоляції.

Дані пристрої є корисними в таких сферах як будівництво, архітектура, медицина, наука, виробництво одягу, освіта, ювелірні виробі, іграшки та сувеніри, геоінформаційних системах, космос, кіноіндустрія, промисловість, інженерія та багато іншого. Як ми бачимо, сфера використання є дуже велика.

Портативні екструдери особливо будуть корисні в компаніях де великі обсяги друку після якого залишається багато непотрібного матеріалу. Також вони не будуть зайвими в експедиціях або у віддалених місцях, таких як Антарктида.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Домашнее устройство производства нити для 3D-принтера – Режим доступу: https://3d-daily.ru/equipment/extruder-next1-by-3devo.html
[2] FILAMENT MAKERS – Режим доступу: https://3devo.com/filament-makers/#7-winder
[3] Exo Extruder – Режим доступу: https://epo3d.com/katalog/ekstruder/exo-extruder.html
[4] Noztek Xcalibur – Режим доступу: https://www.noztek.com/product/noztek-xcalibur/

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

УДК 621.865.8

О.А. Соколова, студент гр. ПБ-01мн, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

Анотація. В даній статті обґрунтовано необхідність проведення досліджень та розробки методів точного позиціонування промислових роботів. Наведено методи забезпечення точності позиціонування роботів.

Ключові слова: автоматизація виробництва, роботизований комплекс, промислові роботи, точність позиціонування, методи забезпечення точності позиціонування.

ВСТУП

В сучасному світі основним напрямком розвитку промисловості є автоматизація виробництва. Автоматизація виробничих процесів – це комплекс заходів з розроблення нових, прогресивних технологічних процесів і створення на їх основі сучасних високопродуктивних машин і систем машин [1].

Головний напрямок автоматизації – створення високопродуктивних технологічних процесів. Одним з основних елементів автоматизації промислових підприємств є використання роботизованих технологічних систем (РТС), що сприяє росту ефективності виробництва за рахунок автоматизації тих виробничих процесів або їхніх частин, автоматизація яких найпростішими засобами недоцільна. Підвищення техніко-економічних показників роботи підприємства і поліпшення умов праці є основною метою роботизації виробничих комплексів [2].

Застосування робототехнічного комплексу у виробничому процесі дозволяє раціонально підійти до використання трудових ресурсів, підвищити якість виконання технологічної операції, знизити часові витрати на її виконання, знизити собівартість продукції за рахунок зменшення відсотку браку та невиробничих витрат, збільшити випуск продукції, підвищити ефективність виробництва в цілому. Використання такого роду систем автоматизації висуває більш високі вимоги до технологічності виробів, до системи ТПВ і кваліфікації кадрів.

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗІЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ

Промислові роботи представляють собою складний електромеханічний об'єкт, що має низку особливостей. По-перше, маніпуляційні роботи відрізняються складною кінематичною структурою, що містить множину незалежних та взаємопов'язаних ланок. По-друге, зміна розташування ланок в просторі впливає на фізичні сили, що діють на маніпулятор. По-третє, існують вібрації від обладнання та двигуна робота, що впливають на точність позиціонування.

У зв'язку з наявністю зазначених особливостей, однією з основних характеристик промислових роботів (ПР) є точність позиціонування, або ж точність системи керування роботів. Дана характеристика змінюється в залежності від режимів роботи робота та є складною для передбачення та аналізу величиною. На точність позиціонування впливають конструкційні особливості ПР, швидкість руху

та повороту ПР, проміжні зупинки та прискорення, вібрації як власні, так і викликані розташуванням робота на виробництві. Точність позиціонування може відрізнятися для різних точок робочої області робота [3]. Отже, необхідна система аналізу та оцінки похибок, що дозволяє ефективно здійснювати серії у сотні та тисячі вимірів.

Точність позиціонування робота – це комплексна величина, що залежить від багатьох факторів [4]: похибка системи керування; геометричні похибки; теплові похибки; похибка, що викликана дією сили тяжіння; похибка відпрацювання приводів системи.

Аби усунути або зменшити дані неточності позиціонування розроблено відповідні методи забезпечення точності позиціонування роботів [4].

Уточнення розв'язання прямої та оберненої задач кінематики. Пряма задача – це визначення розташування робочого органу маніпулятора (за координатами X, Y, Z) за його кінематичною схемою та заданою орієнтацією (A_1, A_2,…, A_n) його ланок (n – число ступенів свободи маніпулятора, A – кут повороту). Обернена задача полягає у визначенні кутів повороту ланок за заданим розташуванням робочого органу та відомою схемою його кінематики.

Тобто, для вирішення прямої задачі кінематики необхідно знати геометричні параметри робота (наприклад, радіус основи та рухомої платформи, висота робота тощо), а для вирішення оберненої задачі достатньо знати траєкторію руху платформи.

Структурний та параметричний синтез. Структурний синтез полягає у проектуванні структурної схеми механізму, що складається з нерухомих та рухомих ланок та кінематичних пар. Тобто, визначення найкращої структури маніпулятора з паралельною та послідовною кінематикою, що відповідає заданим вимогам. Під параметричним синтезом розуміють вибір оптимальних параметрів робота, що відповідають заданим вимогам.

Структурний синтез рідко буває повністю незалежним від параметричного. Зазвичай вибір структури та визначення значень параметрів її елементів тісно пов'язані, що складає разом структурно-параметричний синтез. Даний метод забезпечує, зазвичай, множину рішень.

Застосування більш досконалих двигунів. Для кожного типу робота необхідно підбирати певний тип двигуна. Наприклад, асинхронні двигуни погано функціонують в умовах роботи зі змінними швидкостями або реверсування обертання валу, оскільки рухомий елемент залежить не тільки від струму в статері, а й від швидкості обертання валу, а струм, що індуковано в роторі, контролювати складно. А для паралельних роботів найбільш придатним є кроковий двигун або двигун постійного струму.

Застосування вимірювальної системи з декількома датчиками (MCMS) [5]. Дана система складається з датчика розпізнавання (vision sensor), який використовується для вимірювання розташування робота у реальному часі, та кутового датчика, що жорстко прикріплений до маніпулятора, для визначення його орієнтації. Через більш високу точність мультисенсора для об'єднання розташування та орієнтації маніпулятора використовують два ефективних підходи до об'єднання даних: фільтр Калмана та алгоритм об'єднання оптимальної інформації з декількома датчиками. Основною

перевагою даного методу перед іншими в тому, що він не потребує складних рішень кінематичних параметрів, збільшення обмежень руху та складних процедур традиційних методів, заснованих на візуальному представленні.

Калібрування кінематичних та некінематичних параметрів промислового робота [6]. Це спосіб підвищення точності позиціонування робота шляхом вимірювання набору точок позиції робота у робочому просторі роботу, визначення набору параметрів, що зменшують похибку між номінальною моделлю робота та реальним роботом.

Наведені методи підвищення точності позиціонування маніпуляторів враховують головний параметр, навколо якого будується сам метод. Проте система керування роботом – це складна і комплексна система, що складно прогнозується і аналізується. Очевидно, що через складність задач моделювання та керування рухом маніпуляторів є необхідною побудова комплексної моделі для розв'язання усіх необхідних задач на основі комплексу параметрів.

ВИСНОВОК

Підвищення точності позиціонування промислових роботів є однією з найважливіших проблем у автоматизованому виробництві. Розповсюдження високоточних промислових роботів дозволить усунути людину від тяжкої та небезпечної праці, зменшити витрати на виробництво, час виробничого циклу, підвищити якість продукції, знизити кількість помилок та браку. Тому є необхідним створення керуючої системи на основі штучних нейронних мереж, що буде зменшувати похибки, що викликані вібраціями, установкою датчиків, неточністю відпрацювання приводів системи, геометричними та іншими параметрами маніпулятора та його складових.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. для технічних спеціальностей / за ред. Я.І. Проця. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.

[2] Захоплювальні пристрої промислових роботів: навч. посіб. / за ред. Я. І. Проця. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2008. – 232с.

[3] Разработка системы управления роботом-манипулятором «Katana» / ДонТУ, электротехнический фак. Режим доступа : http: //masters.donntu.org/2017/etf/pahomov/diss/index.htm – 10.06.2018 г.

[4] Баланев, Н.В. Анализ факторов, влияющих на точность позиционирования промышленного робота и методы обеспечения заданной точности / Н. В. Баланев, Р. А. Янов // Журнал «Достижения науки и образования». – 2016. – №1 (2). – С. 11-14.

[5] A Method of Improving the Pose Accuracy of a Robot Manipulator Based on Multi-Sensor Combined Measurement and Data Fusion / Bailing Liu, Fumin Zhang, Xinghua Qu // Journal "Sensors". – 2015. – №15 (4). – P. 7933-7952.

[6] Accuracy and Calibration Issues of Industrial Manipulators / Mohamed Abderrahim, Alla Khamis, Santiago Garrido, Luis Moreno // Industrial Robotics - Programming, Simulation and Applications. – 2006. – P. 131-146.

УДК 519.682.6:682.1

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

ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Анотація. В статті розглядається питання застосування дискретно-подієвого моделювання технологічних процесів. Розглядається роль такого моделювання в технологічних процесах, можливості та інструменти, що необхідні для його реалізації.

Ключові слова: імітаційне моделювання, дискретно-подієве моделювання, технологічні процеси, складання приладів

ВСТУП

Дискретно-подієве моделювання - це вид імітаційного моделювання. У дискретно-подієвому моделюванні функціонування системи представляється як хронологічна послідовність подій. Подія відбувається в певний момент часу і знаменує собою зміну стану системи [1].

Дискретно-подієвий метод використовується, коли систему можна достовірно представити у вигляді послідовності операцій. Однак не завжди легко зрозуміти, який із методів моделювання більше підходить в конкретній ситуації. Наприклад, якщо простіше описати індивідуальну поведінку кожного об'єкта, ніж проектувати загальний робочий процес, кращий варіант - агентне моделювання [1].

Точно так же, якщо цікавлять загальні оцінки явищ, а не взаємодії окремих об'єктів, зручніше буде описати систему за допомогою системної динаміки. У класичних інструментах дискретно-подієвого моделювання об'єкти (заявки) пасивні і відрізняються тільки атрибутами, які впливають на те, як ці заявки будуть опрацьовані [1].

Термін "дискретно-подієвого моделювання", проте, зазвичай використовується в більш вузькому сенсі для позначення "процесного" моделювання, де динаміка системи представляється як послідовність операцій (прибуття, затримка, захоплення ресурсу, поділ) над агентами, що представляють клієнтів, документи, дзвінки, пакети даних, транспортні засоби тощо. Агенти самі не контролюють свою динаміку, але можуть мати певні атрибутами, що впливають на процес їх обробки (наприклад, тип дзвінка, складність роботи) або накопичують статистику (загальний час очікування, вартість) [2].

Процесне моделювання це середньо-низький рівень абстракції: тут кожен об'єкт моделюється індивідуально, як окрема сутність, але безліч деталей "фізичного рівня" (геометрія, прискорення / уповільнення) зазвичай опускається. Такий підхід широко використовується в бізнес-процесах, виробництві, зокрема в моделюванні технологічних процесів в приладобудуванні [2].

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Система дискретно-подійного моделювання містить наступні компоненти [3]:

1. Змінні, що визначають стан системи.
2. Логіка, яка визначає, що станеться у відповідь на подію.
3. Годинник.

Основний компонент системи, що синхронізує зміни системи, тобто виникнення подій.

4. Список подій.

Система моделювання підтримує принаймні один список подій моделювання. Однопотокові системи моделювання, що засновані на миттєвих подіях, мають тільки одну поточну подію. У той час як багатопотокові системи моделювання і системи моделювання, що підтримують інтервальні події, можуть мати декілька поточних подій. В обох випадках існують серйозні проблеми з синхронізацією між поточними подіями.

5. Генератори випадкових чисел.

Дискретно-подієві моделі поділяються на детерміновані та стохастичні, в залежності від того, яким чином генеруються події і основні характеристики черг: час настання подій; тривалість обслуговування; кількість клієнтів, що надходять в чергу в одиницю часу. Стохастичні дискретно-подієві моделі відрізняються від моделей Монте-Карло наявністю годинника.

6. Статистика.

Основні дані, які збираються в системах дискретно-подієвого моделювання [3]: середня зайнятість (доступність) ресурсів; середня кількість клієнтів в черзі; середній час очікування в черзі.

7. Умова завершення.

Умовою завершення можуть виступати [3]: виникнення заданої події (наприклад, досягнення 10-хвилинного часу очікування в черзі); проходження заданої кількості циклів за годинами системи моделювання.

8. Реалізація.

Системи дискретно-подієвого моделювання - це, найчастіше, проблемно-орієнтовані мови програмування або бібліотеки для високорівневих мов [3].

ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНО-ПОДІЄВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

На відміну від часто використовуваної системної динаміки модельний час просувається або від події до події (подієво-орієнтований), або через дискретні проміжки часу (процесно-орієнтований) [4]. Дискретно-подієвий підхід застосовується у разі, якщо можна вважати, що змінні системи змінюються миттєво в певні моменти часу, що відбувається в технологічних процесах в приладобудуванні, які даний тип моделювання допомагає описати [4]. Для уявлення дискретно-подієвих моделей застосовується методологія подієвого графа. Дискретно-подієве моделювання - найбільш поширений підхід імітаційного моделювання, сфера його застосування досить широка: логістика;

соціально-економічні процеси; промисловість та ін. Описуються дискретно-подієві моделі у вигляді блоків, що обробляють заявки відповідно до заданих параметрів, і з'єднань між ними, що визначають послідовність операцій [4]. Технологічний процес є складною системою, в якій протягом певного часу об'єкт зазнає змін та проходить через різні операції. На процес впливають вхідні змінні та подієве просування об'єкту моделювання за операціями, на кожній з яких впливають різні змінні, тобто моделюється технологічний процес як процесно-подієво орієнтований в часі процес. Таким процесом є технологічний процес складання, імітаційну модель якого (рис.1) побудовано, використовуючи можливості дискретно-подієвого моделювання.

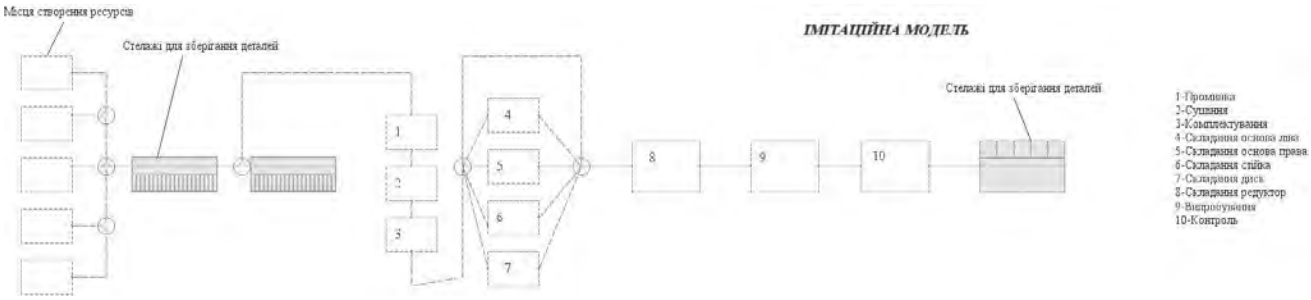


Рисунок 1. 2-D зображення імітаційної моделі технологічного процесу складання. Цифрами позначені:1-3–підготовчі операції,4-8 – операці складання, 9–випробування, 10 –контроль.

Таким чином, за допомогою використання спеціальних програмних засобів та можливостей дискретно-подієве моделювання дає можливість з великою подібністю відтворювати імітаційні моделі, зокрема технологічні процеси складання.

Результатами роботи моделі, що побудована засобами дискретно-подієвого моделювання, є діаграми (рис.2).

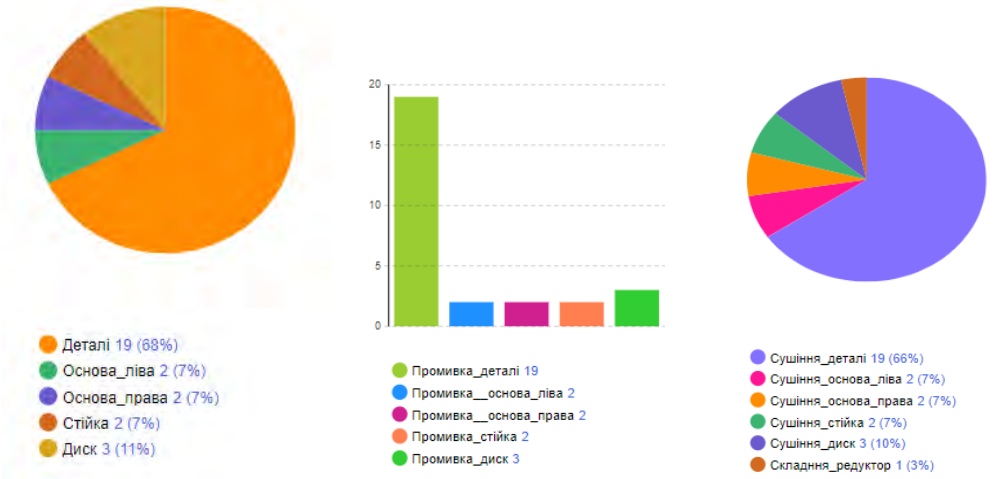


Рисунок 2. Діграми функціонування імітаційної моделі технолоігчного процесу складання.

На основі аналізу процесу роботи моделі та її стану й показників діаграм, роблять висновок про стабільність її роботи, наявність помилок, близькість до реальної системи, ефективність, наявність або відсутність потреби в оптимізації моделі.

ВИСНОВКИ

Розвиток імітаційного моделювання в останні роки відкриває можливості до застосування різноманітних методів для опису складних систем, в тому числі і технологічних процесів. Проведення експериментів з використанням моделі позбавляє від необхідності проведення експериментів в реальному житті і не заважає роботі виробництва [5]. 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 [6]. В залежності від складності системи, можна підібрати відповідний метод моделювання для повного його опису та реалізації його роботи, враховуючи всі фактори, що впливають на процес. При реалізації моделювання технологічних процесів в приладобудуванні допомагає дискретно-подієве моделювання, як один із засобів імітаційного моделювання, що має необхідні можливості для опису такого процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Дискретно-событийное и многоподходное моделирование. [Электронный ресурс]. URL: https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/.

[2] Дискретно-событийное моделирование. [Электронный ресурс].URL: https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=/com.anylogic.help/html/ui/de.html.

[3] Дискретно-подієве моделювання. [Электронный ресурс].URL: https://znaimo.com.ua/Дискретно-подієве_моделювання.

[4] Имитационное моделирование производственных систем предприятия. [Электронный ресурс].URL: http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-ukazaniya/Imitacionnoe-modelirovanie-proizvodstvennyh-sistem-predpriyatiya-TecnomatixPlantSimulaton-Elektronnyi-resurs-elektron-metod-ukazaniya-k-lab-rabote-53803/1/Рамзаева Е.А. Имитационное моделирование.pdf.

[5] Сорочинський, Д. Д. Підвищення якості приладобудівного виробництва засобами імітаційного моделювання / Д. Д. Сорочинський, С. П. Вислоух // 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. 176–179. – Бібліогр.: 7 назв.

[6] Сорочинський, Д. Д. Роль імітаційного моделювання в «розумному виробництві» / Д. Д. Сорочинський, С. П. Вислоух // 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 : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 123–125. – Бібліогр.: 6 назв.

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

УДК 004.356

О.В. Третяк, студентка гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИСТРОЇ ПРОТОТИПУВАННЯ ТА ПОВНОЦІННОГО 3D-ДРУКУ

Анотація. У статті розглянуто питання вибору принтеру для об'ємного друку. Надано коротку порівняльну характеристику технологій швидкого прототипування фотополімерами, пластмасами, металевими порошками. Розглянуто, у яких сферах застосовуються різні методи 3D-друку та яку приблизну цінову політику мають принтери і витратні матеріали для них.

Ключові слова: прототипування, 3D-друк, 3D-принтер, витратні матеріали, методи 3D-друку.

ВСТУП

Наразі все більшої популярності набирають 3D-принтери. Як для промислового використання, наприклад, виготовлення деталей методом SLM (селективного лазерного плавлення) та DMLS (прямого металевого лазерного спікання), так і для індивідуального – створення прототипів, різних моделей тощо. Для тих, хто тільки починає роботу з 3D-друком важливо знати у скільки обходитиметься виготовлення деталі чи виробу. Це стосується і витратного матеріалу, і самого 3D-принтера. Проте, в залежності від методу друку необхідно визначитися з видом 3D-принтеру. Екструзійні 3D-принтери використовується при друці пластмасами (FDM); дротяні – при електронно-променевому плавленні (EBF) майже будь-якими сплавами металів, прямому лазерному спіканні та електронно-променевій плавці (EBM), яка застосовується для титанових сплавів, здебільшого при виготовленні медичних інструментів та протезуванні; порошковий метод застосовується при вибірковому лазерному плавленні (SLM), вибірковому тепловому (SHS) та лазерному (SLS) спіканнях; при ламінуванні (LOM) працюють з папером, металевою фольгою, пластмасовою плівкою; фотополімери знайшли застосунок у полімеризації – стереолітографія (SLA) та цифрова світлодіодна проекція (DLP) [1].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Найбільш популярним та доступним є метод FDM. Для нього є велика кількість витратних матеріалів (табл.1), що використовуються за різних налаштувань самого принтера.

Таблиця 1. Матеріали для 3D-друку метод FDM

Показник / ***Пласт-маса***	***Швидкість друку, мм/с***	***Темпера-тура плавлення, °C***	***Коефіці-єнт подачі пласт-маси***	***Темпера-тура експлуата-ції, °C***	***Вартість Ø1,75/кг***	***Приблизна вартість принтеру***
ABS	30-60	240-260	0,85-0,95	-40..+80	350 грн.	7 180 грн.
PLA	30-80	200-220	0,97	-20..+40	540 грн.	
HIPS	30-80	230-245	0,85-0,95	-20..+80	350 грн.	
FLEX	20-40	245-260	1,03	-40..+100	490 грн.	8 100 грн.
RUBBER	10-40	230-240	1,04	-35..+85	1040 грн.	6 900 грн.
WAX	40-60	130-200			2400 грн.	9 950 грн.
Nylon	30-60	240-280	1,25	-30..+120	800 грн.	6 895 грн.
PET	30-80	220-260	0,95	-40..+70	700 грн.	7 500 грн.
SBS	40-60	190-210	0,8	-80..+65	600 грн.	6 690 грн.

Звісно, багато принтерів підтримують друк багатьма матеріалами. Перед друком іншою пластмасою необхідно очистити канал виходу витратних матеріалів, оскільки всі вони мають різну температуру друку. Наприклад, при зміні друку з ABS на WAX необхідно ретельно вичистити сопло, оскільки друк восковмісним WAX проводиться за менших температур і без очищення сопло засмітиться, що може призвести до виходу з ладу друкуючої головки.

У методах 3D-друку, що базуються на явищі полімеризації, використовуються різні смоли; в залежності від температури плавлення, інших налаштувань друкуючої машини – їх вартість сягає 850-1550 грн/л; смоли з температурою плавлення 18-35°C можуть коштувати 3 380 грн за 1,5 кг, а катридж зі смолою фотополімера об'ємом 3л коштуватиме до 10 800 грн. Найдоступніший принтер обійдеться у 8-14 тис. грн. Друк «повільними» смолами методом SLA [2] відбувається за принципом «засвічення по пікселям», тобто один шар матеріалу засвічується точково шляхом фокусування лазерного чи світлового променю. У технології DLP подається світло з проектора з високою інтенсивністю і тут використовуються більш дешевші матеріали. Засвічується повністю шар, тому друк відбувається швидше, ніж SLA, але якість отриманої моделі погіршується.

Як згадано вище, друк металами використовується у промислових масштабах. Більшість технологій, пов'язаних з таким типом виготовлення деталей запатентовані або передані права власності деяким компаніям.

Таблиця 2. Характеристики методів друку металами

Технологія	***SLM***	***DMLS***	***LMD***	***FFF***	***SLS***	***LC***
Вартість принтера	$140 000	На замов-лення	$250 000	$69 000	$120 000	На замов-лення
Мінімальна товщина стінки, мкм	150			50	100	
Товщина шару від, мкм	20-75	30-40	20	35	30	20
Швидкість друку мін. шару, $см^3$/год	55	100		100		100
Робоча камера, мм	280x280 x365	200x200 x500	600x400 x400	250x183 x150	135x135 x140	800x400 x500
Максимальна вага деталі, кг	150 кг	150 кг		10 кг	150 кг	66 кг
Діаметр плями лазера, мкм	45-75	500		(використ. металевий дріт)	50-80	

SLM та DMLS – два найбільш популярних метода адитивного виробництва з використанням металевих порошків. У число менш поширених технологій входять наплавлення лазером або потужним електронним променем, а також пошарове нанесення зв'язуючого матеріалу. Різниця між SLM (рис.1) та DMLS [3] зводиться до методу об'єднання часток. У SLM лазер розплавляє металевий порошок, а у DMLS часточки порошку нагріваються менше і спікаються між собою не переходячи у рідку фазу. Також використовуються підтримки, не зважаючи на те, що порошок пошарово розподіляється і нікуди не подінеться – залишається в зоні друку до його завершення.

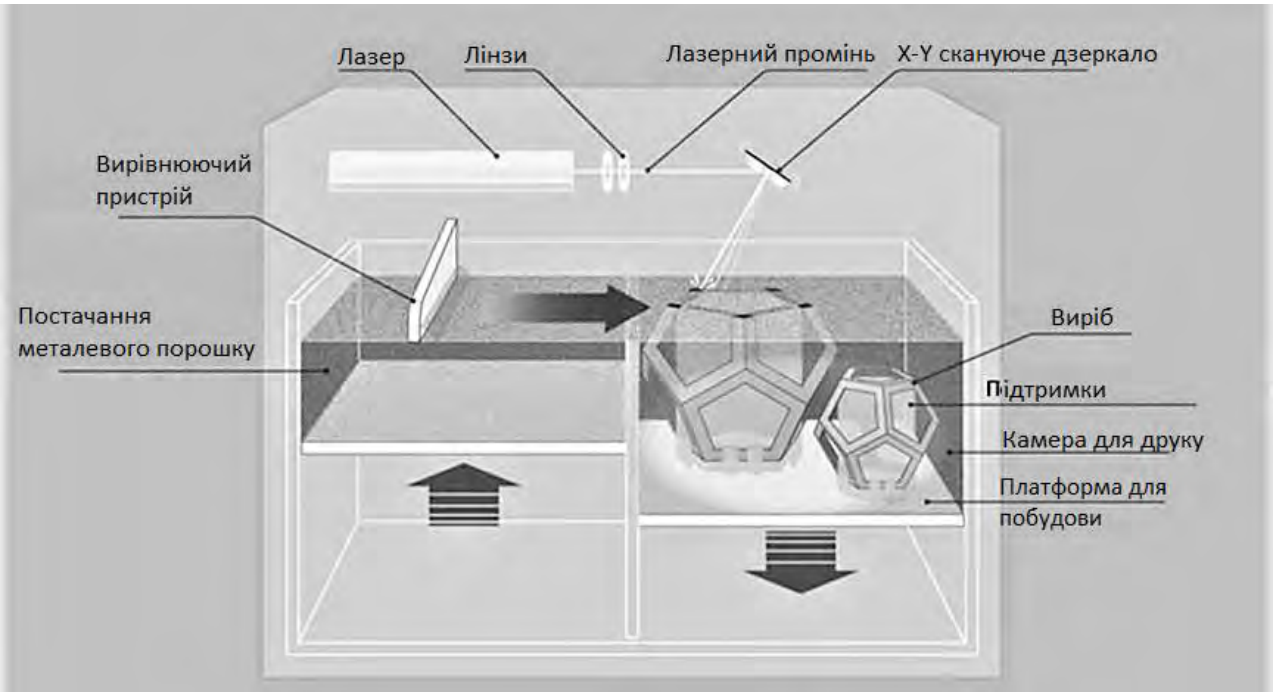


Рисунок 1. Схема процесу друку за SLM технології

Технологія лазерного осадження металів (LMD) – це метод, який частіше використовують при виготовлені деталей та виробів, які спроектовані за допомогою генеративних технологій. Також відомі методи прямого осадження металів (DMD) або плавки лазером (DED). Процес друку наступний: лазер створює на поверхні деталі плавильну ванну. Через сопло автоматично подається металевий порошок. Виникають зварені один з одним валики, структури на наявних основних корпусах або навіть цілі деталі. Дані методи застосовуються в таких галузях, як авіація, космонавтика, енерготехніка, нафтохімічна промисловість, автомобілебудування та медичне обладнання. Наприклад, технологію LMD можна комбінувати з лазерним зварюванням або різкою.

ВИСНОВКИ

Таким чином, на вибір пристрою для об'ємного 3D-друку впливають безліч факторів – витрати на матеріали для друку, технічне обслуговування пристрою, можливість налаштування параметрів, різноманітність використовуваних витратних матеріалів, які підтримуються пристроєм для друку. Друк за технологією FDM отримав зараз найбільшу популярність,

покращується та розвивається. Доступність полімерів є одним з ключових факторів при виборі технології, коли якість поверхні не має значної ролі, оскільки є способи постобробки поверхонь – шліфування наждачним папером, піскостуменева обробка та обробка парами або речовинами, що роз'їдають незначний шар пластмаси, згладжуючи поверхню. Патенти на методи стереолітографії не так давно втратили свою дію. Тож, ці методи успішно використовуються у стоматології, ювелірній справі, для виготовлення різних складних фігур тощо. Наразі значна частина методів друку металами захищена патентами та авторськими правами. Навіть вартість друкуючих машин необхідно уточнювати у виробника; не всі виробники вказують швидкість друку апарату, ціни на витратні матеріали. Про те, успішно друкуються ракетні двигуни, нестандартні деталі, на їх виготовлення витрачається менше часу, пост обробка проводиться швидше. Тому доцільно знати орієнтовні фінансові та часові витрати при використанні того чи іншого методу 3D-друку та застосовувані витратні матеріали для обґрунтованого та економічно ефективного вибору методу 3D-друку та відповідного 3D-принтеру на етапах підготовки виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Шкуро, А.Е. «Технологии и материалы 3D-печати» учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017 – 101 с.

[2] Patent 5155324 US, 1323K 26/00 (1992.10) 219/121. (1992.10) Method for selective laser sintering with layerwise cross-scanning / Carl R. Deckard, 1801 Pin Oak La., Round Rock, Tex. 78681; Joseph J. Beaman, 700 Texas Ave., Austin, Tex. 78705; James F. Darrah, 4906 Manchaca, Austin, Tex. 78745 — № 5155324 ; заявл. 09.11.1990 ; опубл. 13.10.1992, Continuation-impart of Ser. No. 545,142, Jun. 22, 1990. Режим доступу [URL]: https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5155324.pdf

[3] Patent 0288207 US, B22F 3/1055 (2013.01); B22F 2003/1057 (2013.01); B33Y 10/00 (2014.12). (2016.10) Direct metal laser sintering machine / David Evan Gambardella, United Technologies Corporation, Hartford, CT (US — № 2016/0288207 A1; заявл. 06.04.2015; опубл. 13.10.1992, Appl. No.: 14/679,190, Oct. 6, 2016. Режим доступу [URL]: https://patents.google.com/patent/US20160288207A1/en

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

УДК 621.757

В.Л. Федорчук, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ IDEF0 В ПРОЕКТУВАННІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Анотація Дана стаття має на меті надати інформацію про використання методології структурного аналізу та проектування виробничих процесів, її основні відмінності та результати дослідження.
Ключові слова: IDEF0, ICAM, DFD, модель.

ВСТУП

Розвинена організація - це система різних і не завжди взаємопов'язаних процесів (окремих напрямків діяльності, наприклад, виробництво продукції металообробки, виробництво конструкцій приладів, промислове виробництво тощо). Однак з першої спроби навіть досвідченому керівникові важко порахувати «кількість процесів» в рамках одного підприємства (компанії). Практично завжди стоїть завдання не просто перерахувати процеси, а визначити їх взаємодію, по можливості, оптимальним чином. Отже, в основі структуризації процесів лежить поняття бізнес-процесу, й від того наскільки правильно буде розроблена система взаємодії бізнес-процесів, багато в чому буде залежати ефективність функціонування підприємства.

На сьогоднішній день існує безліч методологій моделювання виробничих-процесів, в даній статті зупинимося на детальному огляді та налаштуванні методології IDEF0 в реаліях роботи підприємств.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Методологію IDEF0 можна вважати наступним етапом розвитку добре відомого опису функціональних систем SADT (Structured Analysis and Design Teqnique). Історично, IDEF0, як стандарт, був розроблений в 1981 р в рамках великої програми автоматизації промислових підприємств, яка носила позначення ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) й була запропонована департаментом Військово-Повітряних Сил США. Власне сімейство стандартів IDEF успадкувало своє позначення від назви цієї програми (IDEF = ICAM DEFinition). В процесі практичної реалізації, учасники програми ICAM зіткнулися з необхідністю розробки нових методів аналізу процесів взаємодії в промислових системах. При цьому крім вдосконаленого набору функцій для опису виробничих-процесів, однією з вимог до нового стандарту була наявність ефективної методології взаємодії в рамках «аналітик-фахівець».

Актуальність використання IDEF0 при проектуванні виробничих процесів полягає у тому що в наш час потрібно зменшувати вартість усіх процесів та їх планувань, та підвищувати можливість внесення удосконалень та змін після введення процесів у роботу.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перш ніж додавати зміни, необхідні для використання IDEF0 у виробничих процесах, потрібно прийняти до уваги основні поняття графічної мови IDEF0. В основі IDEF0 лежать чотири основні поняття: [2]

Функціональний блок (Activity Box), який графічно зображується у вигляді прямокутника (див. Рис. 1) і уособлює собою деяку конкретну функцію в рамках даної системи. За вимогами стандарту назва кожного функціонального блоку має бути сформульовано в дієслівним чином (наприклад, «виробляти послуги», а не «виробництво послуг»).

Інтерфейсна дуга (Arrow), або потоки (стрілки). Інтерфейсна дуга відображає елемент системи, який обробляється функціональним блоком або надає інший вплив на функцію, відображену даним функціональним блоком.

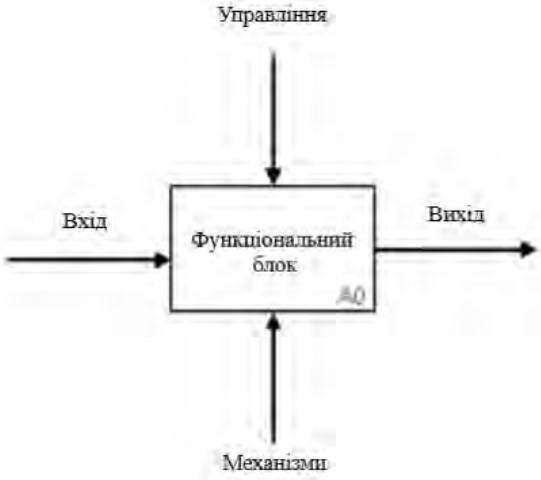


Рисунок 1. Приклад функціонального блоку

Декомпозиція (Decomposition), яка застосовується при розбитті складного процесу на складові його функції. При цьому рівень деталізації процесу визначається безпосередньо розробником моделі. Декомпозиція дозволяє поступово і структуровано представляти модель системи у вигляді ієрархічної структури окремих діаграм, що робить її менш перевантаженою і легко засвоюваній.

Глосарій, для кожного з елементів IDEF0: діаграм, функціональних блоків, інтерфейсних дуг існуючий стандарт передбачає створення і підтримку набору відповідних визначень, ключових слів, оповідних викладів тощо, які характеризують об'єкт, відображений даними елементом.

Розглянемо використання методології IDEF0 в роботі звичайних технологів на виробництві. Зазвичай IDEF0-моделі несуть в собі складну і концентровану інформацію, і для того, щоб обмежити їх перевантаженість і зробити «легкими для читання», приймемо відповідні обмеження складності створення моделей: [4]

- кількість функціональних блоків на діаграмі три-шість. Верхня межа (шість) змушує розробника використовувати ієрархії при описі складних предметів, а нижня межа (три) гарантує, що на відповідній діаграмі досить деталей, щоб виправдати її створення;

- кількість частин що входять/виходять з функціонального блоку інтерфейсних дуг чотири (див. Рис. 2) . Зрозуміло, що строго слідувати цим обмеженням зовсім необов'язково, однак, вони є досить практичними в реальній роботі.

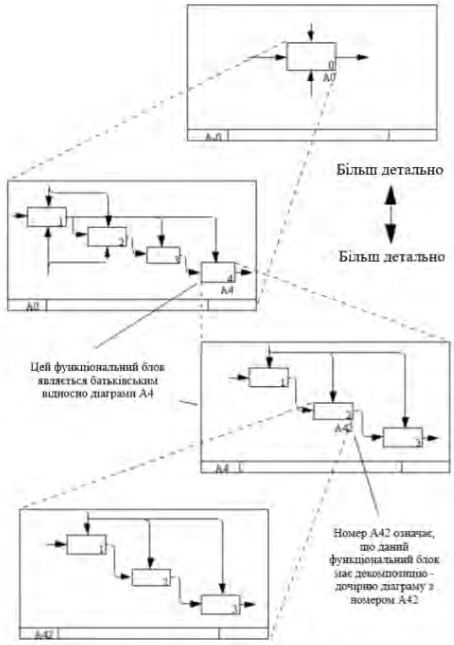


Рисунок 2. Приклад деталювання моделі в IDEF0

Добавимо до стандарту IDEF0 набір процедур, що дозволять розробляти і погоджувати модель великою групою людей, що належать до різних різних професій, які зв’язані з моделюванням. Процес розробки тепер є ітеративним і складається з наступних умовних етапів:

- створення моделі групою фахівців, що відносяться до різних сфер діяльності підприємства. Ця група називається авторами (Authors). Побудова первинної моделі є динамічним процесом, протягом якого автори опитують компетентних осіб про структуру різних процесів. На основі наявних положень, документів і результатів опитувань створюється чернетка моделі.
- поширення чернетки для розгляду, погоджень і коментарів. На цій стадії відбувається обговорення чернетки моделі з широким спектром компетентних осіб (вищих за ступенем інженерів) на підприємстві. При цьому кожна з діаграм чорнової моделі письмово критикується і коментується, а потім передається автору. Автор, в свою чергу, також письмово погоджується з критикою або відкидає її з викладом логіки прийняття рішення і знову повертає відкориговану чернетку (в нашому випадку технологія створення тех-процесу) для подальшого розгляду. Цей цикл триває до тих пір, поки автори і читачі не прийдуть до єдиної думки.
- офіційне затвердження моделі. Затвердження узгодженої моделі відбувається керівником робочої групи в тому випадку, якщо у авторів моделі і читачів відсутні розбіжності з приводу її правильності. Остаточна модель являє собою узгоджене уявлення про процес (систему) з заданої точки зору і для заданої мети.

Точка зору визначає основний напрямок розвитку моделі та рівень необхідної деталізації. Наприклад при розробці моделі у приладобудуванні потрібно брати до уваги точку зору замовника, керівництва підприємства, працівників, які виконуватимуть роботу, та органів контролю виробництва. Чітке фіксування точки зору дозволяє розвантажити модель, відмовившись від деталізації і дослідження окремих елементів, які не є необхідними, виходячи з обраної точки зору на систему. Наприклад, функціональні моделі одного і того ж підприємства з точок зору головного технолога і фінансового директора будуть істотно відрізнятися за спрямованістю їх деталізації. Це пов'язано з тим, що в кінцевому підсумку, фінансового директора не цікавлять аспекти обробки сировини на виробничих верстатах, а головному технологу ні до чого промальовані схеми фінансових потоків. Правильний вибір точки зору істотно скорочує тимчасові витрати на побудову кінцевої моделі.

Наочність графічної мови IDEF0 робить модель цілком зрозумілою і для осіб, які не брали участі в проекті її створення, а також ефективною для проведення показів і презентацій.

ВИСНОВКИ

Як висновок можна побачити доцільність використання системи SADT (IDEF0) її простоту використання, та високу якість реалізації на практиці. Також зрозуміла доцільність застосування її при проектуванні виробничих процесів виготовлення деталей, вузлів та приладів. Надалі, на базі побудованої моделі можуть бути організовані нові проекти, націлені на утворення змін на підприємстві (в системі).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Марк Девід А., Мак Гоуен, Клемент Л. «*Методологія структурного аналізу і проектування*» SADT, 1993. - с. 89.

[2] Черемних С. В. «*Структурний аналіз систем IDEF-технології*» - Фінанси і статистика, 2001. - с. 147.

[3] Тадео Мурата. «*Мережі Петрі: властивості, аналіз, застосування*» - 1989 – с. 77, с. 41-85.

[4] Куликов Г.Г., Брейкін Т.В., Арьков В.Ю. «*Інтелектуальні інформаційні системи*»: Навч. посібник. - Уфа, 1999 – с. 129.

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

УДК 621.52

В.І. Юрковець, аспірант гр. ПБ-01ф, к.т.н., доц. С.П. Вислоух
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ

Анотація. В статті виконано аналіз процесу складання. Запропоновано критерії вибору методів адаптації розташування деталей, що з'єднуються при автоматизованому складанні. Визначено рівні деталізації математичних моделей методів адаптації, для кожного з яких встановлено показники ефективності. Наведено приклади визначення величини запропонованих критеріїв.

Ключові слова: автоматизоване складання, орієнтація деталі, кутова поєднання, адаптуючий пристрій,

ВСТУП

В автоматизованому виробництві важливу роль відіграє оптимізація технологічного процесу з метою підвищення показників швидкодії, надійності та ефективності складання деталей.

Вагому увагу треба приділяти ефективному застосуванню методів адаптації розташування деталей при автоматизованому складанні, яка визначається результатами керування рухом з’єднувальної деталі.

Оцінка ефективності керування суміщенням з’єднуваних поверхонь може бути виконана за наступними показниками: початкова неузгодженість поверхонь, що з’єднуються, при якому забезпечується надійне поєднання поверхонь; час, що необхідний на адаптацію з’єднувальної деталі; похибка приведення з’єднувальної деталі в узгоджений стан.

Ці показники дозволяють оцінити ефективність автоматизованого суміщення деталей тільки для конкретних засобів адаптації. В той же час, на ранніх стадіях проектування при виборі методу адаптації необхідно виконувати порівняння очікуваної ефективності методів поєднання. Тому доцільно розглянути можливість введення критеріїв порівняння методів адаптації на різних рівнях узагальнення при їх описі.

АДАПТАЦІЯ З’ЄДНУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Найбільш загальний опис методів керування орієнтацією з’єднувальної деталі отримано у вигляді цільових функцій [1]. Такий опис дозволяє абстрагуватися від цілого ряду параметрів, формалізувати при цьому єдиний найбільш важливий показник методу – алгоритм поєднання поверхонь, що сполучаються.

Процес адаптації розташування з’єднувальної деталі при автоматизованому складанні для більшості модулів з'єднань може бути розділений в просторі і в часу на два етапи [2]:

– попередня (відносна) орієнтація деталі при русі першої ділянки програмної траєкторії, що забезпечує поєднання початку рухомої системи координат, яка пов'язана зі з’єднувальною деталлю, з початком базової системи координат;

– заключна (кутова) орієнтація деталі при русі по другій ділянці програмної траєкторії, що забезпечує автоматизоване суміщення модулів базових поверхонь деталей.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ

На початковій ділянці програмної траєкторії суміщення деталей, вважаємо, що координатами адаптації є лінійні зміщення системи координат, яка пов'язана зі з'єднувальною деталлю, щодо програмної траєкторії. Позначимо радіус-вектор, що з'єднує початок системи координат з початком пов'язаної рухомої системи координат, $\bar{q}(t)$, а радіус-вектор, що з'єднує початок нерухомої системи координат з точкою програмної траєкторії, - $\bar{q}_F(t)$ (рис. 1) [2]. В другому випадку рухомих систем координат може бути кілька і радіус-вектор треба відносити до кожної з них.

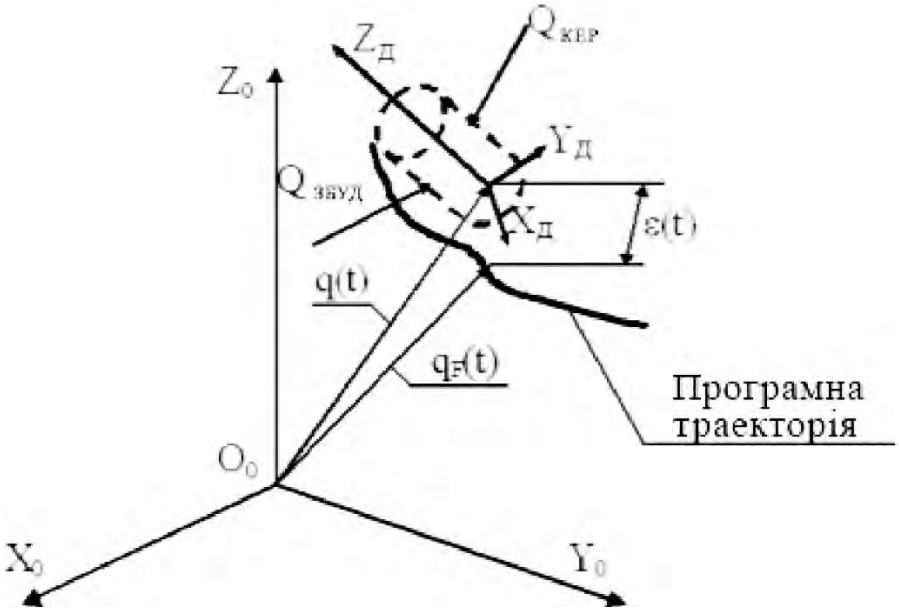


Рис.1 Схема переміщення з'єднувальної деталі на першому етапі адаптації.

Неузгодженість між цими векторами в даний момент часу характеризується величиною ε. Для досягнення мети першого етапу руху з'єднувальної деталі можливі різні варіанти керування станом початку системи координат $X_Д Y_Д Z_Д$. При цьому має формуватися керуючий вплив $\bar{Q}_{КЕР}$, що враховує програмне і дійсне значення координат. Відхилення від програмного руху пов'язані з дією збуджувальних факторів $\bar{Q}_{ЗБУД}$.

Керування на другому етапі – кутове поєднання поверхонь, що сполучаються, тому координатами адаптації є кути повороту з'єднувальної деталі. Особливістю управління на цьому етапі треба вважати відсутність конкретної програмної траєкторії. На другому етапі адаптації рух деталі може здійснюватися за будь-якій множині траєкторій, що відповідають умові [2]

$$\Theta_i(t) \le \theta_i(t), T_1 \le t \le T, \qquad (1)$$

де $\Theta_i(t)$ – поточне значення *i*-ї координати адаптації в момент часу *t*;

$\theta_i(t)$ – граничне значення *i*-ї координати адаптації в момент часу *t*.

Схема переміщення з'єднувальної деталі на другому етапі адаптації наведена на рисунку 2. Координатами адаптації тут є кутові координати $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$.

Переміщення з’єднувальної деталі здійснюється по одній з програмних траєкторій, що розташовані всередині поверхні Σ. В процесі переміщення система координат $X_Д Y_Д Z_Д$, що пов'язана зі з’єднувальною деталлю 1, змінює кутові положення відповідно до наведених умов. Граничні розташування осі $Z_Д$ для моментів часу $t_{j-1} < t_j < t_n$ позначено відповідно до Z_{j-1}, Z_j, Z_n. Лінійна неузгодженість систем координат $X_Д Y_Д Z_Д$ і $X_0 Y_0 Z_0$, що пов'язана з базовою деталлю 2, в момент часу T_1 не повинна перевищувати величини Δ, яка визначається умовами складання.

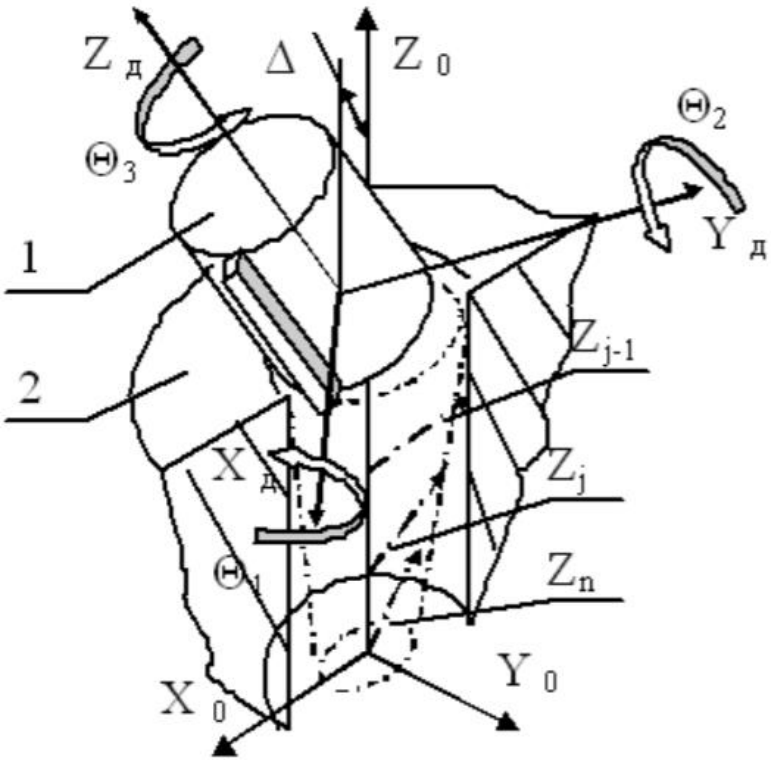


Рис. 2. Схема переміщення з’єднувальної деталі на другому етапі адаптації.

Оскільки алгоритм поєднання визначається видом програмної траєкторії руху деталі, як критерії для порівняння алгоритмів суміщення можуть бути запропоновані характеристики програмних траєкторій. До них відносяться:

– відношення координат адаптації k до керованих координат l [2]:

$$\chi_{11} = \frac{k}{l}; \tag{2}$$

– відношення габаритного розміру деталі r_∂ до довжини керованого переміщення R [2]:

$$\chi_{12} = \frac{r_\partial}{R}. \tag{3}$$

При цьому оцінки застосовності того чи іншого методу будуть носити наближений характер, що вимагає подальшого уточнення в процесі деталізації в описі методу.

Другим рівнем деталізації методу суміщення вважають розробку структурних схем механізмів адаптації, що реалізують спосіб керування рухом

деталі. Основна увага при цьому приділяється структурі зворотних зв'язків, тому що саме вони забезпечують динамічні і метрологічні характеристики пристрою. Тому основним показником, що визначає можливість замикання зворотних зв'язків, є керованість пристрою, що виражається найменшим значенням власної частоти пристрою за координатами адаптації [3]:

$$\chi_{21} = \min(\omega_{0i}) \quad (4)$$

Додатковим показником, що дозволяє оцінити можливість зміни параметрів зворотного зв'язку в необхідних межах для формування пошукових режимів роботи пристрою, є похідна змінної власної частоти по вхідному параметру пристрою $S_{вх}$ [3]:

$$\chi_{22} = \frac{\partial \omega_0}{\partial S_{вх}} \quad (5)$$

Ці показники дозволяють оцінити динаміку зміни характеристик зворотних зв'язків в залежності від зміни вхідних змінних.

Третій рівень деталізації – це вибір елементів структурної схеми, тобто конструктивне опрацювання способу суміщення. З урахуванням основних функцій засобів адаптації його конструктивний варіант повинен включати такі структурні компоненти: базову установчу поверхню; пов'язану установчу поверхню; переміщуваний елемент.

Для визначення характеру зв'язків доцільно використовувати відношення жорсткості конструктивних елементів настановної поверхні до наведеної жорсткості переміщуваного елемента, що включає і жорсткість з'єднувальної деталі [4]:

$$\chi_{31} = \frac{C_{вст}}{C_{пер}}, \quad (6)$$

де $C_{вст}$ – жорсткість елементів настановної поверхні; $C_{пер}$ – приведена жорсткість переміщуваного елемента.

При значеннях $\chi_{31} \geq 1$ зв'язки, що реалізовані установочними, матимуть обмежувальний характер. При значеннях $\chi_{31} \leq 1$ зв'язки носять орієнтуючий характер. Розглянемо відносне переміщення з'єднувальної деталі за координатами адаптації [4]:

$$\chi_{32} = \frac{r}{s}, \quad (7)$$

де r – переміщення деталі по координаті адаптації; S – переміщення робочого органу складальної системи.

При $\chi_{32} \geq 1$ перетворювач ефективно забезпечує закон переміщення з'єднувальної деталі, при $\chi_{32} \leq 1$ перетворювальний зв'язок неефективний. Критерії для порівняння методів і засобів адаптації наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Критерії для порівняння методів і засобів адаптації

№	***Етап розробки (рівень деталізації)***	***Критерії для порівняння***
1	Вибір методу суміщення (метод управління рухом з'єднувальної деталі)	Параметри програмної траєкторії χ_{11}, χ_{12}
2	Вибір способу поєднання (розробка структурної схеми пристрою)	Показники керованості χ_{21}, χ_{22}
3	Вибір елементної бази (розробка конструктивних варіантів пристрою)	Характеристики структурних компонентів χ_{31}, χ_{32}

ВИСНОВКИ

На основі аналізу критерії ефективності методів і засобів автоматизованого складання деталей, можна встановити оптимальний метод адаптації розташування деталей при автоматизованому складанні тим самим оптимізувати процес складання деталей.

Запропоновані показники ефективності автоматизованого складання деталей дозволяють дати об'єктивну оцінку засобів автоматизації складальних операцій на різних стадіях їх розробки, розпочинаючи з вибору методу автоматизованого суміщення деталей. Дані критерії можуть бути використані для визначення оптимального методу адаптації деталі в процесі автоматизованого складання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Житников, Ю.З. Обоснование эффективных методов и средств адаптации для автоматизации сборочных операций / Ю.З. Житников, Б.Ю. Житников, А.Л. Симаков // Конструкторско-технологическая информатика. – М.: Станкин, 2000. – С. 190-192.

[2] Симаков, А.Л. Согласование этапов ориентации присоединяемой детали при движении по поисковой программной траектории совмещения / А. Л. Симаков, Д. А. Симаков // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – С. 20-22.

[3] Комарова Т.В. Моделирование и оптимизация технологических систем: Учеб. Пособие; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н.Новгород, 1999. – 227 с.

[4] Симаков, А.Л. Обоснование выбора кинематической схемы устройства пассивной адаптации и ее конструктивная реализация / А.Л. Симаков, О.Н. Кабаева // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – С. 20-25.

УДК 681.625.8

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

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ FDM 3DДРУКУ

Анотація. В статті розглядаються питання виготовлення деталей шляхом 3Dдруку. Наведено аналіз параметрів якості отриманих деталей та причини виникнення недоліків друку. Пропонується для підвищення параметрів якості деталей забезпечити мікрокліматичні умови 3D їх друкування.

Ключові слова: адитивне виробництво, 3D друк, якість деталі, параметри якості, температурний режим, вдосконалення конструкції принтера.

ВСТУП

Адитивне виробництво набуло широкого розповсюдження в промисловості та бізнесі. Велика номенклатура матеріалів дозволяє створювати різноманітні об’єкти починаючи від деталей ракет й закінчуючи дитячими іграшками. Простота використання, швидкість виготовлення та дешевизна відповідного обладнання в сукупності сприяли широкому розповсюдженню деяких адитивних технологій [1]. Однією з таких технологій є FDM 3Dдрук. Він має дві основні переваги: дешевизна обладнання та матеріалів, що дозволило цьому методу отримати широке розповсюдження не лише на підприємствах, а також у малому бізнесі та у ентузіастів. FDM 3Dдрук на сьогодні, в основному, використовується в сферах приладобудування, швидкого прототипування та художнього друку. Основними недоліками технології є низька точність форми отриманих поверхонь, наслідком чого є необхідність пост оброблення поверхонь отриманої деталі[1-2]. Ще одним суттєвим недоліком цієї технології є різні міцнісні характеристики виробу в залежності від напрямку вектору прикладеної сили, а також висока шорсткість бокових поверхонь. Основною причиною виникнення цих недоліків є метод отримання виробів. Якщо цей метод детально розглянути, то можна побачити, що неточності форми для всіх поверхонь та висока шорсткість торцевих поверхонь виникає через пошарове нанесення матеріалу. Це особливо має місце в деталях великих габаритів. Тут окрім описаних вище недоліків з’являється ще один – деформація деталі за рахунок внутрішніх напружень та швидкого і нерівномірного охолодження шарів, що призводить до отримання бракованих виробів.

ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Аналіз параметрів якості поверхонь деталей, що отримані методом 3D друку, дозволяє виділити похибки форми, нерівномірну шорсткість в різних напрямках та площинах, а також раковини та наплавлення.

Поверхні деталей, отриманих методом 3D друком, поділяються на криволінійні, горизонтальні, вертикальні, площинні під нахилом тощо. Для кожного відповідного виду поверхонь існують свої специфічні недоліки друку за допомогою 3D принтері. Але причиною виникнення більшості з цих недоліків є процес отримання деталі – пошарове наплавлення матеріалу. При більш детальному розгляді даного процесу можна встановити, що наплавлений

матеріал погано розтікається по поверхні деталі, й відповідно між двома нитками матеріалу, що були наплавлені поруч, утворюється невелика канавка. Приклад такої поверхні зображений на рисунку 1. Таким чином ми отримуємо певну «хвилястість» поверхні. Одночасно це має таку перевагу. Внаслідок швидкого застигання пластику є можливість «будувати» навісні поверхні без використання додаткових підтримок, що, в свою чергу, дає можливість створювати отвори та порожнини всередині деталі. Також треба відзначити суттєвий вплив на параметри якості поверхонь марки матеріалу. Деякі пластики, при умові використання за оптимальних температурних режимів, досить пластичні і добре розтікаються по поверхні, а інші ж навпаки – не достатньо розтікаються й мають погані показники адгезії між шарами. Варто також враховувати недоліки безпосередньо друку. Це не проливи або навпаки переливи пластику, що призводить до утворення бугорців або впадин, які в подальшому може вплинути на наступні шари. З врахуванням наведеного вище в повній мірі позбутись недоліків якості поверхні, нажаль, не вдасться. Але є можливість суттєво зменшити їх вплив на якість поверхні деталі шляхом використання оптимальних температурних режимів друку та підтримки певних мікрокліматичних умов.

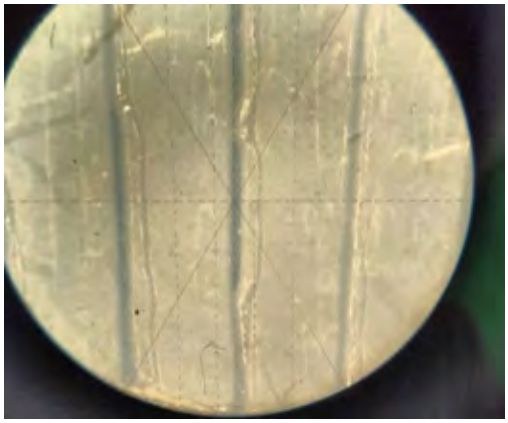


Рис. 1. Світлина поверхні, що отримана 3D друком.

МІКРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ 3D ДРУКУ

В дослідженнях [3-4] показано як температурні параметри друку впливають на якість поверхонь отриманих деталей. Але в сучасних установках друкування підтримуються лише температурні режими безпосереднього друку деталі, тобто режими нагрівання і охолодження сопла й так званого «hotend» сопла. Цього режиму вистачає для отримання доброї якості невеликих за розміром поверхонь, коли за час друкування шару сусідні нитки нанесеного матеріалу не встигають охолонути до повного затвердіння.

В деяких установках використовуються додаткові нагрівачі, що встановлюються під базуючу поверхню (столик-основу) принтера. Це дозволяє незначно знизити швидкість охолодження надрукованих шарів деталі, але існують суттєві обмеження по діапазону температур та й температурний градієнт при такому виді підігріву не є оптимальним, адже температура середовища, а отже і якість друку знижується з віддаленням від нагрівача, тобто із зростанням висоти виробу. Зазвичай нагрів в таких установках використовується лише при друкуванні перших кількох шарів, щоб покращити адгезію між столиком та деталлю, що друкується.

Для усунення такого недоліку пропонується модернізувати принтер шляхом використання додаткового нагрівача та кожуха, що утримуватиме весь об’єм друку деталі в певному температурному режимі, буде захищати зону друку від протягів (температурного впливу зовнішнього середовища). В

результаті вказаних вище модернізацій можна отримати кращий температурний градієнт на об'ємі деталі, що дозволить отримати більш якісні вироби за критерієм значення шорсткості поверхонь деталі, а також збільшить кінцеву міцність деталей на розрив за рахунок кращої дифузії між шарами нанесеного пластику.

ВИСНОВКИ

На процес друку, а отже і на якість отриманих деталей впливають багато факторів. Одним з ключових факторів є температурні режими друку. Сучасне устаткування дозволяє регулювати лише безпосередньо температуру сопла (температуру друку пластику), не враховуючи при цьому температури зовнішнього середовища. Відомо, що більшість моделей принтерів мають відкриті корпуси й за рахунок цього виріб може охолоджуватись не рівномірно. Тому зростає ймовірність отримання браку як за формою та якісними характеристиками поверхонь, так внаслідок «аварійних ситуації» (зміщення деталі під час друку або повний її відрив від столика).

Описані вище вдосконалення конструкції принтера дозволять покращити процесу друку, що в свою чергу призведе до зменшення часу повного циклу виготовлення виробу. Зменшення необхідності, а отже і часу, що необхідне на пост обробку деталі, покращать її міцнісні характеристики. Це дозволить знизити кінцеву вартість та тривалість виготовлення і оброблення виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Чонка Е. Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3d-принтері / Е. Я Чонка, В. С. Антонюк // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні : збірник наукових праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 10-11 грудня. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури, 2019. – С. 197-200.

[2] Чонка Е. Я. Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Сєров // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент : збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції, 6–9 листопада. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.

[3] Яригін В. А. Особливості отримання прототипів за допомогою 3d друку / В. А Яригін, С. П Вислоух // Погляд у майбутнє приладобудування : збірник наукових праць XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 13-14 травня. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури, 2020. – С. 139-142.

[4] Яригін В. А. Дослідження параметрів якості деталей, отриманих шляхом 3d друку / В. А Яригін, С. П Вислоух // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня. – К. : Державний університет «Житомирська політехніка» – С. 125-126.

Секція 4.
Ефективність інформаційних технологій при проектуванні систем вимірювання механічних величин

УДК 621

В.І. Райхіль, студент гр. ПМ-91мп., професор д.т.н. Гераїмчук М.Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИБІР НАЙАКТУАЛЬНІШИХ НА ДАНИЙ МОМЕНТ СПОСОБІВ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ

Анотація IoT розвивається надзвичайно швидко, способи зв'язку змінюються та розвиваються. В цій статті описано найефективніші способи передачі данних за допомогою бездротового зв'язку за для створення систем енергомоніторингу. Описуються достоїнства та недоліки найпопулярніших систем що використовуються у данному секторі.

Ключові слова : IoT, SigFox, Wheitghless, LoRaWAN.

ВСТУП

Фраза **„Інтернет речей" (IoT)** поширена скрізь. IoT - це підключення машин або, як ми їх називаємо, „речей", які раніше були „німими об'єктами" до Інтернету, щоб передавати зібрані ними дані , стежети за ними і дати їм можливість «розмовляти між собою».

Всі ці пристрої в основному просто збирають дані. Ця інформація використовується для впорядкування, маніпулювання та вимірювання способу взаємодії зі світом.

У випадку підключених `` речей ", які тепер відомі як `` розумні пристрої " через їх здатність збирати та передавати інформацію, кожен з них надсилає байти даних через Інтернет до програми, яка інтерпретує та колекціонує ці дані у цінну інформацію. Тоді ваш постачальник послуг та виробник продукту можуть використовувати ці відомості для досягнення різноманітних цілей - від підвищення продуктивності пристрою та покращення його використання до виявлення того, як і коли вони повинні надавати вам додаткові послуги чи товари [1].

Про те звернімося до Енергоменеджменту, що є однією з найважливіших та найпоширеніших проблем використання IoT. Безліч датчиків та девайсів що використовуються людством створені за для полегшення збору та обробки інформації, що неспинним потоком лине на нас з усіх боків, починаючи від заряду акамулятора вашго смартфону, закінчуючи інформацією про кількість витраченої вами гарячої води в опалювальний період. І якщо зі смартфоном все зрозуміло, то який краще тип передачі даних обрати для маленьких девайсів та датчиків, що використовуються, скажімо, для обліку води, газу і т.і..

МЕТА РОБОТИ

Порівняння та аналіз найпоширеніших існуючих способів бездротової передачі даних з метою знаходження оптимального за для створення системи енергомоніторингу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У більшості випадків інтернету речей потрібні кілька технологій підключення.

У багатьох, розвинених системах інтернету речей використовуються певна необхідна суміш технологій для підключення. Все залежить від мети створення

даної мережі, а пропозиція величезна: від фіксованих мереж та бездротових ip-мереж до бездротових персональних мереж, малопотужних бездротових рішень і навіть супутників; існують комбінації поєднання для зв'язку для всіх випадків.

Більше того, в рамках кожного типу рішень для підключення часто використовуються різні типи передачі даних, кожен зі своїми характеристиками та специфікаціями.

Як приклад: у потужному широкосмуговому підключенні (lpwa), що використовується в додатках, які потребують тривалого часу автономної роботи, мають обмежені потреби в даних і повинні охоплювати ширшу область, існує кілька позаклітинних *(поза ліцензованим мобільним спектром),* способів бездротового зв'язку таких як lora, sigfox, ingenu та weightless (sig) ці способи одні з найбільш відомих. Однак є також новіші стільникові рішення (ліцензований спектр мобільних операторів) знову ж таки з різними формами та на різний смак: nb-iot (narrowband iot або cat-nb1), lte-m (cat-m1) тощо. у стільниковому просторі нам також потрібно згадати 5g, а також 3g тощо, як ви побачите на прикладі нижче. те саме різноманіття стосується і рішень зв'язку в умовах короткого радіусу дії тощо [2].

Рис. 1 Приклади бзпровідних технологій та їх застосування в IoT

З рисунку 1 очевидно, що для питання енергомоніторингу краще за все підходять технології третього блоку, зі швидкістю передачі данних до 10 kbit/s Детальніше розглянемо три з цих способів предачі даних.

SigFox

SigFox в даний час використовує найпопулярніший європейський ISM діапазон на 868 МГц (як визначено стандартом ETSI і CEPT), а також 902 МГц в США (як визначено FCC), в залежності від конкретних регіональних правил. Система розгорнута з використанням можливостей сучасних стільникових мереж. Пристрій може відправити до 140 повідомлень в день, і кожне повідомлення може містити до 12 байт корисних даних. 12 байт покриває потреби пристроїв, які передають дані, такі як місце розташування пристрою, індекс споживання енергії, сигнал тривоги або будь-який інший тип основний сенсорної інформації. Також можна передавати до 4 повідомлень з 8 байт корисних даних на кожен пристрій на добу.

Переваги

- найбільше покриття
- висока проникаюча здатність в міській забудові
- наднизьке споживання енергії, за оцінками до 20 років роботи сенсора від 2-х батарей AA
- гнучкість в плані конструкції антени
- протокол SigFox сумісний з існуючими трансиверами
- низька вартість

Недоліки

- низька швидкість передачі даних
- залежність від стільникового інфраструктури
- обмежена стійкість

Wheitghless

Weightless - група відкритих технологічних стандартів зв'язку LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) для обміну даними між базовою станцією і пристроями. Використовуються в суб-гігагерцовому діапазоні неліцензованих частот. Weightless-N використовує технологію Ultra Narrow Band (UNB), є стандартом однобічного зв'язку. Найекономічніший стандарт в групі як з точки зору витрат, так і по енергоспоживанню. Weightless-W використовує частоти TVWS (TV white space, невикористовувані частоти телевізійного спектра) Weightless-P - останній із стандартів, введений в липні 2015 року, повністю двосторонній, підтримує всі основні діапазони має трохи меншу дальність і більш високе енергоспоживання.

Переваги

- відкритий стандарт
- велика дальність
- висока проникаюча здатність в міській забудові
- низьке енергоспоживання, за оцінками до 10 років роботи сенсора (Weightless-N)
- різні неліцензованому частоти (Weightless-P)
- підтримує особисті та громадські мережі
- висока безпека
- низька вартість (особливо Weightless-N)

Недоліки

- низька швидкість передачі даних [3].

LoRaWAN

Технологія представлена в двох частинах - LoRa, фізичний рівень і протокол зв'язку LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), визначає протокол зв'язку і архітектуру системи для мережі, в той час як фізичний рівень LoRa забезпечує зв'язок на великі відстані . Протокол зв'язку LoRa WAN забезпечує надійний зв'язок, захищений зв'язок і додає додаткові заголовки до пакетів даних.

переваги LoRaWAN

- Широка зона покриття, яка вимірюється в кілометрах
- Працює на вільних частотах, без оплати за використання технології
- Низький рівень споживання енергії (час автономної роботи 2-5 р.)
- Один пристрій LoRa Gateway призначений для обслуговування тисяч кінцевих пристроїв або вузлів.
- Кращий розмір корисного навантаження (100 байт) в порівнянні з SigFox, який становить 12 байт.
- Відкрита технологія в порівнянні з конкурентом SigFox
- Немає обмежень на максимальну кількість щоденних повідомлень (в порівнянні з обмеженням SigFox 140 в день)
- LoRaWAN має перевагу в тому, що він є альянсом з відкритим підходом, а не пропрієтарним (SigFox).
- Великий радіус дії дозволяє використовувати такі рішення, як додатки для інтелектуальних міст.
- Низька смуга пропускання робить його ідеальним для практичного розгортання IoT з меншою кількістю даних і / або з передачею даних, яка не є постійною.
- Бездротовий зв'язок, простота настройки і швидке розгортання.
- Повністю двунаправленний зв'язок.

недоліки LoRaWAN

- Не для великих даних, корисне навантаження обмежена 100 байтами.
- Не ідеальний кандидат для додатків реального часу, що вимагають менших затримок.
- Недоліком відкритої частоти є те, що ви можете отримати перешкоди на цій частоті, а швидкість передачі даних може бути низькою [4].

ВИСНОВОК

На мою думку найперспективнішою технологією є технологія LoRaWAN, проте як я вже писав вище, дуже важко досягти найоптимальніших результатів при використанні однієї технології, і варто підбирати їх під окемі випадки, але, все ж таки, найбільш гнучкою, економною та легкою у використанні є саме LoRaWAN.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Інтернет ресурс «https://www.iot-now.com», 2019/07/07/97056 what-is-iot.
[2] Інтернет ресурс «https://www.i-scoop.eu» The Internet of Things (IoT) – essential IoT business guide
[3] Інтернет ресурс «https://habr.com/ru» «Як вибрати стандарт зв'язку для мережі IoT» (fantsiferov25 лютого 2016)
[4] Інтернет ресурс «https://tech.hotgirldaily.com» «LPWAN, LoRa, LoRaWAN та Інтернет речей»

Наук. керівник – професор д.т.н. Гераїмчук М.Д.

УДК 681.121

Е.П. Фотул, студент гр. ПІ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ ГІДРАВЛІЧНОГО КАНАЛУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА

Анотація. Проведено дослідження втрат тиску у гідравлічному каналі одноканального час-імпульсного ультразвукового витратоміра, в якому приймачі-випромінювачі розташовано вздовж вісі потоку, що спричиняє додаткові втрати тиску. Запропоновано замінити конфузорну ділянку соплом Вітошинського, що ефективно виправляє асиметрію течії вимірюваного середовища і створює.

Ключові слова: ультразвуковий витратомір, ультразвук, сопло Вітошинського, конфузор, гідравлічний канал

ВСТУП

Акустичними називаються витратоміри, що базуються на вимірюванні витрати залежної від того чи іншого ефекту, що виникає при проходженні акустичних коливань через потік рідини або газу. Майже всі застосовувані на практиці акустичні витратоміри працюють в ультразвуковому діапазоні частот і тому називаються ультразвуковими [1]. Ультразвукові витратоміри (УЗВ) зазвичай використовуються для вимірювання об'ємної витрати, оскільки ефекти, що виникають при проходженні акустичних коливань через потік рідини або газу, пов'язані зі швидкістю останнього.

Конструктивно УЗВ являє собою відрізок трубопроводу, вздовж якого протікає вимірювана речовина, і в якому розташовані випромінювачі і приймачі акустичних коливань – головні елементи первинних перетворювачів УЗВ. Ультразвукові (УЗ) методи вимірювання витрати класифікують за наступними ознаками [2]:

За способом руху УЗ хвиль:

- Допплерівські;
- З геометричним зсувом променя;
- Часопрохідні (час-імпульсні, фазові, частотні);

За спрямованістю УЗ випромінювання:

- Із спрямованим випромінюванням;
- Із сферичним випромінювання;

За кількістю каналів вимірювання:

- Одноканальні;
- Двоканальні (паралельні промені або промені, що перехрещуються);
- Багатоканальні

За видом акустичного шляху:

- Без відбивання;
- З відбиванням (в одній або різних площинах);

За розміщенням перетворювачів:

- Стаціонарні (не занурені у потік, занурені у потік, на рівні потоку);
- Накладні.

Для досліджень обрано час-імпульсний УЗВ з одним каналом вимірювання без відбивання акустичного шляху, в якому перетворювачі занурені в потік. Характерною особливістю обраної схеми вимірювання є розташування

випромінювачів-приймачів вздовж вісі потоку, що, поряд із компактністю конструкції, спричиняє додаткові втрати тиску (рис. 1).

Метою роботи є пошук конфігурації проточної частини УЗВ, яка дозволить зменшити втрати тиску, підвищити точність вимірювання і розширити діапазон вимірюваних витрат.

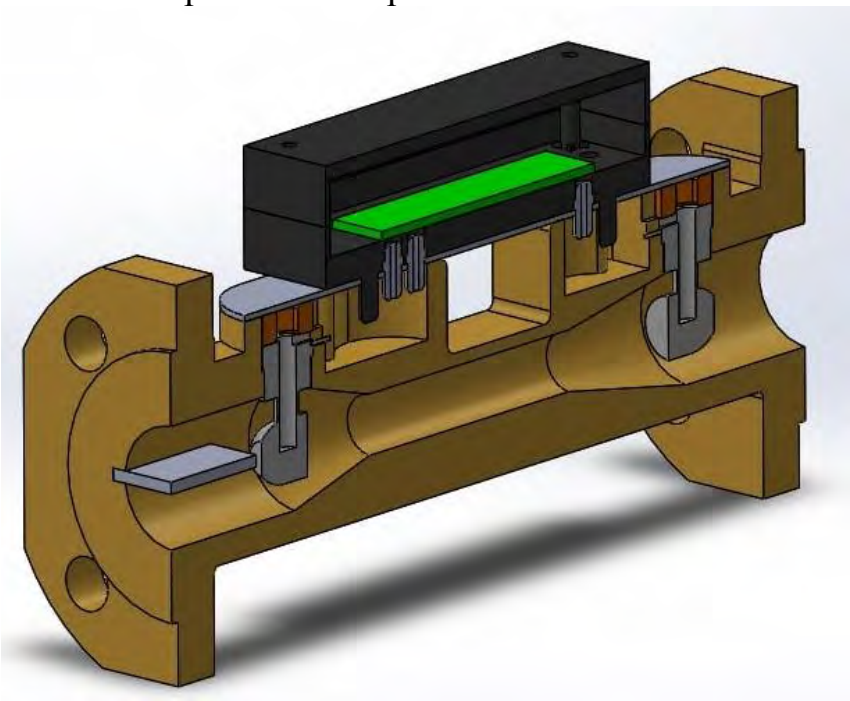


Рисунок 1. 3D-модель УЗВ

ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО КАНАЛУ ВИТРАТОМІРА

Для компенсації додаткових місцевих опорів, спричинених наявністю приймачів-випромінювачів у потоку, потрібно змінювати конфігурацію проточної частини приладу, що здійснюється застосуванням ділянок із плавною зміною радіусу [3].

Для дослідження обрано конструкцію, що містить конфузор і дифузор, відокремлені прямою ділянкою (рис. 2). Коефіцієнт опору зазначених елементів конструкції суттєво залежить від степеня звуження (розширення), що визначається кутом сходження (розходження) проточної частини [3, 4].

Розраховано перепад тиску на конфузорній ділянці гідравлічної частини УЗВ за різних кутів сходження (рис. 3). Мінімальні втрати тиску забезпечує конфузор із кутом сходження 15°.

Здійснено імітаційне моделювання зазначених конструкцій у Solid Works Flow Simulation для мінімальної, номінальної і максимальної витрат.

Отримані картини розподілу швидкості вздовж протяжності корпусу УЗВ, а також ізотахі у контрольних перерізах конструкції, свідчать про наявну неоднорідність потоку вимірюваного середовища, що суттєво впливає на точність вимірювання.

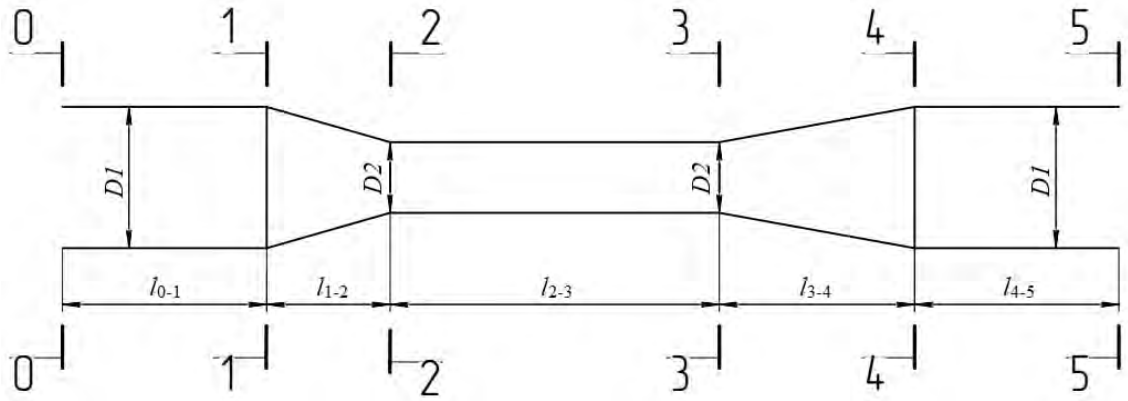


Рисунок 2. Гідравлічний канал УЗВ:
номерами позначено контрольні перерізи конструкції; D – діаметр у перерізі каналу; L – довжина ділянки; індекси відповідають номерам перерізів

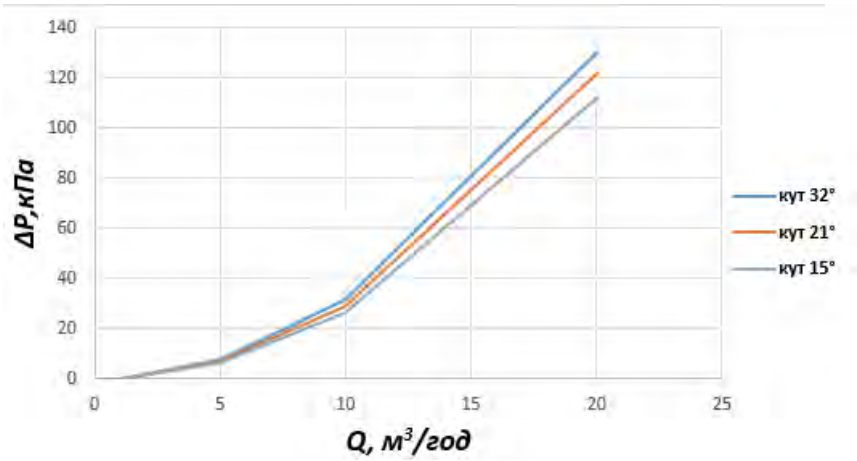


Рисунок 3. Втрати тиску на конфузорі

У зв'язку з цим запропоновано замінити конфузорну ділянку гідравлічного каналу соплом Вітошинського, що ефективно виправляє асиметрію течії вимірюваного середовища [6].

Зміна радіусу обраного сопла описується наступною закономірністю [6, 7]

$$r_c(x) = \frac{r_2}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2\right]\cdot\frac{\left[1-\left(\frac{x}{L_{1-2}}\right)^2\right]^2}{\left[1+\left(\frac{x}{L_{1-2}}\right)^2\right]^3}}},$$

де r_1 – радіус входу; r_2 – радіус виходу; $L_{1\text{-}2}$ – загальна довжина сопла Вітошинського $\left(L_{1-2} \geq r_1\right)$.

Порівняння закономірностей зміни радіусу проточної частини УЗВ для конфузора і сопла показує, що за однакової ширини, вирівнювання потоку раніше відбувається у випадку застосування соплом Вітошинського (рис. 4).

ВИСНОВКИ

Ультразвукові витратоміри є одними з найбільш розповсюджених і перспективних при вимірюванні витрати рідин, газів і кількості теплоти.

Для дослідження обрано конструкцію одноканального час-імпульсного УЗВ, в якому приймачі-випромінювачі розташовано вздовж вісі потоку.

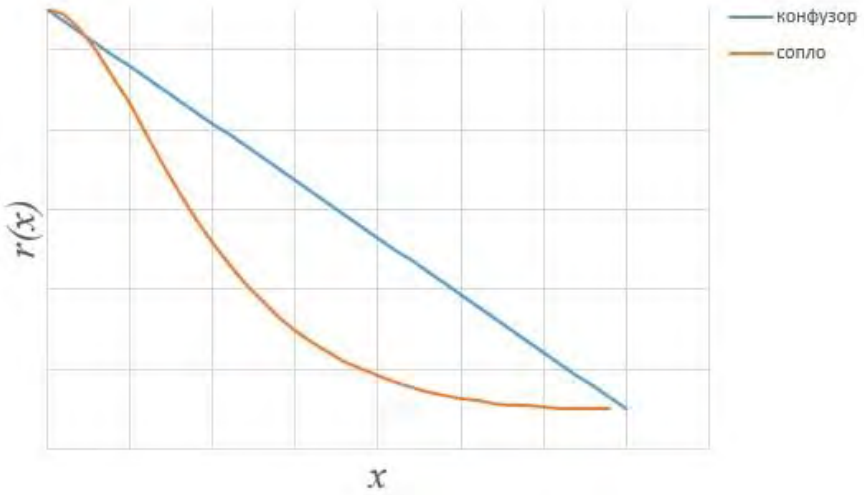


Рисунок 4. Зміна радіусів досліджуваних ділянок

Проведено математичне моделювання втрат тиску у гідравлічному каналі ультразвукового витратоміра, що містить конфузорну ділянку, для різних кутів сходження. З метою зменшення асиметрії течії запропоновано замінити конфузорну ділянку соплом Вітошинського.

У Solid Works Flow Simulation здійснено імітаційне моделювання конструкції, що підтвердило створення симетричної течії у гідравлічному каналі приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Биргер Г.И., Бражников Н. И. Ультразвуковые расходомеры./Биргер Н.И. – М.: Металургия, 1964. – 323с.

[2] Писарець А. В. Вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням ультразвукового методу / А. В. Писарець, С. О. Поліщук // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 53(1). – С. 56 – 61.

[3] Коробко І. В. Автоматизація досліджень динамічних характеристик перетворювачів витрати рідиннофазних середовищ / І. В. Коробко, А. В. Писарець, А. С. Місяць // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2018. – Вип. 56(2). – С. 91 – 96. DOI: 10.20535/1970.56(2).2018.152457.

[4] Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / Идельчик И. Е. – М.: Машиностроение, 1975. – 543 с.

[5] Рабинович Е. З. Гидравлика. / Е. З. Рабинович – М.: Недра, 1978, 732 с.

[6] Приладовий комплекс вимірювання витрати та кількості природного газу на підгрунті різних фізичних методів вимірювання / І. В. Коробко, О. О. Драчук, В. А. Коваленко // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2. – С. 66-77.

[7] Н. Ф. Краснов, В. Н. Кошевой, А. Н. Данилов, В. Ф. Захарченко, Е. Э. Боровский, А. И. Хлупнов. Прикладная аэродинамика. Под ред. Краснова Н. Ф. Учеб. пособие для втузов. М.: Высшая школа, 1974, 732 с.

Наук. керівник – доц. Писарець А. В.

УДК 681.5.073

Д.І. Червоний, студент гр. ПІ-91мп, к.т.н., доц. Дубінець В.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗШИРЕННЯ ДИНАМИЧНОГО ДИАПАЗОНА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. У даній статті наводиться спосіб підвищення роздільної здатності акселерометра прямого перетворення на нижньому діапазоні прискорень. Він заснований на використанні в якості рухомого вузла акселерометра двох чутливих мас, у яких пружні підвіси виконані з різною жорсткістю. Сформульовано основна проблема реалізації конструкції і спосіб її вирішення. А також розглянуто вторинний канал обробки даних з первинного перетворювача акселерометра.

Ключові слова: прискорення, акселерометр, роздільна здатність.

ВСТУП

Акселерометр - датчик, що вимірює проекцію діючого прискорення на його вісь чутливості. Головним компонентом акселерометра є рухливий вузол (РВ). Він складається з чутливої маси (ЧМ), яка відхиляється від свого початкового положення під дією зовнішніх сил, тим самим деформуючи пружні підвіси (ПП), які з'єднують ЧМ з нерухомою рамкою. Для демпфування коливань ЧМ поміщається в газове середовище. Відхилення ЧМ від початкового положення фіксує датчик переміщення (ДП). Поступаючий від нього сигнал передається на електричну схему для перетворення його в нормовану напругу. Як відомо, існують два типи акселерометрів: прямого і компенсаційного перетворення. Відмінності в них в тому, що крім ДП, у компенсаційного типу існує перетворювач зворотнього зв'язку який прагне повернути ЧМ акселерометру в початкове положення. Використання зворотного зв'язку дозволяє забезпечити точність вимірювання до 0,001%, що більше на два порядки в порівнянні з акселерометром прямого виміру [1][2].

Поряд зі збільшенням точності, також важливо забезпечити низьку вартість виготовлення датчика і його невеликі масогабаритні показники. За останніми двома параметрами акселерометр зі зворотним зв'язком програє акселерометру прямого виміру, тому що для реалізації зворотного зв'язку потрібне додаткове місце в корпусі під елементи вторинного перетворювача [1][3]. Тому необхідність розробки акселерометра, що забезпечує більш широкий динамічний діапазон, малі масогабаритні показники і низьку вартість виготовлення є актуальною задачою.

ІДЕЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

За основу розробки взято акселерометр прямого перетворення розрахованого на великі прискорення близько 100 g. На нижньому діапазоні, в межах 1 g, похибка вимірювання значно перевищує допустимі значення. Це викликано великою жорсткістю ПП. Якщо зменшити жорсткість підвісів, тим самим збільшивши чутливість акселерометра, то неможливо буде виміряти великі прискорення внаслідок обмеження переміщення руху ЧМ [4][5] .

Ідея полягає у використанні відразу двох ЧМ, розрахованих на вимір різних діапазонів прискорення [1]. Одна ЧМ працює на вимір малих прискорень, інша - великих. За рахунок зміни розмірів ПП можна домогтися

відхилення ЧМ від дії прискорень, що лежать в різних діапазонах. Ці діапазони вимірюваних прискорень вибираються в залежності від поставленого завдання. Наприклад, в момент запуску ракети з літака акселерометру необхідно вимірювати прискорення в межах 50 g, а при маневруванні ракетою для досягнення заданої мети достатньо 5 g. ЧМ (маятники) розташовуються поруч один з одним в одній площині, так щоб центр мас перебував на загальній лінії. Дана конструкція представлена на рис. 1[1][6].

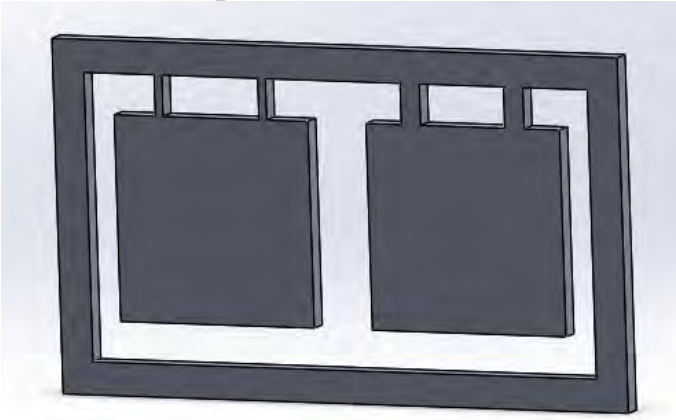


Рисунок 1. Конструкція рухомого вузла

Так як відмінності між ЧМ лише в розмірах ПП, а інші параметри конструкції однакові, то при дії прискорення його наростання за величиною буде надавати різний вплив на маси [1].

Передавальна функція акселерометра прямого перетворення [1][4]:

$$W_{\text{ПП}} = \frac{1}{Js^2 + K_{\text{ДУ}}s + G_y}, \tag{1}$$

де J - момент інерції маятника;

$K_{\text{ду}}$ - кутовий коефіцієнт газодинамічного демпфування;

$G_{\text{у}}$ - кутова жорсткість ПП.

Припустимо, що самі маятники за розмірами однакові, різні тільки підвіси. При збільшенні частоти дії прискорення, газ починає діяти все активніше. Відхилення маятників стрімко зменшується. Через різну жорсткість, маятник, який працює на вимір малих прискорень, буде відчувати чинне прискорення, тоді як інший маятник не відчуватиме. Це відбувається через різні смуги пропускання маятників. Щоб детальніше вивчити цю проблему розглянемо газодинамічне демпфування. При переміщенні ЧМ виникає сила газодинамічного опору, яка залежить від швидкості руху ЧМ [1]. При математичному моделюванні ПП акселерометра необхідно враховувати дію цієї сили на ЧМ. Для цього використовують коефіцієнт газодинамічного демпфування [1][4][7]:

$$K_{\text{д}} = \frac{3\mu S^2}{h^3}, \tag{2}$$

де S - площа контакту ЧМ з газом;

μ - в'язкість газу;

h - величина зазору між ЧМ і корпусом.

Підбором параметрів коефіцієнта газодинамічного демпфування ліквідуються частоти коливання, які з'являються, наприклад, через вібрацію. При обмеженні у виборі газів, приймемо в'язкість газу постійною при можливому варіанті двох об'ємів газів, для кожної ЧМ, і ізольованих одна від одної [1][3].

В якості вирішення цієї проблеми можна зменшити товщину однієї ЧМ, домігшись збільшення зазору між нею і корпусом. Але більш простий і в той же час ефективний варіант - передбачити газодинамічні отвори або щілинні прорізи в маятнику з м'якими підвісами, тим самим зменшити його ефективну площу. Для підбору розмірів і форми цих отворів, знайдемо коефіцієнт газодинамічного демпфування для ЧМ з м'якими підвісами, при відомих інших параметрах ПП [3].

$$K_{\text{ду}2} = K_{\text{ду}1} + (J_1 - J_2)s + (G_{\text{у}1} - G_{\text{у}2})\frac{1}{s}, \tag{3}$$

де $K_{\text{ду}1}$, J_1, $G_{\text{у}1}$ - параметри ЧМ, що працює на вимір великих прискорень;
де $K_{\text{ду}2}$, J_2, $G_{\text{у}2}$ - параметри ЧМ, що працює на вимір малих прискорень.

Загальна формула для знаходження площі контакту ЧМ з газом буде мати наступний вигляд:

$$S = \sqrt[3]{\frac{\mu(K_{\text{ду}1} + (J_1 - J_2)s + (G_{\text{у}1} - G_{\text{у}2})\frac{1}{s})}{4h^3}}. \tag{4}$$

При зміні площі маятника змінюються також всі його основні параметри, тому необхідно провести оптимізацію для отримання більш точного результату.

Вирішивши проблему поєднання смуг пропускання маятників, конструкція ПП виглядає (рис. 2) [1][3].

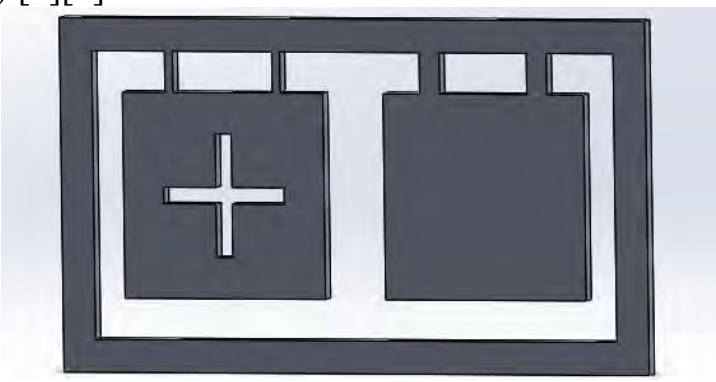


Рисунок 2. Конструкція рухомого вузла з урахуванням газодинамічних отворів

Реалізація вторинного каналу обробки даних є також важливим завданням в процесі проектування акселерометру. Необхідно вирішити питання моменту перемикання між ЧМ, правильного визначення крутизни, нульового сигналу та інш.

Для цього, при дії прискорення на ПП, показання знімаються з одної ЧМ, а виправити помилку цих показань можливо за допомогою даних, що надходять від іншої [1][6]. Введенням додаткової фільтруючої ланки ($W_ф$) потрібно домогтися приведення по фазі сигналу від однієї ЧМ до сигналу іншої. Так само необхідно позбутися від похибок, що виникають через різницю нульового сигналу. Цього можна домогтися шляхом додавання інтегратора, який буде

підсумовувати помилки показань, що знімаються з більш чутливої маси, і враховувати їх в показаннях, які видає інша ЧМ [1][3]. Структурна схема вторинного каналу обробки даних представлена на рис. 3:

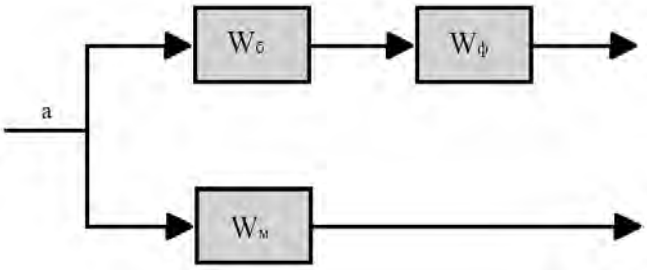


Рисунок 3. Структурна схема вторинного каналу обробки даних

ВИСНОВОК

Розглянуто конструкцію акселерометра з двома ЧМ, у якій ПП виконані з різною жорсткістю для роботи в різних діапазонах прискорень, шляхи вирішення проблеми суміщення смуг пропускання ЧМ, а також показаний можливий варіант функціонування вторинного каналу обробки даних з первинного перетворювача акселерометра. Розглянуто можливість створення акселерометра, який має розширений діапазон прискорень зі збереженням точності, при цьому забезпечуючи його невелику масу та низьку вартість виготовлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

[1] Таболин М.С., and Обухов В.И.. "Повышение разрешающей способности акселерометра прямого измерения на нижнем диапазоне измеряемых ускорений" Приволжский научный вестник, no. 12-3 (40), 2014, pp. 69-72.

[2] Касей Г., Конвей М., Мэрфи М. Приводы для фокусировки объектива в камерных модулях высокого разрешения // Компоненты и технологии. 2008. № С. 147-150. Режим доступу: http:// kit-e.ru/articles/powerel/2008_3

[3] Шлыков Г.П. Статические предельные метрологические модели линейных измерительных преобразователей. Серия «Метрология», Вып. 1: Лекция. Пенза: ПТУ, каф. МСК, 2003. - 24 с.

[4] Распопов, В.Я. Мікромеханічні прилади: навчальний посібник / В.Я. Распопов. - М .: Машинобудування, 2007. - 400 с .: іл.

[5] Вавилов, В.Д. Інтегральні датчики / В.Д. Вавилов. - Нижній Новгород: Нижегород. держ. техн. ун-т., 2003. - 503 с.

[6] Толстенок О. А., Холомина Т. А. Конструктивные и технологические особенности измерительно-преобразовательных микроэлектромеханических систем на основе кремниевых датчиков // Измерительная техника. 2004. - № 5. -с. 66-71.

[7] A. M. Leung, J. Jones, E. Czyzewska, J. Chen, and M. Pascal, “Micromachined accelerometer with no proof mass,” Technical Digest of Int. Electron Device Meet., pp. 899-902, 1997.

Наук. керівник – к.т.н.,доцент Дубінець В.І.

Секція 6.
Економічні засади аналітичного та екологічного приладобудування

УДК 620.95; 620.98

В.І. Артемчук, студенти гр. ПН-91мп, В.В. Юник, студенти гр. ПН-з91мп, О.А. Осипенко, студенти гр. ПН-з91мп, д.т.н., професор. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АКТУАЛЬНІСТЬ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАНУ В УКРАЇНІ

Анотація. Найперспективнішою складовою є біоенергетика в Україні. Актуальним є зменшення використання природного газу – перспектива для економіки України. Тому пошук альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій є актуальною задачею, тому що забезпечить не залежність від імпортованих енергоносіїв і підвищення енергетичної безпеки. Енергетичні ресурси забезпечать індивідуальні потреби людей в різних галузях промисловості. Виробництво та використання біогазу у якості джерела енергії є одним із надважливих напрямків розвитку «зеленої енергетики» у аспекті створення нових відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: біогаз, енергетична галузь, відновлювальні джерела енергії, біомаса, обробка даних, метанове бродіння.

ВСТУП

На даному етапі розвитку енергетичного сектору України біоенергетика є галуззю альтернативної енергетики, що розвивається найбільш динамічно. Прогрес спонукає на розвиток енергетичної галузі, а саме використання енергозберігаючих технологій та альтернативних енергетичних джерел. Загроза вичерпання джерел палива корисних копалин, для потреб людства, набуває необхідність пошуку альтернативних джерел палива для забезпечення енергетичних потреб України. Найефективнішим і універсальним енергоносієм з поміж інших біологічних видів палива є біогаз, що добувається з відновлюваної сировини та органічних відходів. Виробництво біогазу та його споживання, може відбуватись безпосередньо на місці виробництва, забезпечуючи електроенергію та тепло. Отриманий біогаз, після процесів очищення та збагачення, може відправлятись у спільну газорозподільну мережу.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз технічних показників формування біоенергетичної галузі в Україні. Проаналізувавши доступні дані розвитку енергетичного сектору України за останні роки, можна зробити висновок, що використання й виробництво біогазу може забезпечити додаткове джерело грошових надходжень, та збільшить кількість робочих місць. Налагодження виробництва біогазу в Україні відкриває шлях до енергетичної незалежності. Виробництво біогазу є інвестиційно вигідною та ефективною технологією через наявність великого сировинного потенціалу, вигідні природно-кліматичні умови та низьку собівартість вихідної сировини.

Кількість відновлювальних джерел енергії в світовому енергетичному балансі незначна – близько 14%, а внесок біомаси – лише близько 1,8%[1]. Біомаса посідає четверте місце за значенням палива у світі, що створює близько 2 млрд. тон відходів на рік. В абсолютних величинах – це становить практично 14% загального споживання первинних енергоносіїв. Таким чином, можна стверджувати, що понад 70% об’єму поновлювальних джерел енергії

проходиться на вихід із біомаси [1]. Враховуючи все вищесказане, можна зробити висновок, що перехід до раціонального використання відновлювальних джерел енергії є у наш час головною світовою тендецією. Використання та виробництво біопалива зростає в усьому світі, особливо у країнах Європи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Провівши огляд технологічних процесів отримання біогазу із органічної сировини, можна отримати класифікацію технологій його отримання із застосуванням відновлювальних джерел енергії. Сировина для виробництва біогазу, що має можливість метанового бродіння, поділяється на три категорії (рис.1).

Рисунок 1. Види вихідної сировини для виробництва біогазу

Вихідну органічну сировину, що може самостійно виконувати ферментацію можна в загальному випадку розділити на основну (це гній, гноївка, молода трава) та допоміжну. Сировина, в яку додають інші речовини для ферментації (допоміжний компонент) – це залишки їжі, продукти переробки фруктів, жири, органічні продукти, меляси, що розкладаються біологічним шляхом, господарські стоки та ін.

В результаті проходження ферментативних процесів розкладання органічної сировини отримують так званий горючий газ в неочищеній формі.

Горючий газ – біогаз, що утворюється в результаті бродіння різноманітної біомаси, містить до 50-75 % метану (CH_4), до 25-50% вуглекислого газу (CO_2), 0-10% водяної пари (H_2O), 0,01-5% азоту (N_2), 0,01-2% кисню (O_2), 0-1% водню (H_2), 0,01-2,5 мг/м³ аміаку (NH_3),10-30 мг/м³ сірководню (H_2S) (рис.2) [2].

У процесі природного розкладання органічної маси за допомогою мікробів при анаеробних умовах (при наявності вологого середовища та відсутності кисню) утворюється біогаз по типу метанового бродіння. Найбільшу частину компоненту біогазу займає горючий газ метан, вміст якого змінюється відповідно до типу сировини та перебігу процесу бродіння.

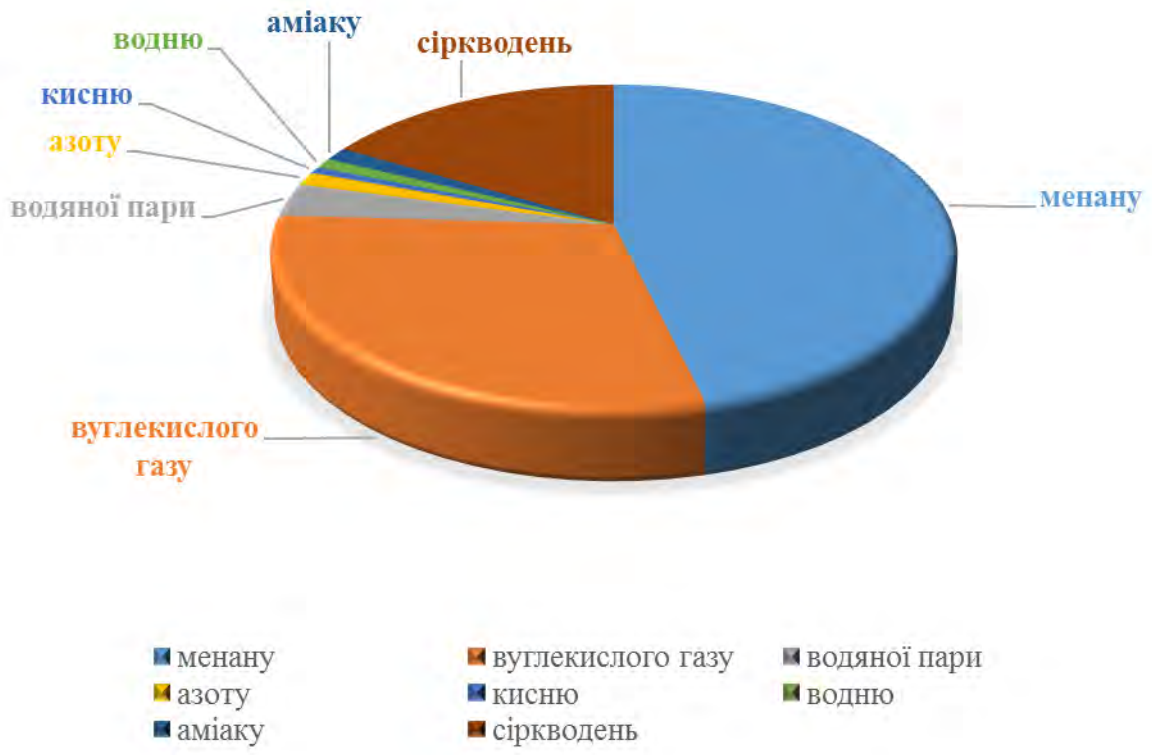


Рисунок 2. Хімічний склад біогазу метанового бродіння

В Україні при виробництві біогазу для біогазових установок використовують сировину, яку можна поділити на три категорії:

- сільськогосподарська: гній, енергетичні культури, гноївка, залишки біомаси, та ін.;
- промислова: відходи скотобоєнь, молочних і цукрових заводів; крохмаль, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості;
- господарська: органічні відходи, комунальні стоки, та ін. [4].

Залежно від вмісту субстрату, пропорції вуглеводів, білків та жирів, різні субстрати матимуть різні потенціали виходу біогазу, від чого залежать різний вмістом метану що можна отримати на виході (рис. 3).

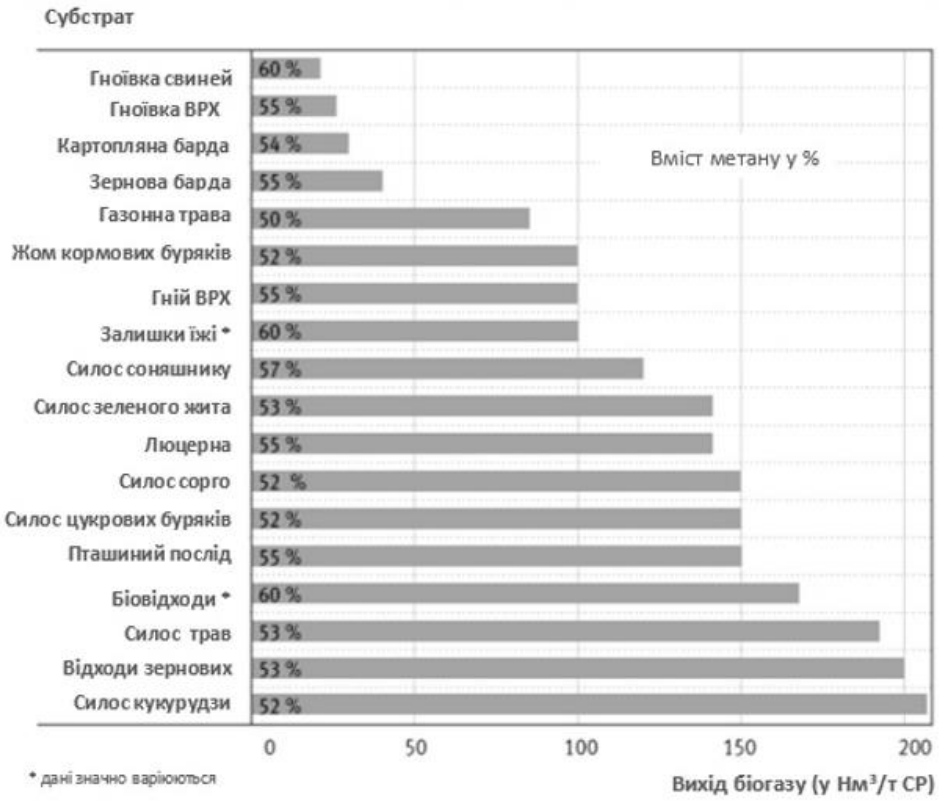


Рисунок 3. Вихід біогазу залежно від виду сировини

Перевагою виробництва енергії з біогазу є відсутність шкідливих викидів для навколишнього середовища, тому що не відбувається емісія парникового газу CO2. Також це сприяє зменшенню кількості органічних відходів. Ще однією перевагою отримання біогазу є незалежність від кліматичних та погодних умов, на відміну від енергії вітру та сонячного випромінювання. У порівнянні з викопними джерелами енергії біогаз в Україні має величезний відновлювальний потенціал. Теоретичний річний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд. м3.

Замкнений цикл виробництва забезпечує енергетичне перетворення органічних відходів, утворюючи тип поживних речовин, що набувають форму збалансованих біодобрив та повертаються на поля. Залишки від процесу бродіння у біогазових установок мають значну кількість доступного для рослин азоту, калію, фосфору, мікроелементів та використовуються як добрива, які мають властивості мінеральних добрив. У залишках бродіння зберігається 70% вмісту азотних речовин, 100% - калій й фосфор [4].

Таким чином, для підтримки родючості ґрунтів, достатньо додавати залишки метанового бродіння що дозволяє заміщати до 30% азоту грунтів за рахунок внесення мінеральних добрив або безводного аміаку. При виробництві 1 м3 біогазу на заводах утворюється приблизно 5,4 кг твердих та 16,8 кг рідких біодобрив [1].

Використання залишків бродіння, як добрива, зменшує викиди парникових газів майже у 3 рази, на відміну від традиційних добрив (рис. 4). Залишки метанового бродіння завдяки своїй консистенції та хімічному складу легко проникають в ґрунт.

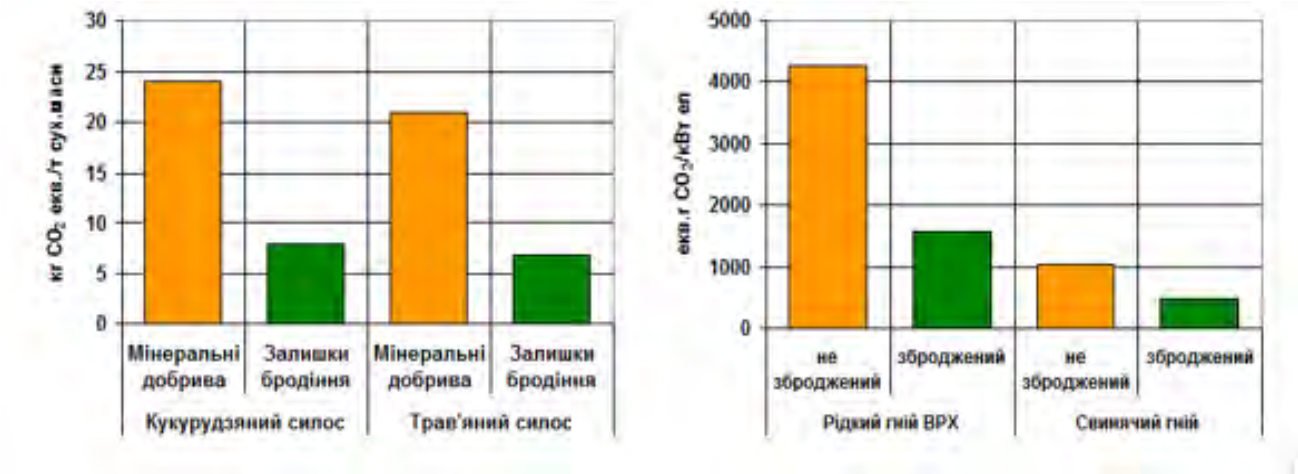


Рисунок 4. Скорочення викидів парникових газів при застосування залишків метанового бродіння

За відомостями Latifundist, станом на листопад 2019 року, в Україні працює лише 20 великих станцій біогазового виробництва [3]. Деякі з них працюють на сільськогосподарських відходах, інші – утилізовують звалища промислових відходів. В порівнянні із Німеччиною, на території якої нараховується до 8 тис. біогазових установок – кількість станцій біогазового виробництва в Україні поки що незначна. В той же час, в загальному, на території Європи діє до 14,5 тис. біогазовових станцій, причому їх кількість постійно зростає (рис. 5).

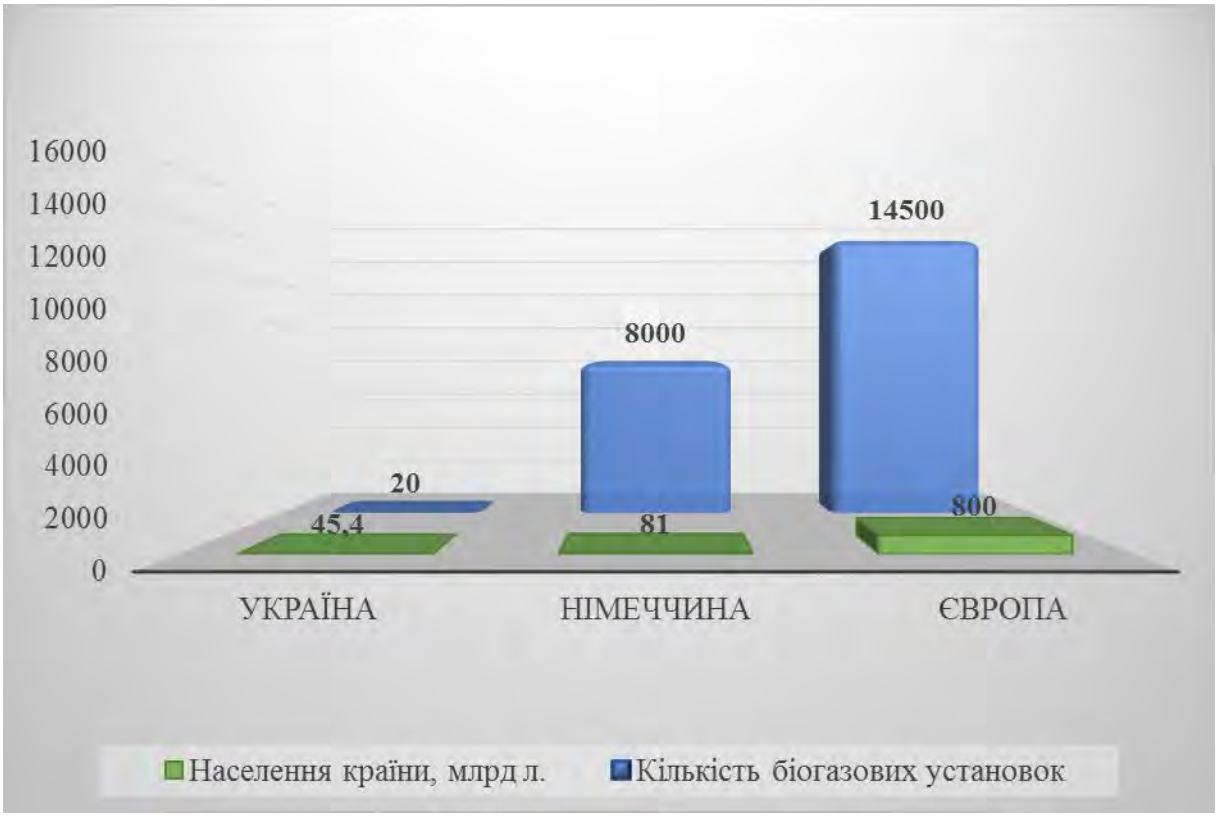


Рисунок 5. Біогазові установки в Україні, Німеччині, Європі

Таким чином, враховуючи перспективи агросектору України, розвиток біогазового виробництва нашій країні є досить актуальним. Аналізовані дані [3]

показують стрімкий розвиток впровадження у виробництво інноваційних ресурсозберігаючих технологій біогазового виробництва за останні роки. Австрія, Італія, Німеччина, Польща та інші країни на протязі 20 років досягли значних висот у використанні поновлювальних джерел енергії з подальшим удосконаленням технологій отримання альтернативної енергії.

ВИСНОВОК

На даний момент, можна стверджувати, що в Україні існує дефіцит власних викопних енергоносіїв для забезпечення сталого розвитку. В свою чергу – це створює енергетичну та економічну залежність від країн постачальників енергоресурсів. Альтернативою є біогаз, що утворюється з відходів різного біологічного походження та має головну перевагу – приналежність до відновлювальних джерела енергії.

При вирощування в Україні сільськогосподарських культур на площі 3,5 млн. є можливість виробляти щорічно близько 51,7 млрд.м3 біогазу. Це дозволяє частково або повністю відмовитись від імпорту природного газу, зменшити викиди парникових газів, створити нові робочі місця та виконати вимоги Європейського енергетичного співавторства.

Український енергетичний потенціал при використанні біогазу є досить значним. Виробництво біогазу із твердих побутових відходів та відходів сільського господарства, допомагає проблемі їх у утилізації. Завдяки цьому з'являється можливість зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. При виробництві біогазу із відходів сільського господарства утворюються органічні добрива. Тому, важливим є використання значного потенціалу біоенергетики України в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Біогаз: навч. посіб. / Голуб Г.А., Дубровін В.О., Поліщук В.М., Сєра К.М., Марус О.А., Драгнєв С.В., Сидорчук О.В., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М., – ЮНІДО 2015 – 48 с.

[2] Альтернативна енергетика: навч. посіб. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.

[3] Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie Deutschland. Bestell-Nr. 469, mediathek.fnr.de, FNR 2018 – 52 p.

[4] Біопалива (технології, машини і обладнання) /В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 137 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф, Защепкіна Н.М.

УДК 628.9.06

О. С. Бельський, студент гр. ПН-41мп, к.т.н., Ківа І.Л.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕКУРЕНТНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Анотація. В даному документі представлені результати аналітичного дослідження РНМ, дослідження нового класу – резервуарних РНМ, що дало змогу виділити основні динамічні режими роботи РНМ та визначити найбільш перспективні напрямки в розвитку методів навчання РНМ.

Ключові слова: рекурентні нейронні мережі, прогнозування, методи навчання, нейронні мережі, метод динамічного резервуару

ВСТУП

Рекурентні нейронні мережі (РНМ) - нейронні мережі (НМ) із зворотними зв'язками, завдяки яким вони мають власну динаміку, що відрізняє їх від статичних НМ, наприклад, нейронних мереж прямого поширення. Стан РНМ в поточний момент часу визначається не тільки вхідними сигналами, але і попереднім станом. За рахунок цього РНМ володіють нескінченною пам'яттю, що відрізняє їх від НМ із затримками, які запам'ятовують інформацію про входах тільки за обмежений проміжок часу. З огляду на те що РНМ є динамічною системою, доцільно провести аналіз можливості залучення результатів дослідження динамічних систем в суміжних областях науки, таких, як фізика, теорія нелінійних динамічних систем, теорія хаосу і інших, для синтезу РНМ і вирішення питань їх навчання. Необхідно відмітити, що при цьому терміни «нейрон» і «НМ» можуть взагалі не використовуватися - замість цього використовуються такі поняття, як пов'язана решітка, структура, середовище, кінцевий автомат з пам'яттю, клітинний автомат. Результатом такого аналізу стане виявлення перспективних напрямків розвитку РНМ в частині їх синтезу і навчання, що актуально з огляду на великих потенційних можливостей РНМ, зазначених у багатьох наукових роботах. [1]

СТРУКТУРА РНМ

Структура РНМ є її основною характеристикою, від якої безпосередньо залежать всі її властивості. В залежності від типів зв’язків виділяють повнозв’язні та локальні РНМ. У повнозв'язних РНМ кожен нейрон пов'язаний з кожним. Це призводить до підпорядкування всіх нейронів мережі якомусь одному глобальному режиму. У РНМ з локальними зв'язками кожен нейрон пов'язаний лише з нейронами в деякій околиці навколо нього. Такі зв'язки формуються детермінованим або випадковим чином. Локальна зв'язність дає нейронам більше незалежності, в різних областях РНМ можуть переважати різні динамічні режими. Існують приклади РНМ зі змінною структурою: в ході роботи нейронної мережі у неї можуть з’являтися (зникати) нейрони і зв’язку. При невеликій кількості елементів структура РНМ являє собою грати в одно-, дво- і максимум тривимірному дискретно просторі. Стан РНМ характеризується сукупністю значень виходів її нейронів. Для математичного опису таких РНМ використовуються системи керування. Якщо кількість елементів досить велика, то від дискретного простору станів переходять до

безперервного, і структура РНМ являє собою безперервне середовище з розподіленими параметрами. Динаміка таких нескінченновимірних в просторі систем описується спеціальними хвильовими рівняннями - рівняннями в локальних похідних або інтегрально диференціальними рівняннями. Для аналізу структури РНМ може застосовуватися підхід, заснований на теорії графів. Він полягає в обчисленні різних показників, таких, як матриця досяжності, шляхи, цикли, маршрути, кластерний індекс та ін. За допомогою цих показників можна приблизно оцінити взаємодію елементів в РНМ. [2][3]

Однією з головних властивостей РНМ як динамічної системи є стійкість. РНМ може бути стійка (нестійка) в малому і в великому. Стійкість у великому гарантує стійкість у всьому просторі станів, а стійкість в малому - лише в певних точках. Теореми Ляпунова дають аналітичні критерії стійкості нелінійних систем: для стійкості у великому необхідно підібрати спеціальну функцію, що задовольняє умовам другий теореми Ляпунова; для стійкості в малому необхідно провести лінеаризацію системи в точці рівноваги і перевірити в ній стійкість.

Залежно від стійкості розрізняють три основних типи динаміки РНМ: стійка динаміка, при якій за кінцеве час РНМ сходиться до стійкого стану рівноваги (в даному режимі при зміні вхідного сигналу можливі переходи системи з одного стану в інший); коливальна динаміка: стан РНМ описує замкнуту циклічну траєкторію - граничний цикл; з однієї боку можна вважати, що граничний цикл кодує певну інформацію, а з іншого - що відбуваються коливання, при цьому інформація передається в фазових співвідношеннях; нестійка динаміка: траєкторії РНМ при як завгодно близьких початкових станах розходяться з часом; якщо зростання статків системи ніяк не обмежений, то воно йде в нескінченність, в іншому випадку встановлюється хаотична динаміка, при якій стан системи спонтанно змінюється в часі всередині певній галузі фазового простору. [2]

Різні динамічні режими РНМ можуть розглядатися як окремі етапи вирішення конкретного завдання. Наприклад, хаотичний режим відповідає початковому пошуку рішень - вибору між різними гіпотезами, коливальний режим відображає процеси перемикання уваги з одного рішення на інше, а стійкий режим відповідає знайденому рішенням.

Динаміка РНМ залежить як від її структури, так і від властивостей складових її елементів.

Теорія біфуркацій, катастроф та інші розділи теорії нелінійної динаміки дозволяють аналітично досліджувати динаміку досить простих систем (2-3 порядку). Це рівень нейрона (синапсу). На рівні РНМ ці теорії не працюють. Тому в загальному випадку для РНМ довільної структури єдиний можливий спосіб аналізу динаміки - чисельне моделювання та обчислення різних показників динаміки. [2]

АНАЛІЗ ДИМІКИ РНМ

Динаміку РНМ можна представити у вигляді суми двох складових - усталеною і перехідною. Перехідна складова згодом згасає, після чого

залишається тільки постійна складова. Для розпізнавання образів використовуються перехідні і сталі складові (режими): в перехідному режимі після подачі вхідного образу його динаміка накладається на динаміку РНМ - по «знімку» результуючої динаміки через деякий час можна розпізнати вхідний образ; в даному випадку використовується властивість короткочасної пам'яті - обліку передісторії зміни вхідного сигналу (стимулу); в сталому режимі після подачі вхідного образу через якийсь час система виходить на аттрактор (фіксований стан, граничний цикл або хаотичний аттрактор) - з цього аттрактору можна розпізнати вхідний образ.

РНМ з стійкими режимами є стійкими в великому. Після зміни їх стану або після подачі вхідного сигналу через деякий час вони сходяться до стійким точкам рівноваги - фіксованим аттрактором.

РНМ з коливальними режимами або осциляторний НМ (ОНМ) називаються НМ, стан яких змінюється в часі по періодичному або близькій до періодичного закону. Іноді їх ще називають НМ з аттракторами типу «граничний цикл». Тип зв'язків залежить від моделі осцилятора. Зв'язки можуть мати властивості саморегуляції (внутрішня динаміка) і пластичності (Самонавчання). [3]

НАВЧАННЯ РНМ

Для навчання РНМ допустимий вибір між наступними групами:

- використання відомих взаємозв’язків між параметрами значення РНМ та її динамікою;
- використання алгоритмів навчання з викладачем на основі методів оптимізації за типом алгоритму зворотного розповсюдження; приклад - алгоритми зворотного розповсюдження в часі (Зворотне поширення через час, BPTT), періодичне навчання в режимі реального часу (повторне навчання в режимі реального часу, RTRL), повторне зворотне розмноження (Періодичне зворотне поширення, RBP) [4], алгоритми з використанням фільтрації Каллмана; через те, параметри на кожному кроці встановлюються однаково, функціонал оптимізації формується як сума помилок у деяких інтервалах часу, виникають проблеми з часом роботи, зі сходженням методів та в обчислювальних затратах;
- з використанням алгоритму навчання з викладачем, коли розглядає РНМ як частково повторюваний - сигнали від зворотних зв’язків розглядаються як окремі вхідні сигнали - контекстні нейрони, як результат, навчальне завдання спрощується і зведений до звичайних алгоритмів навчання НМ подача вперед;
- використання алгоритмів без навчання (синаптична пластичність імпульсних НС) [5]
- метод резервуарного навчання, при якому ваги встановлюються випадковими значеннями, при цьому функції навчання проходять через спеціальний пристрій для класифікації динаміки РНМ.
- Модернізація в останньому варіанті навчання полягає в тому, щоб використовувати РНМ, як динамічний резервуар з потужними

обчислювальними можливостями. При дії неперервного сигналу на такий резервуар він потрапляє до певного динамічного процесу або стану, також резервуар формується таким чином щоб для схожих сигналів чи процесів цей стан також був схожий. Виходи резервуару зазвичай під'єднують до пристроїв виведення, які в залежності від стану резервуара класифікують, прогнозують чи кластеризують. [6]

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ

Вимірювання по суті це один неперервний сигнал на виході. При умові що ведеться вимірювання на основі інерціального процесу який може прямувати до неприпустимих точок екстремуму (наприклад вимірювання температури при якому вона досягає критичного максимуму) можна спрогнозувати появу цих точок за допомогою РНМ з досить високою точністю. Це дає змогу побачити можливу проблему та запобігти їй запустивши процес протидії. При підвищенні температури – запустити процес її зменшення використовуючи вихід РНМ для підтримання сталих значень.

ВИСНОВОК

Використання РНМ дає широкий спектр можливостей в прогнозування фізичних явищ використовуючи ріноманітні методи регуляції. РНМ являються досить гнучкими в навчанні що робить їх універсальним інструментом у вирішенні задачі контролю фізичних процесів, так як на виході ми отримуємо динамічний стан який можна класифікувати, кластеризувати чи спрогнозувати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Dasgupta B., Siegelmann H., Sontag E.D. On the Complexity of Training Neural Networks with Continuous Activation Functions / IEEE Transactions on Neural Networks. – 1995. – Vol. 6. – № 6. – P. 1490–1504.
[2] Dunin-Barkowski W.L., Osovets N.B. HebbHopfield neural networks based on one-dimensional sets of neuron states / Neural Processing Letters. – 1995. – Vol. 2. – № 5. – P. 28–31.
[3] Feng J., Brown D. Fixed-point attractor analysis for a class of neurodynamics / Neural Computation. – 1998. – Vol. 10. – P. 189–213.
[4] Maass W., Natschläger T., Markram H. Real-time computing without stable states: a new framework for neural computations based on perturbations / Neural Computation. – 2002. – Vol. 11. – P. 2531–2560.
[5] Steil J.J. Backpropagation-decorrelation: recurrent learning with O(N) complexity / Proc. IJCNN. – 2004. – Vol. 1. – P. 843–848.
[6] Jaeger H. The «echo state» approach to analyzing and training recurrent neural networks: GMD report 148.– St. Augustin: German National

Наук. керівник – к.т.н., Ківа І. Л.

УДК 004.312.44

Р.О. Ботвінко, студент гр. Пн-91мп, А.І. Ніколаєв, студент гр. ПН-п01,
М.В. Петров Р.О., студент гр. ПН-п01, к.т.н., доцент К.М. Божко
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕСТАНДАРТНЕ ВИКОРИСТАННЯ MULTISIM НА ПРИКЛАДІ ОТРИМАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДІОДУ НА ОСЦИЛОГРАФІ

Анотація. Програма Multisim надає багато можливостей при моделюванні електротехнічних та електронних схем. Усі вони добре задокументовані. Проте за межами інструкцій існують різні нестандартні, проте необхідні в моделюванні рішення. Прикладом такого підходу є розширення функціональних можливостей осцилографа. Модель режиму характериографа, при якому можливе отримання і відтворення на дисплеї вольт-амперної характеристики напівпровідникового діоду, досліджена авторами. Основою методу, що дозволяє суттєво розширити функціональні можливості осцилографа, стало використання лінійної розгортки напруги. Джерелом пилкоподібної напруги в моделях став функціональний генератор.
Авторами також досліджено обмеження пакету Multisim при моделюванні і відмінності електричних параметрів моделей від їх реальних аналогів.

Ключові слова: вольт-амперна характеристика, функціональний генератор, цифровий осцилограф, пилкоподібна напруга, лінійна розгортка напруги.

ВСТУП

Середовище симуляції електронних схем Multisim від компанії National Instruments є базою для підготовки бакалаврів з дисциплін, в яких вивчають пристрої різноманітних електротехнічних та електронних систем, зокрема приладів і систем екологічної безпеки. Навички, які здобувають студенти при виконанні практичних робіт за допомогою Multisim, можуть певною мірою замінити або доповнити звичайні лабораторні практикуми із застосуванням реальних приладів, таких як цифровий осцилограф [1-3].

Окрім стандартного використання осцилограф здатен безпосередньо відтворювати режим роботи характериографу, що дозволяє відображати на його екрані вольт-амперну характеристику (ВАХ) напівпровідникового приладу, наприклад, діоду. Для цього необхідно створити режим лінійної розгортки напруги і при цьому відображати вимірюваний струм на додатковому резисторі. Цей процес успішно піддається симуляції програмою Multisim, що і має довести дана стаття.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є доведення принципової можливості отримання та відтворення вольт-амперних характеристик напівпровідникових приладів безпосередньо на екрані осцилографу. Засобами вирішення цієї задачі є віртуальні прилади Multisim: генератор пилкоподібної напруги та цифровий оцилограф.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОСНОВНІ ЙОГО РЕЗУЛЬТАТИ

В програмі NI Multisim було створено проект електронної схеми у складі потужного функціонального генератора з пилкоподібною напругою на виході,

двоканального цифрового осцилографу, діода малої потужності типу 1N4001 та вимірювального резистора для отримання на ньому ВАХ (Рис. 1).

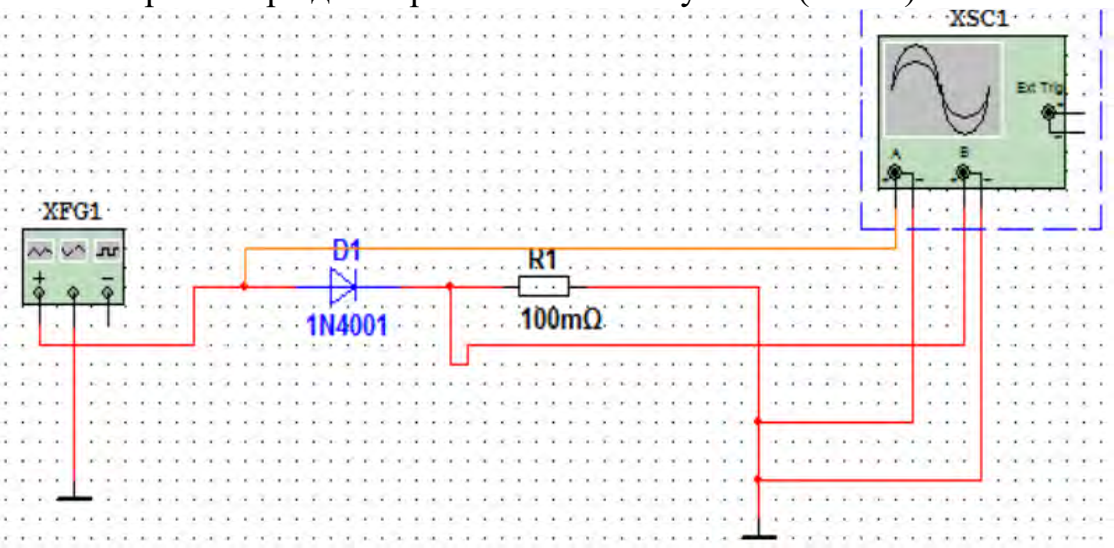


Рисунок 1. Проект з дослідження ВАХ діоду 1N4001: XFG1 – функціональний генератор; XSC1 – двоканальний осцилограф; R1 – резистор для вимірювання струму 100 мОм

В проекті з дослідження діоду перший канал (А) осцилографа відображає сигнал від генератора, а другий канал (В) – напругу, яка є прямо пропорційною величиною до струму діода (Рис. 2).

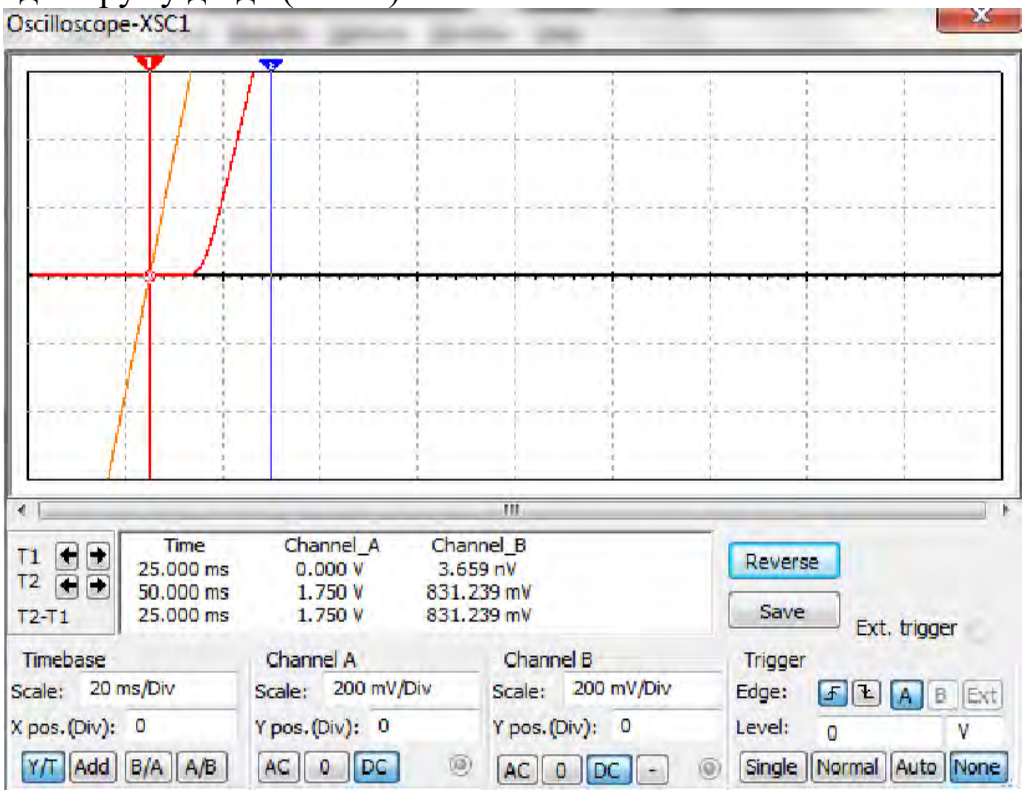


Рисунок 2. Осцилограми сигналів: канал А – вихід генератора (жовтий); канал В (червоний) – сигнал, який пропорційний до струму діода; в схемі використано вимірювальний резистор 1 Ом

Осцилограма каналу В є відповідною до прямої гілки ВАХ діоду 1N4001, оскільки за горизонталлю (вісь часу) лінійно зростає напруга, а за вертикальною віссю відкладено сигнал, який пропорційний до струму.

Цифровий осцилограф окрім видачі графічної інформації виконує також функції мультиметра і вимірювача часових параметрів сигналів. Для вимірювання часових інтервалів використовують два прапорці або маркери (червоний T1 і синій T2). З рисунку 2 визначаємо такі параметри схеми:

- максимальний струм діоду 0,831 А;
- максимальна напруга на виході функціонального генератора 1,75В;
- максимальна напруга на діоді 0,92 В;
- тривалість позитивної зростаючої фази (чверть періоду) розгортки напруги 25 мс;
- період сигналу генератора 100 мс;
- частота генератора 100 Гц.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ОБМЕЖЕННЯ ПРОГРАМИ MULTISIM

Окреслимо основні вади і неточності, що обмежують ефективність дії програми NI Multisim при моделюванні ВАХ діоду.

По-перше, з'ясовано, що прилади не мають реальних обмежень за струмом і потужністю. Так, функціональний генератор працює при навантаженні 0,001 Ом і напрузі 100 В, тобто його вихідний струм сягає 100 кА. Діод 1N4001 працює на струмі 10 А і вище (максимальний струм його за паспортними даними дорівнює усього 1 А).

По-друге, реальна ВАХ діоду більше схожа на експоненту, ніж її модельний аналог з рисунку 2. Моделювання є дещо схематичним і надає спрощену форму ВАХ.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження на прикладі діоду практично доведена можливість моделювання у NI Multisim вольт-амперних характеристик напівпровідникових приладів на екрані цифрового осцилографу, для чого створено режим лінійної розгортки напруги за допомогою потужного функціонального генератора з пилкоподібним вихідним сигналом. При цьому сигнал, який є прямо пропорційним до величини струму, знімали з вимірювального резистора, що був послідовно з'єднаний із діодом. Таким методом отримали пряму гілку вольт-амперної характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Макаренко В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI MULTISIM // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2008, №№ 1, 2, 3, 4, 6, 7.

[2] Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. Изд. 3:е переработанное и дополненное. – М.: СОЛОН:Пресс. 2003. – 736 с.

[3] Хернитер Марк Е. Электронное моделирование в Multisim. М.: ДМК Пресс, 2011. – 492 с.

Наук. керівник – к.т.н., доцент К.М. Божко

УДК 004.7

К. В. Луценко, студентка гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО САМОВИЗНАЧЕННЯ ВИПУСКНИКІВ ШКІЛ

Анотація. Проведено аналіз наявних версій тесту для професійного самовизначення випускників шкіл. За допомогою програмного рішення, куратори груп школярів, у яких проводиться даний тест, зможуть отримати результати в комп'ютері в одному файлі та швидше проаналізувати їх. Розроблений програмний додаток працює як програмний комплекс і дає змогу передавати введені дані з усіх налаштованих комп'ютерів у комп'ютер куратора групи. Таке рішення зможе допомогти пришвидшити процес аналізу результатів тесту Після завершення тесту, отримані дані записуються у .csv файл та відкриваються у програмі Excel. Тож, куратор має можливість отримати дані всіх введених відповідей конкретного школяра форматі розгорнутої Excel таблиці.

Ключові слова: тест, школярі, професія, професійне самовизначення, розумовий розвиток, програмний додаток.

ВСТУП

Професійне самовизначення починається з 6-7 років. У цьому віці певна частка дітей висловлюється вербально або невербально, яку професію вони хочуть опанувати. Актуальність теми обумовлена тим, що лише 5% школярів зберігають свої наміри до вступу у вищий навчальний заклад. 13% визначаються з майбутньою професію у 11-14 років, 44% - у старших класах. Майже половина школярів визначаються зі своєю професію з кілька тижнів перед вступом.

Шкільний тест розумового розвитку (ШТРР) – тест розроблений вченими НДІ ОПП РАН і призначений для діагностики розумового розвитку підлітків - учнів 6-8 класів (це відповідає 7-9-м класами в сучасному обчисленні).

Діагностична програма «Тест ШТТР» відрізняється особливим змістом, він побудований на матеріалі шкільних програм. Це дозволяє оцінити не тільки рівень розвитку різних операцій, але і переваги учнів в роботі з предметами одного з трьох циклів: суспільно-гуманітарного, природно - наукового і фізико - математичного. Такий якісний аналіз дає можливість одночасно вирішувати психопрофілактичні, консультативні та профорієнтаційні завдання [1].

Авторами ШТТР є К.М.Гуревіч, М.К.Акімова, Е.М.Борісова, В.Г.Зархін, В.Т.Козлова, Г.П.Логінова. Розроблений тест відповідає високим статистичними критеріями, яким повинен задовольняти будь-діагностичний тест.

Проведення тесту у групах школярів та аналіз результатів куратором групи допомагає дітям визначитися з професійними інтересами. На підставі помічених недоліків в розумовому розвитку можна намітити конкретну схему корекційної роботи по їх усуненню.Програмний комплекс з можливістю збереження усіх результатів в один файл дасть змогу швидше проводити тест та прискорить аналіз результатів, тому було вирішено розробити програмний додаток для проведення тесту.[2,3]

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Наразі існують тільки друковані та онлайн-версії тесту шкільного тесту розумового розвитку, що не дає змогу використовувати даний тест серед

школярів під час навчання. Програмування даного тесту та подальше налаштування збереження отриманих даних від групи студентів в один файл є актуальним, оскільки, окрім появи комп'ютерної версії тесту, вчитель або куратор групи школярів отримає файл з відповідями протестованих студентів, що пришвидшить аналіз тесту та спростить його проведення у великої групи людей [3].

РЕЗУЛЬТАТИ

Користувач запускає програму з тестом. При відкриті програми з'являється дефолтне вікно (рис. 1) із запитанням готовності користувача до проходження тесту.

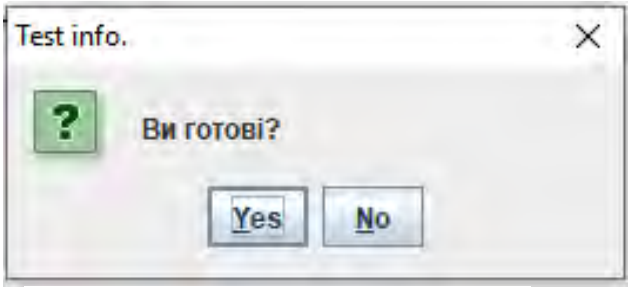


Рисунок 1. Дефолтне вікно програми

Далі на екрані з'являються питання з 1 розділу, які по мірі заповнення відповідями змінюються на питання з наступного розділу. Якщо питання, на яке відповідає користувач, має декілька варіантів відповідей, то правильна відповідь позначається обраним радіобаттоном. Якщо питання, на яке відповідає користувач, має відкриту відповідь, то користувач записує відповідь в поле вводу своїми словами. Якщо відповіді дані на всі питання, то отримані дані записуються у формат .csv та передаються на налаштований комп'ютер, а тест завершується.

Після завершення тесту, отримані дані записуються у .csv файл та відкриваються у програмі Excel (рис. 2). Відбувається перевірка на правильність відповідей, тобто перевіряється кожна комірка. Якщо комірка з відповіддю відноситься до відкритих питань, то користувач власноруч аналізує і перевіряє відповіді на правильність.

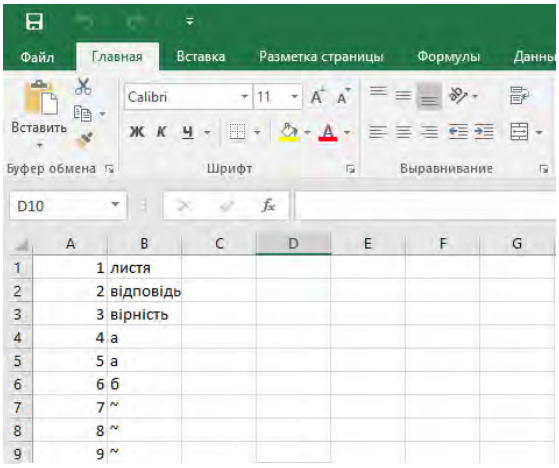


Рисунок 2. Файл з введеними даними

Оскільки мова програмування даної програми Java, то програма піддається користувацьким змінам налаштування інтерфейсу та шляхів до відповідних файлів. На рисунку 3 представлено вікно налаштувань програми, які користувач може змінити.

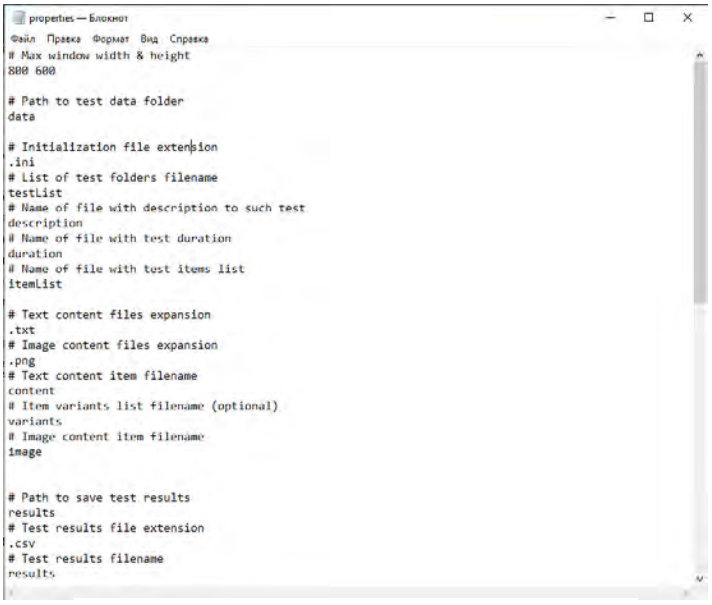


Рисунок 3. Вікно налаштувань програми

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної роботи було ознайомлено із структурою шкільного тесту розумового розвитку та проаналазівано список необхідної літератури.

Розглянуто середовища програмування та проведено їх порівняння за найвпливовішими факторами. Для реалізації тесту в навчальних цілях обрано мову програмування Java.

Розроблено програму, яка є комп'ютерним додатком – тестом. У програмі реалізовано виведення питань у вигляді тексту, а також можливість введення відповіді у текстове поле і вибір варіанту відповіді у вигляді радіобаттону.

Для оптимізації навчального процесу, була реалізована передача введених даних з усіх комп'ютерів в один файл задля перевірки відповідей на правильність і аналіз отриманих даних спеціалізованим фахівцем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Методика ШТУР [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://iemcko.ru/4338.html..
[2] Школьный тест умственного развития. Экспертная оценка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://childpsy.ru/lib/metodics/15321/.
[3] Школьный тест умственного развития. Описание [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://azps.ru/tests/tests3_stur.html
[4] Профессиональное самоопределение выпускников школ // А. В. Меренков, Ю. В. Мокерова, О. Г. Смирнова – 113 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 543.26

М.А. Любиченко, студент гр. ПНз-91мп, к.т.н., ас. Івасенко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОНІТОРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я

Анотація. Діючі системи моніторингу атмосферного повітря часто не призначені для визначення кількісних характеристик експозиції населення шкідливими атмосферними домішками і оцінюванні пов'язаних з цим наслідками для здоров'я. Тому при розробці нових або при удосконаленні вже діючих програм моніторингу слід враховувати необхідність отримання результатів вимірювань, на підставі яких буде проводитися оцінка впливу на здоров'я населення.

Ключові слова: моніторинг, експозиція, атмосферне повітря.

ВСТУП

Оцінка якості атмосферного повітря має велике значення при визначенні характеру експозиції населення викликаного забрудненням повітряного середовища [1]. У той же час оцінка експозиції населення необхідна для оцінки наслідків для здоров'я, яка, в свою чергу, є надзвичайно важливою для розробки планів управління якістю атмосферного повітря і охорони здоров'я населення.

Вплив шкідливих повітряних домішок на людський організм може проявитися у вигляді цілої різноманітності ефектів на здоров'я в залежності від таких факторів, як тип забруднювача; ступінь, тривалість і частота експозиції; і характерна токсичність конкретної забруднюючої речовини. У своїй повсякденній діяльності люди контактують з атмосферними домішками як всередині приміщень, так і за їх межами, а отже, необхідно враховувати відмінності в джерелах і складі забруднюючих речовин, що присутні всередині приміщень і на відкритому повітрі, а також їх відносний внесок в сумарну персональну експозицію.

МЕТА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

На стан навколишнього середовища впливають різні види діяльності людини - економіка,товарне виробництво, транспорт і сфера споживання. Для управління якістю атмосферного повітря можуть використовуватися всі види дій, що спрямовані на регулювання якості повітря в навколишньому середовищі. Кінцевою метою управління якістю атмосферного повітря є забезпечення такого рівня його чистоти, яка була б безпечна для здоров'я населення і навколишнього середовища.

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ЗАБРУДНЕННЯМ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА І ЙОГО ВПЛИВОМ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Основну частину часу (близько 80-90%) населення проводить всередині приміщень [2]. Крім того, навіть в побуті можуть бути внутрішні джерела надходження забруднення в навколишнє повітря. Моніторинг якості навколишнього повітря призначений для визначення концентрацій забруднюючих речовин в повітрі поза приміщеннями. Експозиція обумовлена забруднювачами зовнішнього повітря, визначає дозу їхнього впливу на організм людини. Як результат індивідуальні ефекти впливу на здоров'я визначаються дозою забруднювача, токсичності забруднюючої речовини, а

також від індивідуальної сприйнятливості людського організму. Тому результати моніторингу в кращому випадку лише непрямим чином вказують на ризик прояву можливих ефектів на здоров'я. Під експозицією розуміють концентрацію забруднюючих речовин, що впливають на людей в місці їх існування [3]. Незважаючи на те, що експозиція являється достатньо обґрунтованою мірою визначення ступеня ризику для здоров'я, різні люди які зазнали допустимої експозиції, можуть отримати різні дози одного і того ж забруднювача, а наслідки для їх здоров'я можуть виявитися несумісними. Щоб пояснити розвиток загостреної реакції у чутливих людей, необхідно провести оцінку рівнів експозиції у різних контингентів населення, особливо у таких найбільш вразливих груп, як діти, люди похилого віку та інваліди.

МІНЛИВІСТЬ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ РОЗПОДІЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Часто атмосферне забруднення в навколишньому середовищі розподілено нерівномірно. У багатьох випадках підвищені концентрації забруднювачів спостерігаються неподалік від джерел забруднення. З ростом інтенсивності автотранспортних потоків в містах найбільш забруднені території перемістилися з промислових зон в місця компактного проживання населення, причому, коли відбувається поєднання забруднених територій з населеними районами, спостерігається тенденція до поступового наростання експозиції.

Результати моніторингу представляють лише те місце і час, коли і де відбувався відбір взяття проби або проводились відповідні вимірювання [4].

Концентрації забруднюючих речовин всередині приміщень завжди відрізняються від їх значень на відкритому повітрі в безпосередній близькості від самих приміщень. Вентиляційні системи відфільтровують частину окремих забруднювачів, проте деякі внутрішні джерела можуть також виявитися причиною підвищення концентрацій тих же самих забруднювачів всередині приміщень.

Місцеперебування населення змінюється в залежності від часу доби, дня тижня або пори року. У нічний час більшість населення перебуває вдома. Вдень багато людей відправляються на роботу, в школу або інші місця. Ночами населення центральної частини міст може бути вельми нечисленним в порівнянні з тією кількістю людей, які працюють там або відвідують ці місця в денний час. У своєму звичайному повсякденному житті люди переміщаються в поле різних концентрацій забруднювачів, опиняючись при цьому під впливом різних рівнів повітряних домішок. Протягом дня населення піддається впливу підвищених і знижених рівнів атмосферних забруднень. Фактичний рівень середньої експозиції залежить від способу життя конкретної людини.

Взаємозв'язок роду діяльності і часу за деякими найтиповішим групам населення представлена у вигляді секторальних діаграм на рис. 1.

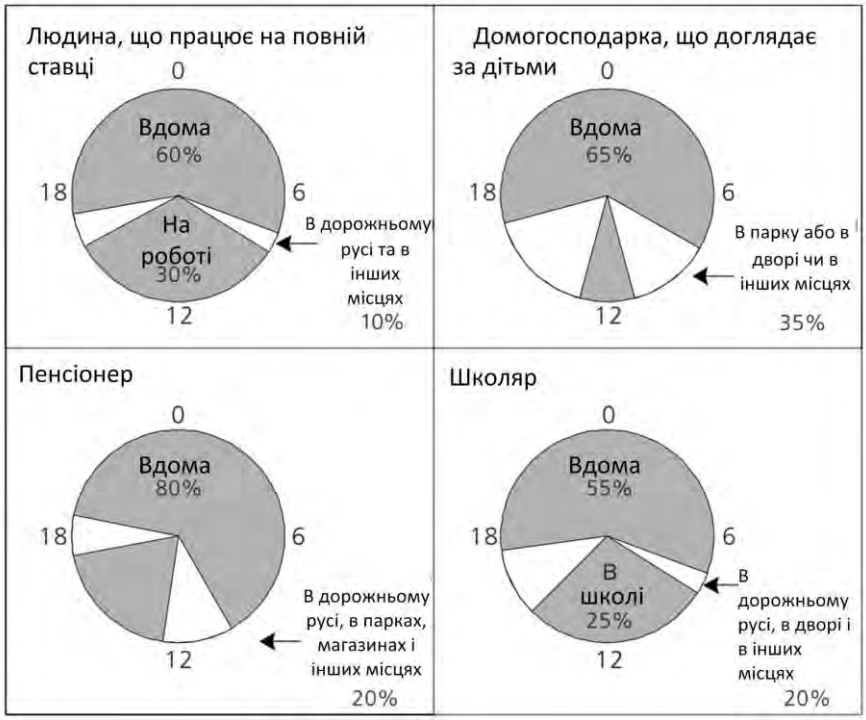


Рисунок 1. Характеристика взаємозв'язку роду діяльності і часу доби на прикладі звичайного 24-годинного дня

Коли мова йде про моніторинг якості навколишнього повітря, мають на увазі повітряне середовище поза приміщеннями і прив'язку постів моніторингу до конкретного місця. Щодня люди в'їжджають на територію населеного пункту, виїжджають звідти і перетинають її. Розрахунок експозиції, проведений за концентраціями забруднювачів на відкритому повітрі, відповідає потенційної експозиції населення. Якщо людина весь свій час проводив поза приміщенням в межах території, що прилягає до станції моніторингу, або в іншому місці з аналогічною концентрацією забруднювачів, то результат моніторингу буде відповідати його істинної експозиції.

В основному відмінності між потенційною і істинної експозицією обумовлені тим, що значну частину свого часу люди проводять всередині приміщень.

Для деяких забруднювачів (таких, як озон) будівлі відіграють роль фільтрів, забезпечуючи видалення частини забруднення з того обсягу повітря, що проникає в приміщення. Вентиляційна система також згладжує зміни в рівні забруднення на відкритому повітрі, знижуючи його пікові концентрації всередині приміщення. В інших ситуаціях в приміщеннях можуть знаходитися значні джерела таких забруднень, як летючі органічні сполуки (ЛОС) або зважені речовини Навіть щодо малозначні джерела викидів в повітряне середовище всередині приміщення можуть призводити до високих концентрацій забруднювачів в замкнутому просторі.

Якщо ж джерела забруднення повітряного середовища всередині приміщення доволі істотні, то розрахунки на основі лише одних концентрацій забруднювачів на відкритому повітрі приведуть до заниженої оцінки фактичної персональної експозиції.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКСПОЗИЦІЇ НАСЕЛЕННЯ НА ПІДСТАВІ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ

Один з простих методів оцінки експозиції населення на підставі результатів моніторингу передбачає використання даних, отриманих тільки однією станцією моніторингу або ж декількома окремо відібраними чи всіма одразу станціями моніторингу в межах міста, і визначення середньої арифметичної величини концентрацій. Потім отримане таким чином середнє значення, припустимо, за один день чи рік, використовується для визначення експозиції всього населення.

Згідно складнішого методу, все населення ділиться на групи, експозиція яких оцінюється окремо. Далі проводиться аналіз часу, витраченого на різні види діяльності, а також територій, де працює і проживає населення. Все населення міста ділиться на групи в залежності від факторів, що визначають різну ступінь експозиції даних груп. Таким чином можна сформувати три групи: 1) населення передмість, що не працює за межами місця проживання; 2) населення передмість, що виїжджає на роботу в центр міста; і 3) населення, яке проживає і, ймовірно, працює в центрі міста.

ВИСНОВОКИ

Завдяки розбивці населення на окремі групи вдається більш правильно розрахувати експозицію і наслідки для здоров'я всього населення міста. Можна також провести окрему оцінку ефектів на здоров'я у різних груп населення. Такий підхід дозволяє поліпшити повне уявлення про структуру розподілу несприятливого впливу на здоров'я населення і прийняти більш ефективні заходи в галузі управління якістю атмосферного повітря

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). – Офіційне видання ДСП-2001-97. – [Чинні від 1997-07-09] – Київ. Міністерство охорони здоров’я України, 1997. – 55 с. – (Державні санітарні правила).

[2] Jantunen, M. et al. (1998). Air pollution exposure in European cities: the expolist study. Journal of exposure analysis and environmental epidemiology, 8: 495–518.

[3] Briggs, D. et al, (1996). ED. Linkage methods for environment and health analysis. General guidelines. Geneva, World Health Organization, (document WHO/EHG/95.26).

[4] Krzyżanowski, M. (1997).Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. Occupational and environmental medicine. 54: 145–151.

Наук. керівник – к.т.н., ас. Івасенко В.М.

УДК 004.7

К. О. Мешкова, студентка гр. ПН-91мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАХВОРЮВАННЯ НАСЕЛЕННЯ НА COVID-19

Анотація. Проведено аналіз державних ресурсів стосовно методів моніторингу населення на COVID-19 та параметрів для статистики і прогнозування захворюваності населення на коронавірус. За допомогою мобільного рішення, лікарі зможуть в реальному часі та з мінімальною похибкою аналізувати кількість здорових людей, потенційно уражених та хворих на COVID-19. Розроблений мобільний додаток працює, як система дає можливість введення та передачі даних від пацієнтів до лікаря у режимі реального часу. Таке рішення зможе допомогти передбачити рівень та статистику захворюваності на COVID-19 в обраному районі. Після вводу показників, всі дані передається в додаток лікарю через хмаровий сервіс Firebase та відображається у форматі динамічних графіків. Дана онлайн база може не лише надавати актуальні значення лікарю а й за допомогою системи callback сповіщати про введення даних пацієнтом, що мають критичні значення з найбільшою вірогідністю захворювання на коронавірус. Реалізовану базу Firebase легко підлаштовувати під актуальні потреби лікаря чи району, в якому вводиться даний сервіс. Також, лікар має можливість отримати виписку всіх введених параметрів та даних пацієнтів у форматі розгорнутої Excel таблиці.

Ключові слова: моніторинг, телемедицина, поліпшення моніторингу, коронавірус, COVID-19, прогнозування, мобільний додаток.

ВСТУП

В березні 2020 року характер розповсюдження коронавірусної хвороби COVID-19 вже почали розцінювати, як справжню пандемію для людства, а не просто захворювання в одній провінції Китаю. Адже, головним критерієм пандемії вважається глобальність. Вірус почав стрімко розповсюджуватися усіма материками нашої планети. Людство оцінило усі масштаби пандемії та почало проводити заходи для сповільнення, знищення цієї вірусної хвороби. Адже, пандемія 2019-2020 років змінила поведінку та динаміку життя всіх українців. Все більше людей зрозуміли всю важливість моніторингу, дистанційного контролю та допомоги в усіх сферах, а особливо в медицині.

Саме постійний моніторинг, актуалізація даних та прогнозування перебігу захворювання допомагає припинити розповсюдження коронавірусної інфекції. Спираючись на розвиток пандемії та активність у використанні смартфонів, було вирішено розробити мобільний додаток для моніторингу не лише хворих, а й здорових людей на симптоми COVID-19.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Для проведення моніторингу всього населення України, Національна Служба Здоров'я України розробила єдиний портал для Оперативного моніторингу ситуації довкола Covid-19 [1]. Суть даного порталу полягає в актуальному відображенні рівня захворюваності в Україні. Дана інформація представлена на сайті НСЗУ в графічному вигляді та поділена за регіонами України. Обравши необхідну область, можна подивитися на статистику перебігу захворювання.

Всю цю статистику Національна Служба Здоров'я України отримує з госпіталей, лікарень та лабораторій, що мають самостійно передавати дані в єдину базу. Саме тому, показники можуть відрізнятися від дійсності та не можуть гарантувати стовідсоткової достовірності. Через це, неможливо точно

прогнозувати перебіг захворювання в регіонах, для попередження підвищення рівня захворюваності на місцях [2].

Існує ще одна державна організація - Рада Національної Безпеки та Оборони України, що має власний портал для відслідковування динаміки захворювання в Україні та областях. Сервіс "Сота" надає дані за будь-який період по наступним показникам: кількість хворих, кількість видужавших, кількість померлих [3].

Недоліком даної системи, є представлення інформації лише по областям, що унеможливлює аналіз динаміки перебігу захворювання в регіонах та містах.

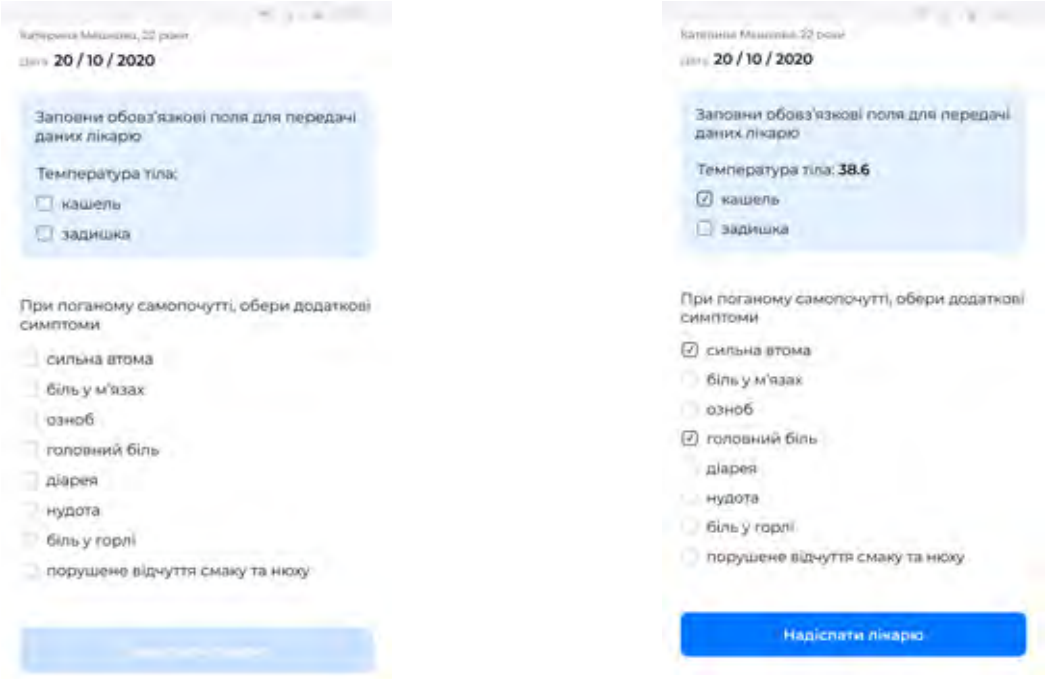
РЕЗУЛЬТАТИ

Реалізацію мобільного додатку було почато з реєстрації користувачів у системі. На першому кроці, при вході в систему, необхідно обрати тип користувача: "пацієнт" чи "лікар". Пацієнт - житель дільниці, що буде вводити дані про свій стан та передавати їх відповідальному за це лікарю. Лікар - лікар, що відповідає за дільницю, проводить моніторинг даних та аналізує стан захворюваності. Наступним кроком для кожного з типів користувачів є авторизація в системі. До реєстрації пацієнта віднесено заповнення основних полів таких, як: ім'я, прізвище, створення паролю, дата народження, стать та вибір дільниці, якій він належить [4,5].

Далі пацієнт має заповнити додаткові фактори, що можуть впливати на статус захворювання на коронавірус. До цих показників віднесено фактори. Пацієнт може обрати всі фактори, чи жодний з них та перейти до основного меню програми. Повторний вхід пацієнта в систему відбувається через введення паролю, що він створював для цього.

На головному екрані системи наявне ім'я та прізвище пацієнта, що разом з датою та заповненими полями передається лікарю дільниці для аналізу. Користувач має щоденно вводити основні показники, що розміщені в синьому прямокутнику. До основних показників відносяться: температура, кашель та задишка. Під час поганого самопочуття, пацієнт може вибрати додаткові симптоми, що турбують його в даний момент. Вони знаходяться під блоком основних показників. Реалізацію порожнього на заповненого вікна головного блоку системи наведено на рисунку 1.

Наступним кроком була реалізація другого типу користувачів системи-лікарів. Лікар має заповнити всі необхідні поля для реєстрації та вибрати дільницю, моніторинг якої він має проводити. Пароль до облікового запису системи надає адміністратор чи відповідальне лице, щоб забезпечити безпеку та збереження надійності в користуванні системою. При повторному вході в систему, лікаря має ввести пароль, що видається адміністратором.



а) б)

Рисунок 1. Вікно головного меню для користувача “Пацієнт”

Наступним кроком була реалізація головного екрану лікаря. На головному екрані представлені дані про поточний день з кількістю людей, що захворіли на коронавірус та тих, в кого є підозра на коронавірус. Також, лікар може спостерігати динаміку захворювання на графіку, що показує кількість здорових, хворих та з підозрою на коронавірус пацієнтів за останні 5 днів. Реалізація цієї функціональності наведена на рисунку 2.

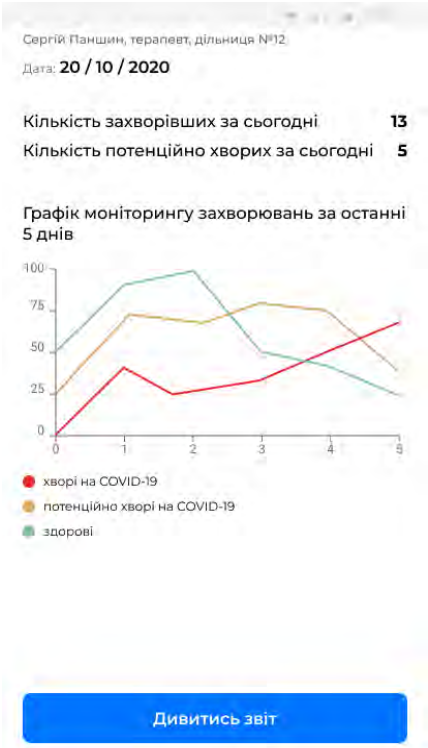


Рисунок 2. Вікно головного меню для користувача “Лікар”

Останнім блоком системи - є реалізація звіту по всім пацієнтам дільниці. На цьому вікні має бути наведена статистика кожного пацієнта з переліком всіх факторів та параметрів, що користувачі надають щодня.

ВИСНОВКИ

Розроблений мобільний додаток працює, як система дає можливість введення та передачі даних від пацієнтів до лікаря у режимі реального часу. Таке рішення зможе допомогти передбачити рівень та статистику захворюваності на COVID-19 в обраному районі. Після вводу показників, всі дані передається в додаток лікарю через хмаровий сервіс Firebase та відображається у форматі динамічних графіків. Також, лікар має можливість отримати виписку всіх введених параметрів та даних пацієнтів у форматі розгорнутої Excel таблиці.

Безкоштовна база даних в реальному часі − дуже гарна альтернатива серверу при створенні мобільних додатків в навчальних цілях. В ній містяться все необхідне для зберігання та передачі невеликої кількості параметрів. Було розроблено спосіб передачі даних в режимі реального часу від пацієнтів району до лікаря. Дана онлайн база може не лише надавати актуальні значення лікарю а й за допомогою системи callback сповіщати про введення даних пацієнтом, що мають критичні значення з найбільшою вірогідністю захворювання на коронавірус. Реалізовану базу Firebase легко підлаштовувати під актуальні потреби лікаря чи району, в якому вводиться даний сервіс.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] НСЗУ. Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України [Електронний ресурс] / НСЗУ – Режим доступу до ресурсу: https://nszu.gov.ua/e-data.
[2] Система моніторингу поширення епідемії коронавірусу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://covid19.rnbo.gov.ua/.
[3] Онлайн статистика коронавируса Covid-19 в Украине [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://coronavirus-monitor.ru/coronavirus-v-ukraine/.
[4] Elenko E. Defining digital medicine / E. Elenko, L. Underwood. // Nature Biotechnology. – 12. – №33. – С. 18.
[5] Mobile system with network-distributed data processing for biomedical applications [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://patents.google.com/patent/US9183351B2/en.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 543.435; 543.436

О.А Осипенко, студент гр. ПН-91зм, Д.С. Сопружинський, студент гр. ПН-91мп, Д.А. Коваленко, студент гр. ПН-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОНТРОЛЬ МУТНОСТІ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Розглянуто оптичні методики контролю наявності органічних та неорганічних мілкодисперсних речовин у воді технологічного призначення. Засоби і технології мутнометріі неоднорідних середовищ визначають спосіб прояву неоднорідності дисперсної фази при дії світла. При цьому, будь-який різновид мутномірів враховує спектрально-енергетичну специфіку взаємодії видимого і прилеглого до нього областей спектру випромінювання із фізично різнорідними частками, зваженими у водному середовищі. Дані засоби відрізняються робочим діапазоном довжин хвиль та конструктивним особливостями детекторів, що характеризує шлях випромінювання в досліджуваній водній фазі.

Ключові слова: мутність води, нефелометрія, турбідиметрія, детектори, кількісний аналіз.

ВСТУП

Контроль якості води, як рідкої агрегатної системи, являє собою першочергове завдання як у побуті так і у безлічі технологічних процесів. Особливо важливим є контроль бактеріологічного забруднення води та контроль наявності органічних та неорганічних мілкодисперсних речовин у водній фазі.

Якісне визначення мутності води проводять описово: слаба опалесценція, слаба, помітна і сильна муть. Для забезпечення кількісного контролю мутності води технологічного призначення найчастіше застосовується нефелометрія та турбідиметрія, які відносяться до оптичних методів аналізу середовища. Дані методи досить широко застосовуються в аналітичній хімії.

Для визначення наявності зважених часток у водній фазі та їх розподілу по масі та об’єму застосовують гранулометричний аналіз – це вимірювання розподілів за розмірами частинок в дисперсних середовищах. У гранулометричному аналізі розсіяне випромінювання реєструється під різними кутами за допомогою багатоелементного фотоприймача, потім за виміряною залежністю інтенсивності розсіяного випромінювання від кута розсіювання здійснюється розрахунок розподілу часток за розмірами [1].

МЕТА РОБОТИ

Як правило, підприємства – споживачі технічної води, не пред'являють особливих вимог до її запаху, кольору, смаку і вмісту в ній бактерій. На відміну від питної, її якість регламентується залежно від того, де і як підприємство її використовує.

У випадку, якщо вода застосовується у технологічних процесах виробництва лікарських препаратів, засобів косметики та гігієни, а також продуктів харчування, якість одержуваного кінцевого продукту безпосередньо залежить від якості і складу застосовуваної в виробничому процесі води.

Якщо вода використовується безпосередньо у технологічному процесі то від параметрів використовуваної води залежить не тільки якість одержуваного продукту, але і термін роботи, надійність дорогого в більшості випадків обладнання. Таким чином воду використовують в електронній промисловості, лініях порошкового фарбування або гідроабразивного різання.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для контролю води що застосовується в технологічних процесах харчової промисловості використовують воду мутність якої не повинна перевищувати 1,5 мг/дм^3 по каоліну. Мутність води визначають турбідиметрично (по ослабленню світла що проходить через пробу) та шляхом порівняння проб досліджуваної води із стандартними суспензіями.

Результати вимірювань виражають в мг/дм^3 (при використовуванні основної стандартної суспензії каоліну) або в ОМ/дм^3 (одиниці мутності на дм^3 при використовуванні основної стандартної суспензії формазину). В даному випадку 1,5 мг/дм^3 каоліну в пробі відповідає 2,6 ОМ/дм^3 формазину. Турбідиметричне визначення призначено для вод, що мають непостійний склад і форму тонкодисперсних домішок. Якщо пробу заздалегідь не профільтрувати, то турбідиметрично будуть визначені не тільки колоїдні, але і більш грубодисперсні частинки.

Узагальнена назва одиниць каламутності на основі формазину – FTU (або ОМФ – одиниці мутності по формазину), яка фактично відповідає концентрації формазинової суспензії, вираженої у міліграмах на літр [2].

У нефелометричному і турбідиметричному аналізі використовується явище розсіювання світла твердими частинками, що знаходяться в розчині в підвішеному стані.

Пробу освітлюють світловим потоком із інтенсивністю I_0, а потім, так само як в молекулярній абсорбційній спектроскопії, вимірюють інтенсивність випромінювання що пройшло через пробу I_t або визначають інтенсивність випромінювання, розсіяного під певним кутом (наприклад, I_{90} при 90°). Із ростом числа частинок суспензії відношення I_t/I_0 зменшується, а відношення виду I_{90}/I_0 збільшуються.

Метод, в якому використовують інтенсивність світла I_t що проходить через зразок, називають турбідиметрією, а метод з вимірюванням під кутом 90° (або будь-яким іншим) – нефелометрією. При турбідиметричному аналізі, величина що називається мутністю, відповідає оптичної щільності і може бути визначена зі співвідношення, аналогічного основному закону поглинання світла [3]:

$$S = lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = k \cdot b \cdot N, \tag{1}$$

де S – мутність розчину в одиницях FTU;

k – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом мутності;

b – довжина шляху світла;

N – число частинок в одиниці об'єму що розсіюють світло.

Розрахункове співвідношення що використовується в нефелометрії наступне:

$$I = K_a c I_0, \tag{2}$$

де K_a – емпірична константа системи (α - кут, під яким проводять вимірювання);

c – концентрація дисперсних часток в зразку.

Для технічних середовищ із мілкодисперсними частками розподіл інтенсивності випромінювання є симетричнм щодо осі оптичного пучка Φ_0 (рис 1, а). Розсіювання випромінювання технічними середовищами з параметрами частинок, порівнянними з довжиною хвилі λ, представляється витягнутим уздовж осі X індикатриса I (рис. 1,б). Зі збільшенням перерізів частинок по співвідношенню до довжини хвилі X інтенсивність розсіювання випромінювання в прямому напрямку зростає (рис. 1,в) [4].

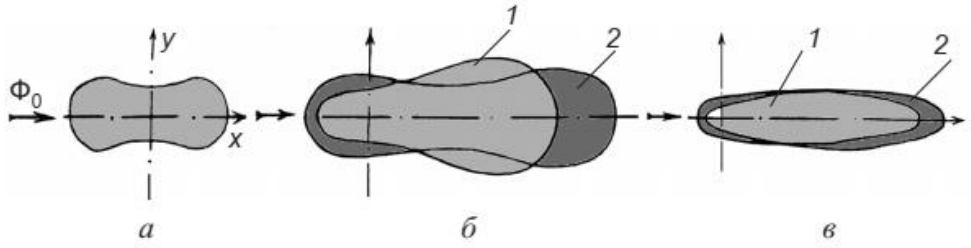


Рисунок 1. Індикатриси розсіювання випромінювання частинками при освітлені світлом різної довжини хвилі λ: а – розміри частинок менше λ; б – розміри частинок спів розмірні із λ; в – розмір часток перевищує λ; Φ_0 – потік випромінювання.

При реєстрації розсіяного випромінювання можливі різні кути розташування детекторів по відношенню до падаючого випромінювання:

1) 180°– детектор розташований на одній осі із джерелом випромінювання, аналізується прохідне світло (турбідиметрія). Детектор застосовується для аналізу незабарвлених розчинів (або забарвлених при використанні ІЧ-джерела) у діапазоні приблизно від 5 до 1000 FTU;

2) 90° – детектор розташований під кутом 90° до джерела випромінювання, аналізується світло, розсіяне під прямим кутом (нефелометрія). Детектор забезпечує найкращий відгук при аналізі низьких і наднизьких значень каламутності;

3) 90° + XX° – крім нефелометричного детектору, розташованого під кутом 90° використовуються один або кілька детекторів, розташованих під іншими кутами (зазвичай 180°, 45°, 135°), що забезпечує більший вимірювальний діапазон і частково компенсує вплив кольоровості. Сигнали детекторів обробляються за спеціальним алгоритмом (у кожного виробника він власний) і підсумковий результат надається у одиницях FTU.

Важливо відзначити, що застосований мутномір може мати у своєму складі декілька детекторів, але залежно від режиму і діапазону вимірювання може використовуватися тільки один або декілька, що дозволяє одержувати результати в різних одиницях.

ВИСНОВОК

Провівши огляд методів та засобів вимірювання мутності води технологічного призначення можна стверджувати, що на даний момент існує 2 основних оптичних методики контролю дисперсних часток у воді. Методика турбідиметрії використовує фотометричний принцип і визначає поглинання світла в шарі аналізованої речовини за умови, що джерело випромінювання і детектор розташовано на одній осі. В нефелометрах для визначення мутності використовується принцип світлорозсіювання, що визначається під кутом 90° до джерела освітлення.

Інформаційно-перетворювальне призначення мутнометрії забезпечується технологіями та засобами порівняльної оцінки помутніння технічного середовища. Мутність води що застосовується у технологічних процесах викликана присутністю тонкодисперсних домішок, обумовлених нерозчинними або колоїдними неорганічними і органічними речовинами різного походження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Измерения в промышленности. В 3 кн. / под ред. Профосап; пер. с нем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – Кн. 2: Способы измерения и аппаратура. – 384 с.

[2] Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия (аналитика). В 2 кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа: Учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 559 с

[3] Фетисов, В. С. Средства измерения мутности жидких сред: теоретические и практические аспекты /В. С. Фетисов // Измерение, контроль, автоматизация. – 2003. – № 12. – С. 49-56.

[4] Марков, А. П. Анализ оптико-электронных приборов технологического контроля жидких сред / А. П. Марков // Вестн. МГТУ, 2006. – № 2. – С. 120-127.

Наук. керівник – д.т.н., проф, Шульга О.В.

УДК 621.315.592, 539.2

В.А. Пасечник, студентка гр. ПН-01мп, к.т.н., доц. Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ТИПА «ЗЕБРА» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Аннотация. Авторами выполнен краткий обзор методов измерения электрических параметров полупроводниковых материалов. Ими был предложен новый вариант метода измерения слоевого сопротивления полупроводников и тонких проводящих пленок на основе применения эластичных гальванических контактов типа «зебра». По сравнению с известными методами, например, четырехзондовым, данный вариант обладает следующими преимуществами:

- увеличена площадь контакта, что позволило уменьшить влияние нагрева за счет выделения тепла Джоуля в контактной зоне;
- уменьшено давление в 100-1000 раз на поверхность образца в зоне контакта по сравнению с четырехзондовым методом;
- отсутствуют геометрические эффекты, при этом отпадает необходимость во введении поправочных коэффициентов при измерениях.

Предложенный метод опробован на тонкой пленке (прозрачном электроде ITO) в статическом режиме. Авторы предполагают использовать данный метод в импульсных измерениях и получении вольт-амперных и других характеристик поверхностных слоев и тонких проводящих пленок, включая наноматериалы.

Ключевые слова: тонкие пленки; анизотропопроводящая резина, слоевое сопротивление, эластичный гальванический контакт, четырехзондовый метод, прозрачный электрод.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование электрических свойств поверхностных слоев полупроводниковых материалов, например, слоевого сопротивления, требует применения специфических измерительных методов. К ним прежде всего относят [1]:

- четырехзондовый метод;
- метод измерения сопротивления растеканию (Spreading – Resistance–Technic);
- метод измерения слоевого сопротивления по эффекту Холла, в частности, метод Ван дер Пау;
- метод измерения с помощью омических (гальванических) контактов;
- метод пробоя.

Ни один из вышеуказанных методов не является в полной мере неразрушающим для структуры тонкой пленки. Таким образом, исследуемый образец представляет собой «одноразовый» объект лабораторных измерений. Для сохранения поверхности образца от механического повреждения авторы предлагают модифицировать четвертый метод применением эластичных мягких контактов на основе анизотропопроводящей резины. Данная технология под названием «зебра» была разработана и запатентована компанией Fujitsu для индикаторов на жидких кристаллах (LCD – Liquid Cristal Display).

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СЛОЕВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Четырехзондовый метод [1,2] характеризуют малая затрата времени, отсутствие необходимости в специальных структурах, высокая

помехоустойчивость, возможность непосредственно получать значение слоевого сопротивления.

Измерение сопротивления растеканию дает величину некоторого сопротивления, которую необходимо корректировать, чтобы определить истинное слоевое сопротивление. размеров этих структур он хорошо применим для исследования однородности поверхностного слоя. При этом поправка обычно столь велика, что данный метод удобен только для измерения профиля сопротивления.

Метод Ван дер Пау сложен в реализации и его следует применять только в комбинации с измерениями эффекта Холла.При этом требуется сформировать на поверхности специальные структуры.

Метод измерения с помощью омических контактов также связан с необходимостью иметь соответствующие поверхностные структуры, однако благодаря малости требуемых размеров хорошо применим для исследований однородности.

Метод определения слоевого сопротивления с помощью напряжения пробоя (трехзондовый метод) представляет интерес только для исследования слоев с низким уровнем легирования на хорошо проводящей основе.

Для измерений слоевого сопротивления с помощью четырехзондового метода используют четыре металлических зонда, которые располагают на равном удалении друг от друга и прижимают к поверхности полупроводника. Через два крайних зонда задают определенный ток (зонды подключают к источнику тока), два средних зонда служат для измерения падения напряжения, которое появляется при протекании тока. Разность потенциалов обычно измеряют высокоомным цифровым вольтметром. Расстояние между соседними зондами обычно составляет 0,5-1 мм. Зонды изготавливают из вольфрама. Усилие, с которым прижимают зонд, составляет от 0,5 до 2 Н. Слоевое сопротивление *Rs* определяют по измеренным напряжению *U* и току *I*в соответствии с формулой Смитса [1,2]:

$$Rs = \frac{\pi}{ln2}\frac{U}{I}; \quad (1)$$

Причинами погрешностей измерений четырехзондовым методом могут быть:

- поверхностные эффекты;
- токи утечки;
- нагрев образца за счет выделения тепла Джоуля;
- давление измерительных зондов;
- геометрические эффекты.

Слоевое сопротивление полупроводника изменяется экспоненциально с изменением температуры, поэтому эффект нагрева можно получить уже при очень малых измерительных токах.

Исследования в области эластичных контактов представлены в [3,4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для эластичного контакта была выбрана «зебра» в форме параллелепипеда с размерами 34x5,5x2 мм, одинаковыми по толщине проводящими и изолирующими слоями, как изображено на Рисунке 1. Толщина проводящих и изолирующих слоев «зебры» одинакова и составляет 0,1 мм. Таким образом, по всей длине контактной зоны укладывается 170 проводников размером 5,5x0,1 мм и толщиной 2 мм, отделенных друг от друга изоляторами с такими же размерами.

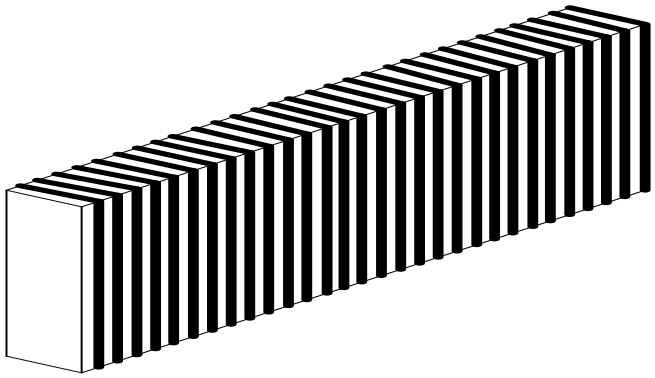


Рисунок 1. Резиновый контакт типа «зебра» с анизотропной проводимостью: темные полосы – проводят ток; светлые – изоляторы

При контакте «зебры» с платой печатного монтажа (фольгированный текстолит) мы получаем структуру типа «гребенка», в которой плоскость контакта с платой создает эквипотенциальную поверхность.

Авторами были проведены эксперименты по измерению слоевого сопротивления прозрачного электрода на основе тонкой пленки оксида индия и олова (ITO–IndiumTinOxide), нанесенной на стеклянную подложку. Данные измерения важны при тестировании подложки на однородность поверхностного слоя, а также при контроле его проводимости. Была выбрана подложка с размерами 80x51 мм и толщиной пленки ITO примерно 1 мкм. Для независимого альтернативного контроля на торцах подложки нанесли проводящие полоски из чистого индия.

Измерения проводили цифровым мультиметром. Измеряемая площадка составляла 50x34 мм. При этом полное сопротивление вместе с контактами составило 163 ±0,2 Ом, без контактов – 149,6 ±0,2 Ом. Удельное сопротивление равно при этом 101,7 ±0,2 Ом/квадрат.

Альтернативный метод измерения на основе паяных контактов из индия дал значение 161 ±0,2 Ом/квадрат, что на 50% отличается от предыдущих данных. Такой результат можно объяснить наличием разрывов в торцовых контактах из индия вследствие недостаточной адгезии при пайке.

При измерении четырехзондовым методом были применены нестандартные зонды с межзондовым расстоянием 2 мм. Ошибка метода за счет геометрического фактора составила 2%. Сопротивление вычисляли по формуле (1). Оно составило 147 ±3 Ом, что согласуется с данными, полученными на основе предложенного авторами метода.

Действенность метода измерения слоевого сопротивления с помощью эластичных контактов типа «гребенка», на наш взгляд, доказана приведенным выше примером для тонких пленок ITOна стеклянной подложке. Параметры метода (давление на поверхность, площадь контакта) превосходят параметры четырехзондового метода и позволяют расширить диапазон его применения для различных материалов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований экпериментально доказана возможность применения эластичного омического контакта с конструкцией типа «гребенка» при измерении сопротивления поверхностного слоя на гладкой поверхности в статическом режиме (с помощью мультиметра). Определены конструктивные и функциональные параметры контактного устройства. В то же время обозначены последующие задачи: проведение измерений электрических параметров и получение вольт-амперных характеристик в динамическом (импульсном) режиме как для гладких, так и для шероховатых поверхностей различных полупроводников и проводящих тонких пленок, в том числе и нанопленок.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ryssel H., Ruge I. Ionimplantation. Wiley, Chichester, 1986. – 478 p.
[2] Solymar L., Walsh D. (2014). Electrical Properties of Materials. 9th Edition. — Oxford University Press, 501 p.
[3] Tamai T. Electrical Properties of Conductive Elastomeras Electrical Contact Material //IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Volume: 5, 1982. – p.56 – 61.
[4] Shenogin S., Ferguson L., Roy A. The effect of contact resistance on electrical conductivity in filled elastomer materials // Polymer, Volume. – 2020. Web: https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122502Get rights and content
[5] Zhai Ch., Hanaor D., Proust G. (2015). Stress-Dependent Electrical Contact Resistance at Fractal Rough Surfaces //Journal of Engineering Mechanics. – p.1-8.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Божко К.М.

УДК 681.511

А.Д. Руденко, Б.В. Мельничук, ст. гр. ПН-91мп, к.т.н., доц. К.М. Божко
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОБЛЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОНТРОЛЕРА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ

Анотація. Автори наводять основні принципи побудови оптимального за критерієм внутрішньої стійкості лінійного контролера. Розглянуто класичний підхід, а також модель Дезоера-Чжана. Розробка схемної і програмної складових контролера є центральною проблемою створення системи регулювання. Проблему оптимізації зведено до пошуку таких форм передаточних функцій, які не мають нулів та полюсів. Наступним етапом є створення відповідного алгоритму. При цьому враховують реальні характеристики датчиків і об'єкта регулювання. Функція шумів, яку ввели Дезоер і Чжан при розгляді систем регулювання, є універсальним інструментом для їх опису і значно спрощує процес розрахунку і визначення стійкості системи.
Автори навели приклади практичного застосування розробки лінійного контролера: регулятора температури водогрійного котла електролізерного типу, а також контролера заряду літієвих батарей із покращеним алгоритмом.

Ключові слова: лінійний контролер, метод опуклої оптимізації, впливаючий пристрій, внутрішня стійкість, передаточна матриця замкненої системи.

ВСТУП

В процесі створення системи управління є такі проміжні кроки:

1) Моделювання або ідентифікація. Проектувальник розробляє математичні моделі відповідних аспектів функціонування керованої системи, використовуючи ті чи інші відомості про неї і експериментально спостерігаючи її реакцію (відгуки) на різні дії. Така процедура називається ідентифікацією системи [1].

2) Конфігурація схеми управління. Вибір і розміщення датчиків і впливаючих пристроїв (ВП).

3) Проектування контролера. Контролер, або закон управління, описує обробку сигналу, яку здійснює управляючий процесор для генерації сигналів для ВП за сигналами датчиків.

4) Реалізація контролера. Після вибору закону управління необхідно спроектувати керуючий процесор, що реалізовує цей закон. Проектування може включати в себе механічні конструкції, аналогові і цифрові схеми, а також програмне забезпечення.

5) Випробування та перевірка системи управління. Цей етап передбачає проведення машинних експериментів зі складною, детально розробленою математичною моделлю, моделювання в реальному масштабі часу роботи системи спільно з реальним керуючим процесором і реальні експлуатаційні випробування системи.

На думку авторів, центральним у зазначеному процесі є пункт третій. Розглянемо такий важливий його аспект, як оптимізація з метою забезпечення стійкості.

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОНТРОЛЕРА

Основною метою проектування лінійного контролера є досягнення ним граничних характеристик методами опуклої оптимізації [2]. Одним із головних замкнено-опуклих обмежень є внутрішня стійкість. Робота контролера в будь-

якій системі регулювання обумовлена сигналами від датчиків та впливаючих пристроїв (Рис. 1).

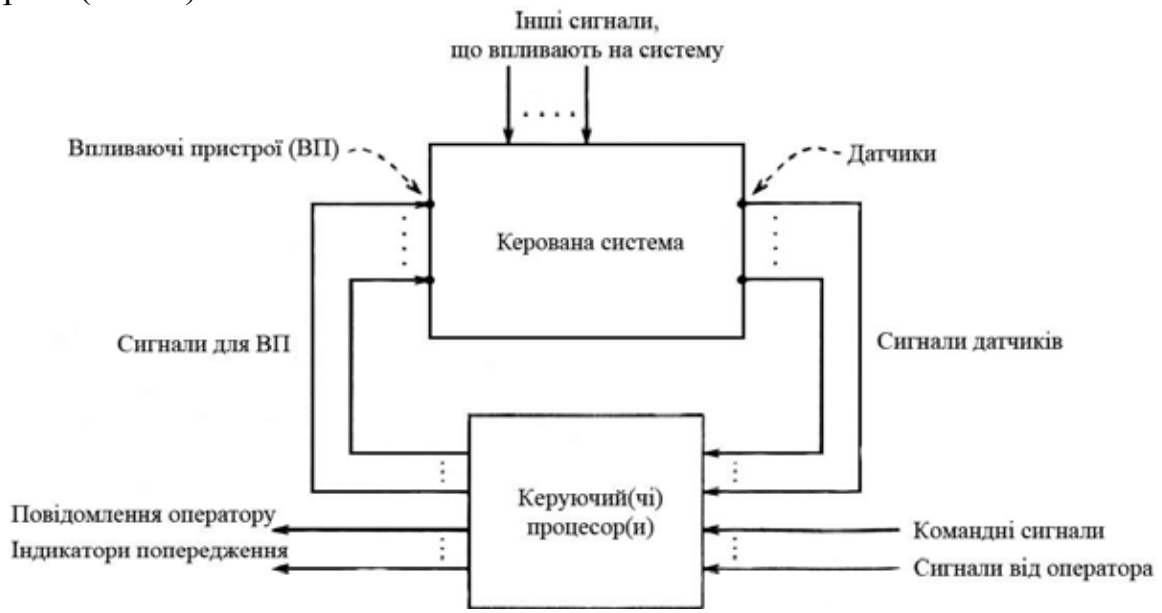


Рисунок 1. Структурна схема загальної системи управління із контролером (процесором)

Відомо, що раціональна передаточна функція стійка, якщо вона має не більше нулів, ніж полюсів, і якщо кожен полюс має від'ємну дійсну частину; передаточна матриця стійка, якщо всі її елементи є стійкими передаточними функціями. Існує декілька способів вираження того, що замкнута система внутрішньо стійка.

a) Всі внутрішні передаточні функції стійкі. Передаточна функція по сигналу, який було введено до замкнутої системи в будь-якій її точці до будь-якої іншої точки цієї системи (рис. 2), стійка.

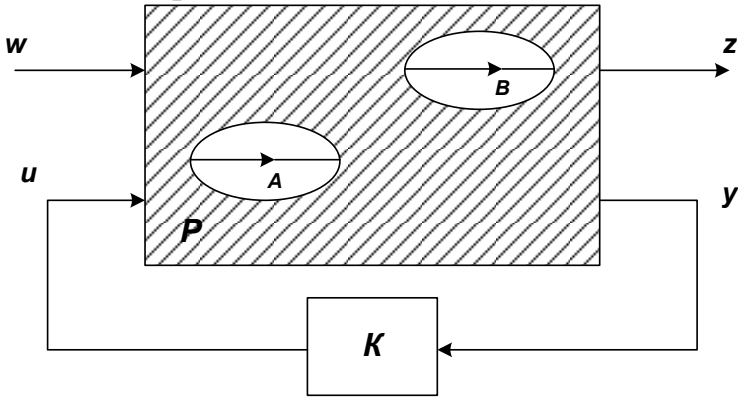


Рисунок 2. Сигнали *A* та *B*, які є внутрішніми по відношенню до об'єкту *P; w, z* – зовнішні сигнали; *K* – контролер; *u, y* – сигнали контура зворотного звязку

b) Опис замкнутої системи в просторі станів стійкий. Якщо опис замкнутої системи в просторі станів має вид $x = A_{cl}x + B_{cl}w, \quad z = C_{cl}x + D_{cl}w$ то всі власні значення матриці A_{cl} мають від'ємну дійсну частину.

c) В класичному управлінні із одним ВП і датчиком не існує нестійкого придушення нулів та полюсів між об'єктом і контролером.

d) В 1975 р. Дезоер та Чжан [3] запропонували формальне визначення внутрішньої стійкості. В цьому визначенні використовуються два допоміжні

сигнали v_1 та v_2, введені як показано на рис. 3. Сигнал v_1 можна інтерпретувати як шум ВП, а v_2 – як шум датчика.

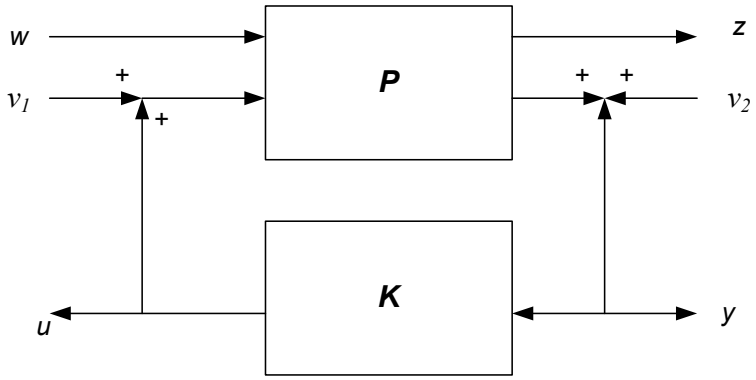


Рисунок 3. – Шуми датчика та впливаючого пристрою(ВП), що використовуються в формальному визначенні внутрішньої стійкості

Визначення (1)-(4) за Дезоером і Чжаном по суті забороняє дуже малим (обмеженим) шумам ВП і датчика дуже сильно (необмежено) впливати на сигнали *u* або *w* і, як наслідок, на вихідний сигнал контролера *z*. Рівняння (3), наприклад, визначає передаточну функцію за шумом ВП до виходу об'єкта регулювання. За відсутністю полюса або нуля, ця функція буде стійкою.

Оптимізація лінійного контролера, таким чином, зведена до пошуку відповідної до властивостей об'єкту регулювання ПМЗС, такої, щоб рівняння типу (1)-(4) не мали нулів і полюсів. Наступний етап проектування полягає в реалізації алгоритму ПМЗС у вигляді програмного коду.

ПРИКЛАДИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИМІЗОВАНОГО КОНТРОЛЕРА

Авторами проведено аналіз контролерів (регуляторів) температури в системах нагрівання та їх моделей за критерієм внутрішньої стійкості. Результатом дослідження стала обрана модель контролера:

$$W(s) = \frac{K_p}{\tau s+1}\exp(-sL), \quad (5)$$

де τ – стала часу процесу нагрівання; *L* – транспортна затримка теплоносія

Отримана модель була втілена в регуляторі електролізерного водогрійного котла, розробленого на основі мікроконтролера сімейства PIC16 та цифрового датчика температури типу DS18S20.

DS18S20 – це контактний термометр, який вимірює температуру у діапазоні від 0 до +100 ◦C із кроком у 0,5 ◦C та часом перетворення 0,2 с. Здатність розрішення у 0,5 ◦C та розрядність 9 біт забезпечують високу точність вимірювання, а доступ до внутрішніх лічильників дає можливість збільшити розділення із застосуванням інтерполяції.

Застосування цифрового термометра типу DS18S20 забезпечило внутрішню стійкість системи нагрівання, в прямому і зворотному контурах якої було встановлено по одному датчику. Перший датчик унеможливлює перегрів та закипання теплоносія, а другий – запобігає перевитратам теплової енергії. Встановлений зазор між порогом спрацювання контактора і температурою

носія у три кельвіна (гістерезис регулювання) запобігає частому спрацюванню контактора та подовжує термін експлуатації регулятора і системи в цілому на 15-20%.

Додатковим фактором стійкості системи регулювання температури водогрійного електролізерного котла є наявність одно-дротового інтерфейсу 1-Wire датчика DS18S20.

Іншим прикладом оптимізації лінійного контролера є схема заряду літієвих акумуляторних батарей, де алгоритмічно забезпечено оптимальний профіль процесу заряду. Вдосконалений алгоритм надав підвищену на 20% кількість циклів перезаряду батарей і на таку ж величину – подовження терміну їх експлуатації.

Зовсім інший алгоритм заряду використано для залізо-нікелевих та метал-гідридних батарей. Універсалізація алгоритму заряду для усіх типів акумуляторів неможлива, тому необхідна розробка різних схем і алгоритмів для контролерів заряду. Використання в системах заряду акумуляторних батарей аналогового датчика струму, як джерела додаткового шуму в схемі Дезоера-Чжана, актуалізує задачу оптимізації контролера за критерієм внутрішньої стійкості. Актуальним є поєднання масиву акумуляторних батарей із автономною сонячною електростанцією. Тут характерним є режим слідкування за точкою максимальної потужності сонячних батарей (MPPT – maximum Power Point Tracer).

ВИСНОВКИ

Сучасне проектування лінійного контролера забезпечено як теоретичним підгрунтям, так і численними прикладами їх алгоритмічної та схемотехнічної реалізації. В основі проектування знаходиться задача вирішення проблеми внутрішньої стійкості контролера. Цю задачу вирішують на основі розроблених моделей, їх формалізації у вигляді системи алгебраїчних рівнянь і подальшому аналізу на наявність нулів і полюсів. Відсутність нулів і полюсів в модельних рівняннях і є критерієм стійкості. Тут використано підхід Дезоера та Чжана, у якому джерела сигналів зводять до шумових компонент від датчика та об’єкта регулювання. В проведеному дослідженні опрацьовано основні дії розробника при створенні ним лінійного контролера та його оптимізації. Наведені приклади реально діючих контролерів, які були оптимізовані, зокрема мікроконтролерний регулятор температури водогрійного котла електролізерного типу, а також контролери заряду акумуляторних батарей.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Льюнг Л. Идентификация систем: теория для пользователя. – М. :Наука. – 1991. – 432 с.

[2] Boyd S., Barratt C. Linear Controller Design: Limits of Performance. – Prentice Hall, 1991. – 426 p.

[3] Desoer C.A., Chan W.S. The feedback interconnection of lumped linear time-invariant systems. //J. Franklin Inst., vol. 300, pp. 335-351, Nov.-Dec. 1975.

Секція 7.
Новітні технології у проектуванні роботизованих систем в неруйнівному контролі, технічній та медичній діагностиці

УДК 621.386

В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71
КПИ им. Игоря Сикорского

МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНОГО ДИСТАНЦИРОВАНИЯ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19

Аннотация. В данной статье предложен комплекс, позволяющий решить проблему социального дистанцирования. Рассмотрены методы, лежащие в основе этого комплекса.

Ключевые слова: социальное дистанцирование, стереометрия, стереопара, машинное обучение, стереоскопия, база.

ВСТУПЛЕНИЕ

Пандемия COVID-19 оказывает сильнейшее влияние на все стороны жизни во всём мире.

COVID-19 распространяется воздушно-пылевым путем. Это означает, что вирус состоит из мельчайших частиц, которые выделяются, когда человек говорит или дышит, такие частицы могут преодолевать расстояние до 2 метров от источника, что является важным фактором в стремительном развитии пандемии. Для решения этой проблемы ВОЗ рекомендует придерживаться социального дистанцирования, как одного из главных факторов сдерживающих распространение вируса [1].

Когда люди остаются дома и избегают контактов друг с другом, вирус распространяется не так быстро. Однако есть места, от посещения которых невозможно отказаться полноценно. К таким местам относятся продовольственные магазины, больницы, государственные учреждения, общественный транспорт и т.д. Именно поэтому создание системы контроля за социальным дистанцированием является ведущей задачей в сдерживании развития пандемии, а также избегания введения жестких карантинных мер.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является подбор решения проблемы контроля социального дистанцирования с помощью системы наиболее оптимальной, с точки зрения эффективности и удобства использования.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ

На сегодняшний день существуют системы контроля количества человек одновременно пребывающих на одной территории. Такие системы разнообразны в своем исполнении, от достаточно примитивных, использующих систему пропускного контроля, до более технологичных – использующих камеры с системой распознавания людей. Однако в обоих случаях данные решения позволят контролировать только количество людей, но не контролировать их скопления на определенном участке территории, что в значительной мере снижает эффективность их работы.

ПРЕДЛОЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ

Решением данной проблемы должна стать система контроля, которая кроме мониторинга и подсчета количества людей будет измерять расстояние между ними для избегания больших скоплений. В основе данной системы положены два метода: распознавания человека, с использованием машинного обучения, и стереометрическое измерение расстояние от него до ближайшего следующего и так с каждым отдельно взятым человеком. Рассмотрим оба метода более детально.

РАСПОЗНАВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА.

За основу системы распознавания человека берется видео трансляция с камеры наблюдения и программный модуль ImageAI использующий в своей основе язык программирования Python. ImageAI разработан Мозесом Олафенвой и Джоном Олафенвой, командой DeepQuest AI, данная библиотека является сильнейшим инструментом использующим машинное обучение для распознавания объектов на фото и видео с высокой точностью Рис. 1 [2].

ImageAI – открытая библиотека, которая позволяет точно настраивать нужные параметры распознавания и легко модернизировать программу под конкретные задачи.

Рисунок 1. Пример работы библиотеки ImageAI

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ, ПОЛУЧЕННОМУ С ПОМОЩЬЮ СТЕРЕОЗРЕНИЯ.

Данный метод является наиболее эффективным из вариантов определения расстояния до требуемого объекта, поскольку может использовать уже установленные камеры наблюдения в помещении. В основе метода лежит использование двух идентичных камер с определенным расстоянием между ними, которое называется базой.

В случае двух идентичных камер с параллельными оптическими осями расстояние до точки определяется как:

$$r = \frac{fd}{x1 - x2}$$

Формула 1. Расстояние до точки

где f – фокусное расстояние; d – расстояние между камерами; x1 и x2 – координаты проекций на левом и правом изображениях

Для возможности использования формулы считается, что изображения, получаемые с камер, ректифицированные, т.е. камеры расположены так, что в их координатных системах отсчета координаты точки, до которой требуется определить расстояние равны, это означает, что горизонтальные линии на изображениях соответствуют одной плоскости [3].

Однако более распространенной ситуацией является, когда оптические оси камер не параллельны, и направление смещения оптического центра одной камеры относительно оптического центра другой произвольно Рис. 2. В данном случае следует ввести для каждой камеры свою стандартную систему координат. Пусть первой камере соответствует система координат O'X'Y'Z', а второй – O"X"Y"Z". Пусть вектор M'=(O'X'Y'Z')T характеризует координаты некоторой точки M трехмерного пространства в системе первой камеры, а вектор M"=(O"X"Y"Z")T - в системе второй. Переход от глобальной системы координат к стандартным системам первой и второй камер осуществляется с помощью преобразований M'=R'M+t' и M"=R"M+t" соответственно. Учитывая это, легко показать, что связь между векторами M' и M" задается соотношением M"=R'M+t, дальнейший расчет расстояний производится как и в случае с параллельными осями камер, с учетом векторного соотношения [4].

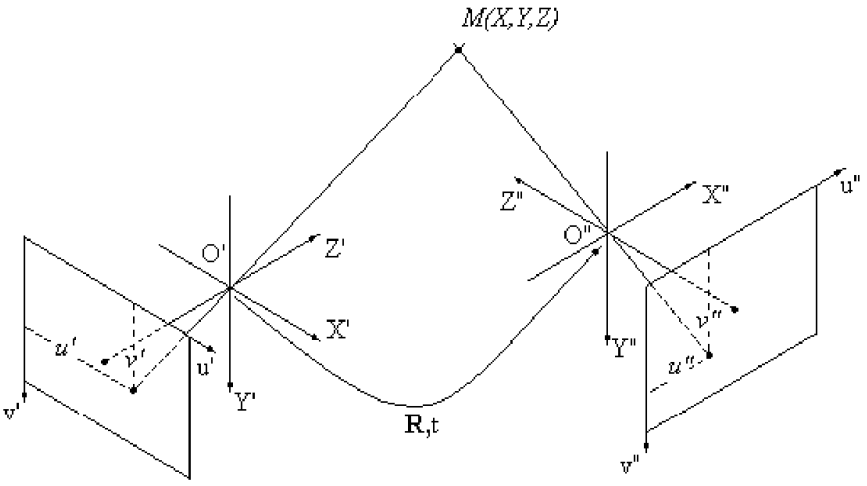


Рисунок 2. Система двух произвольно ориентированных камер [5]

ОБЪЕДИНЕНИЕ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ

Создание единой системы предполагает использование двух идентичных камер расположенных на некотором удаление друг от друга, регистрирующих одну и ту же сцену. Получаемые изображения дистанционно обрабатываются компьютерным процессором поочередно применяя сначала метод распознавания человека на изображение и присваивание ему точки объекта для дальнейшей работы метода определения координат данной точки и расчета

расстояния от камеры до объекта и между всеми объектами в поле зрения камеры. Структура обработки изображения проиллюстрирована на рис. 3.

Рисунок 3. Структурная схема работы системы

ВЫВОД

Предложенная система должна решить проблему контроля социального дистанцирования, а простота и универсальность методов делают данный комплекс максимально выгодным с точки зрения эффективности и удобства использования.

В дальнейшем предполагается усовершенствовать математический и программный аппарат для увеличения точности детектирования объекта и возможности использования спроектированного комплекса в реальных задачах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] ОБНОВЛЕННАЯ СТРАТЕГИЯ БОРЬБЫ С COVID-19 [Электронный ресурс] - https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/covid19-strategy-update-2020-ru.pdf - свободный доступ.

[2] State-of-the-art Recognition and Detection AI with few lines of code. [Электронный ресурс] - http://imageai.org/ - свободный доступ.

[3] Определение расстояния до объекта в зоне движения автомобиля, используя анализ видеоданных [Электронный ресурс] - https://docplayer.ru/32906979-Opredelenie-rasstoyaniya-do-obekta-v-zone-dvizheniya-avtomobilya-ispolzuya-analiz-videodannyh.html - свободный доступ.

[4] Соколов С.М., Богуславский А.А., Васильев А.И., Трифонов О.В., Назаров В.Г., Фролов Р.С. Мобильный комплекс для оперативного создания и обновления навигационных карт. Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2011, т. 116, № 3, с. 157–166.

[5] Стереоскопическая система [Электронный ресурс] - https://scask.ru/a_book_kir.php?id=57 - свободный доступ.

Науковий керівник - к.т.н., ст. викладач Галаган Р.М.

УДК 620.179

Д.В. Барановський, студент гр. ПК-91мн
НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ МАТРИЧНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Анотація. В роботі розглядається принцип роботи та загальні теоретичні відомості вихрострумового матричного неруйнівного контролю. Розглянуто переваги, конструкційні особливості та можливий варіант відображенні результатів контролю з використанням матричних перетворювачів.

Ключові слова: вихрострумовий контроль, вихрострумовий багатоканальний дефектоскоп, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Вихрострумовий метод неруйнівного контролю заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, створеним котушкою збудження в електропровідному об'єкті контролю цим полем. Як джерело електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка (одна або кілька), звана вихрострумовим перетворювачем. Синусоїдний (або імпульсний) струм, що діє в котушках перетворювачів, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в об'єкті з електропровідного матеріалу. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на котушки перетворювача, наводячи в них електрорушійну силу або змінюючи їх повний електричний опір. Реєструючи напругу на котушках або їх опір, отримують інформацію про властивості об'єкта і про становище перетворювача щодо нього [1].

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

На сьогоднішній день вихрострумовий контроль є одним з найбільш популярних видів неруйнівного контролю. Він широко застосовується в різних галузях промисловості, зокрема в авіаційній, для контролю фюзеляжу літальних апаратів. Звичайні (одноелементні) вихрострумові перетворювачі досить малі за розмірами і дають змогу локалізувати у просторі положення виявлених дефектів, але на проведення контролю великогабаритного об’єкта витрачається значна кількість часу. Забезпечити одночасно високу локальність контролю та підвищити його продуктивність можна за рахунок застосування матричних вихрострумових перетворювачів.

Матричні вихрострумові перетворювачі стали проривом на ринку вихрострумової дефектоскопії, розширивши технологічні можливості цього виду контролю. Застосовуючи матричні перетворювачі стало можливим контролювати більшу зону за один прохід без втрати чутливості та локальності контролю, отримувати дані у вигляді С-скану, запам’ятовувати та легко розшифровувати результати контролю.

Залежно від завдань, матричний перетворювач може мати до 256 елементів. При цьому зберігаються всі переваги класичного вихрострумового контролю такі як відсутність необхідності безпосереднього контакту з об'єктом контролю, висока швидкість проведення діагностики і висока вірогідність виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИХРОСТРУМОВІ МАТРИЦІ

Фізичні основи взаємодії елементів вихорострумових матриць з електропровідними об’єктами контролю такі ж, як і у класичному вихрострумовому контролі. У випадку внесення електропровідного об’єкту в поле електричної котушки зі струмом її параметри змінюються внаслідок дії вихрових струмів, що виникають в об’єкті (рис.1). Принцип вихрострумового контролю ґрунтується на аналізі електромагнітного поля вихрових струмів, щільність яких залежить від електрофізичних параметрів матеріалу об’єкту контролю та наявності в ньому поверхневих та під поверхневих дефектів [2].

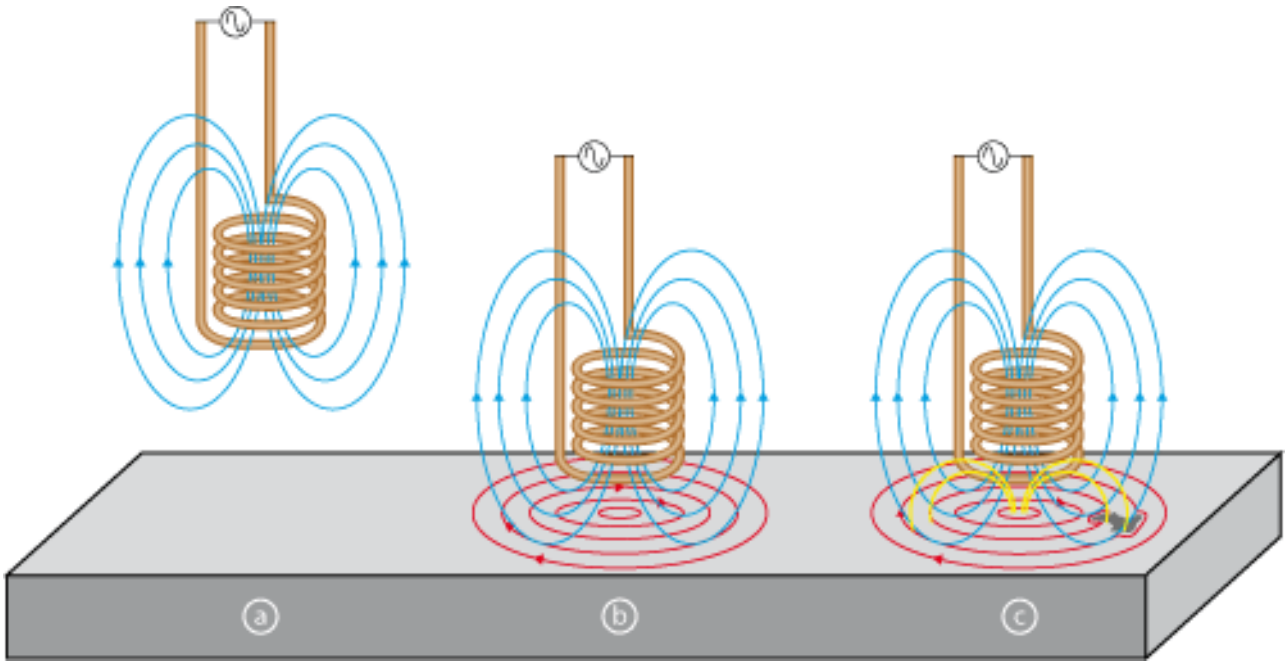


Рисунок 1. Принцип дії вихрострумового контролю

Основна конструкторська відмінність матричного вихрострумового перетворювача полягає в тому, що замість одного елементу використовується матриця, набір індукційних котушок, розташованих певним чином на площині перетворювача (рис. 2). Робота цих котушок може бути суміщена або рознесена в часі. Спільна дія каналів матриці забезпечує збільшення чутливості до дефектів і збільшення глибини проникнення вихрових струмів. Якщо порівнювати з класичним одноелементним вихрострумовим перетворювачем, в якому електромагнітне поле під датчиком нерівномірне, вихрострумова матриця забезпечує стабільний і рівномірний контроль всієї поверхні об'єкту [2].

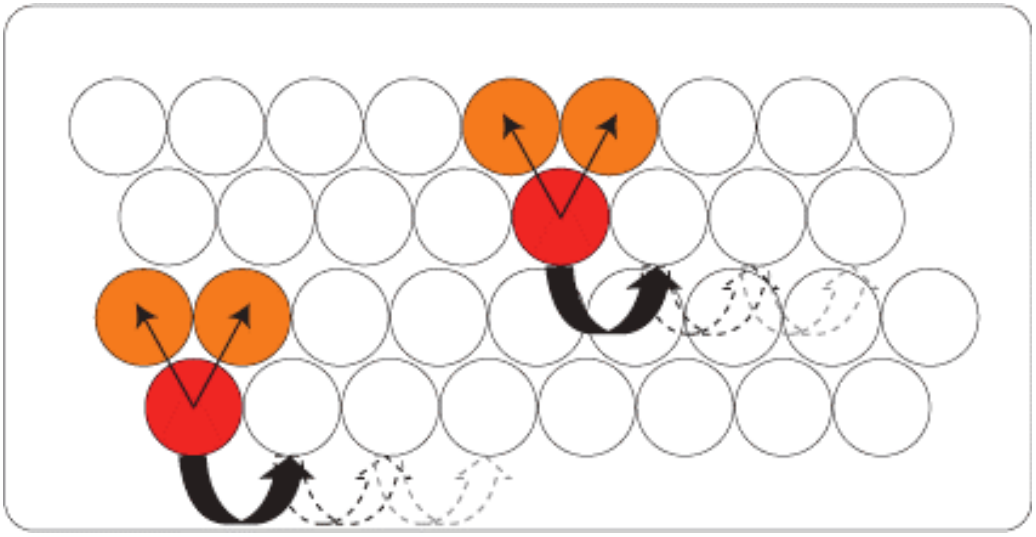


Рисунок 2. Розміщення елементів вихрострумової матриці на її поверхні.

Ще однією перевагою матричних перетворювачів перед одноелементними перетворювачами є їх універсальність. За один прохід матриці можна виявляти такі види дефектів, як тріщини різних орієнтацій, пори, свищі, підрізи зварного шва, непровари кореня шва, поверхневу корозію, стрес-корозійне розтріскування і інші види дефектів, що виходять на поверхню об'єкта контролю [3].

ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КОНТРОЛЮ

Наявність матриці дає змогу отримувати і записувати результати контролю у вигляді С-скану: зображення поверхні проконтрольованого об'єкта з індикацією дефектів (рис. 3). Енкодер, найчастіше вбудований в вихрострумовий матричний перетворювач, забезпечує можливість її прив'язки до координат та оцінювання протяжності дефектів. Періодичний запис, збереження та аналіз С-сканів одного об’єкту дає змогу реалізувати моніторинг динаміки розвитку дефектів, перевірку працездатності дефектоскопу на тестових зразках і спрощує ведення звітної документації.

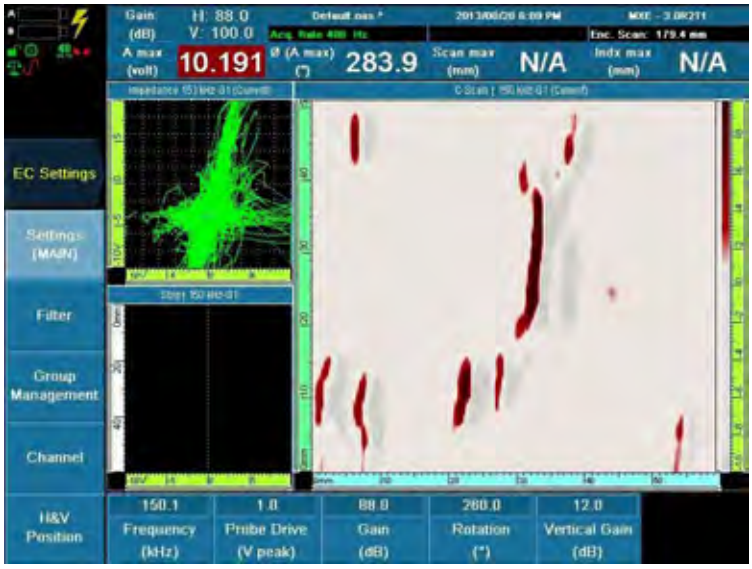


Рис. 3 Результат контролю у вигляді С-скану

ПЕРЕВАГИ ВИХРОСТРУМОВОГО МАТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ

1) Виявлення різних видів дефектів за один прохід перетворювачем.
2) Істотно скорочується час проведення контролю.
3) Висока надійність і достовірність контролю.
4) Представлення результатів контролю в зручній і інформативній формі.
5) Низькі вимоги до підготовки поверхні, можливість контролю через ізоляційне покриття.

ВИСНОВКИ

Технологія матричного вихрострумового неруйнівного контролю є економічно виправданою альтернативою класичному вихрострумовому контролю. Виграш досягається за рахунок пришвидшення проведення контролю, відсутності необхідності підготовки поверхні і можливості проведення робіт без участі висококваліфікованого персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник /под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение. 2003. 813с.
[2] Корнеев Б.В. Многоэлементные индукционные датчики. Кн. Материала VIII Всесоюз. НТК «Физические методы НК пром. продукции». Кишинев. 1187. с 414 - 416.
[3] Алексеев А.П., Корнеев Б.В. Неразрушающий контроль качества материалов и изделий с использованием многоэлементных вихретоковых устройств. Дефектоскопия №10. 1182. 30 - 31с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю. В.

УДК 530.145

Д. Є. Котлов, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ TRUSTED WIRELESS В РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. У роботі розглядаються перспективи впровадження бездротових систем у неруйнівному контролі, існуючі технологічні та інженерні рішення для даної теми та стислий їх опис. Наводиться список сучасних обмежень в області неруйнівного контролю та рішення, які може надати використання бездротових технологій Trusted Wireless.

Ключові слова: неруйнівний контроль, бездротові системи, робототехніка, Trusted Wireless

ВСТУП

В системах неруйнівного контролю поступово відбувається перехід від ручного до автоматизованого керування приладами контролю. Це прибирає деякі обмеження, що були пов’язані з людським фактором, проте залишає відкритим питання обмежень, що накладаються на систему дротовим з’єднанням. З метою розширення можливостей автоматизації контролю з використанням робототехнічних комплексів можуть бути використані бездротові системи керування.

Мета даної роботи – розглянути сучасні інженерні рішення під час створення систем бездротової передачі інформації, їх переваги та недоліки, а також принцип роботи та можливості, які вони надають у сфері роботизації і автоматизації неруйнівного контролю та діагностики.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

В останні роки проводиться багато досліджень в області локальної передачі даних з пристроїв неруйнівного контролю на портативні пристрої, зокрема через мережу Bluetooth та Wi-Fi. Зокрема, приклади використання бездротових технологій в автоматизованих системах неруйнівного контролю наведені в роботах [1, 2]. Такі системи є складовими більш складних комплексів, що включають в себе багато сенсорів, які зазвичай пов’язані між собою та сервером мережею.

Сучасне виробництво характеризується великою кількістю електромагнітних шумів. Проте такі шуми зазвичай не є завадою для бездротових систем Wi-Fi, які працюють у діапазоні частот 2.4 ГГц, поділеному на 14 каналів (по 22 МГц кожен). Однак, джерелом завад можуть стати інші бездротові системи, які оперують на такій самій частоті. З метою забезпечення сумісності систем, Wi-Fi використовує широкосмугову модуляцію з прямим розширенням спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, скорочено DSSS). У випадку такої модуляції відбувається розширення спектру внаслідок заміни 1 біту інформації декількома. Перевагою DSSS модуляції є висока швидкість передачі даних. Проте недоліком є те, що вона внаслідок розширення спектра може повноцінно безперебійно функціонувати лише максимум за 3-х мереж Wi-Fi. Другим недоліком є те, що така система погано суміщається з іншими системами, які будуть розглянуті пізніше, через значну ширину спектру.

Однією з систем, які дають змогу побудови бездротових мереж, є обладнання компанії Phoenix Contact [3]. Такі параметри Wi-Fi, як швидкість та відстань передачі даних сильно варіюються та можуть досягати декількох Гбіт/с на відстань декількох кілометрів (проте це значно ускладнює налаштування системи), при чому відстань обернено пропорційна до швидкості. Також у Wi-Fi є можливість встановлення структури ‘mesh’ (сітка, рис. 2), за якої відбувається автоматичне підключення до найближчої точки доступу в мережі, але не має можливості контролювати таке підключення. Принцип роботи цієї структури полягає в тому, що підключення пристроїв (S) відбувається не тільки напряму до джерела сигналу (M), а й до повторювачів (R), які дублюють сигнал джерела або іншого повторювача, тим самим розширюючи зону покриття мережі.

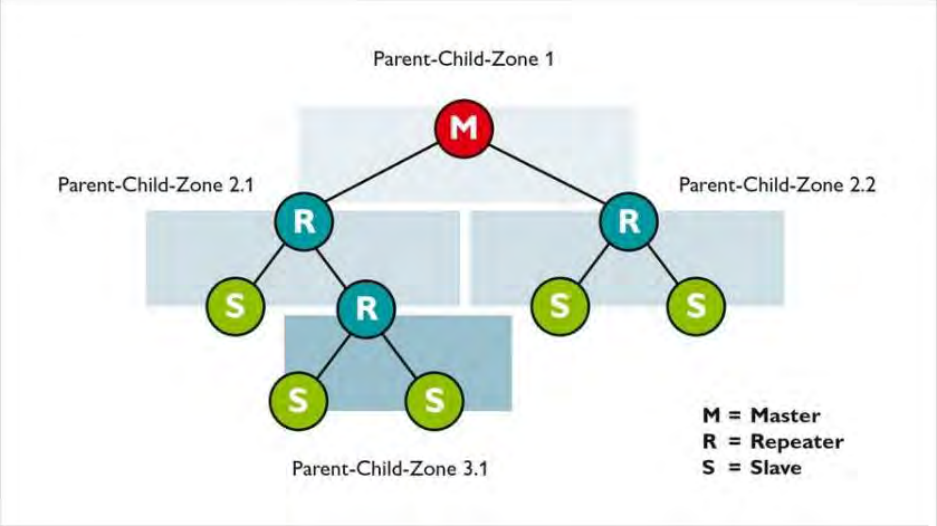


Рис 1. 'Mesh' структура

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі огляду попередніх робіт можна зробити висновок, що перевагами бездротових систем перед дротовими є: відсутність необхідності у додатковому просторі для дроту; мінімальна кількість монтажних робіт; мобільність системи; незалежність від конкретної зовнішньої системи керування; можливість зовнішньої обробки інформації на віддаленому сервері; можливість автоматизації через впровадження таких сучасних методик, як нейронні мережі завдяки доступності збору та аналізу статистичних даних [4]. Водночас, недоліками бездротових систем є: відсутність постійного живлення системи; більша вартість обладнання; менша швидкість передачі даних, яка може залежати від середи розповсюдження сигналу.

На даний момент існує багато стандартів технології бездротового зв’язку, які визначаються робочим діапазоном, швидкістю передачі даних, кількістю каналів та площею покриття, проте вони в загальному випадку мають різні області застосування. У промисловості у складі автоматизованих систем неруйнівного контролю перспективно використовувати протокол Trusted Wireless 2.0, який володіє нижчою швидкістю передачі даних у порівнянні з Wi-Fi або Bluetooth, проте мають ряд важливих особливостей.

На відміну від Wi-Fi, Trusted Wireless 2.0 використовує модуляцію з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), у разі застосування якої завади будуть впливати лише на одну з частот, незалежно від ширини спектру [5]. Даний принцип показано на рис. 2. А враховуючи, що на відміну від 14 каналів Wi-Fi, Trusted Wireless 2.0 має 127 каналів, можна прийти до висновку, що така система є більш завадостійкою у випадку значних рівнів шумів. Це особливо ефективно на промислових ділянках, через те що такі процеси, як зварювання, можуть генерувати шуми з дуже широким спектром.

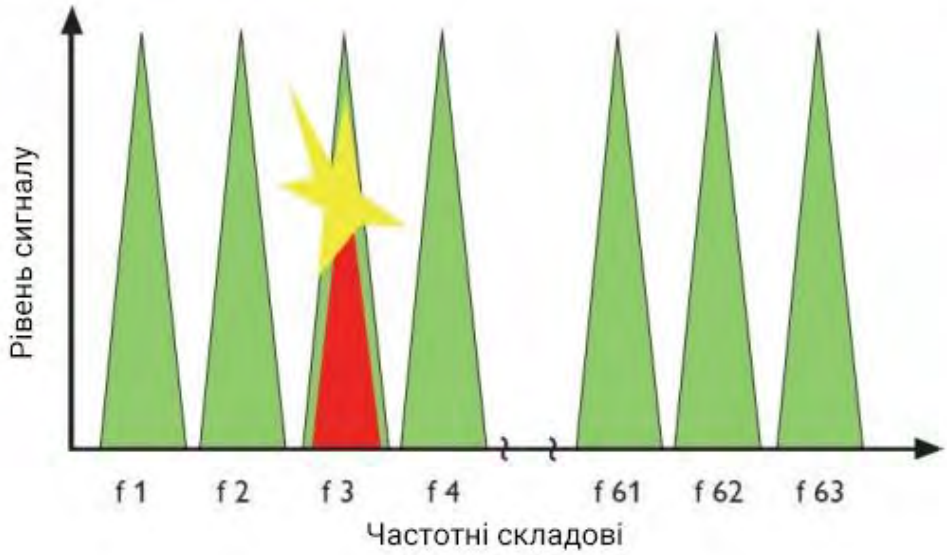


Рис 1. Вплив завад у випадку FHSS

Перевагою Trusted Wireless 2.0 також є те, що вона набагато краще суміщається з іншими мережами завдяки великій кількості каналів, а також дає можливість ігнорувати деякі частоти, що також грає роль під час створення структури ‘mesh’, яка в такому випадку буде позбавлена недоліку відповідної структури Wi-Fi.

Проте однією з головних переваг Trusted Wireless 2.0 є те, що вона дозволяє передавати дані на дуже далекі відстані (до 5 км за швидкості 16 кбіт/с). Швидкість передачі даних невисока, але у роботизованих системах неруйнівного контролю, які зазвичай оперують лише набором діагностичних значень, швидкість не є критичним параметром [6].

Ще однією особливістю Trusted Wireless 2.0 є відсутність відкритого доступу до протоколу та шифрування даних з ціллю захисту від зовнішніх вторгнень до системи (в тому числі перехвату та зміни даних). Це дуже важливо на промислових елементах, робота яких може повністю зупинитися у разі зовнішнього втручання, яке особливо легко виконати за невеликого об’єму даних, що проходять в мережі.

Таким чином, у сфері автоматизації неруйнівного контролю вигідно використовувати саме завадостійкі, а не обов’язково швидкі системи. А завдяки зручній внутрішній структурі мережі можливе проведення багатьох процедур контролю паралельно з опрацюванням великої кількості даних.

ВИСНОВКИ

Розглянута технологія Trusted Wireless дозволить спростити структуру автоматизованої системи контролю завдяки перенесенню розрахунків та візуалізації даних на зовнішню периферію. Дальність дії технології дозволяє використовувати її для управління робототехнічними комплексами, які можуть використовуватися для проведення неруйнівного контролю на великих за площею виробництвах чи об'єктах.

Крім того, перспективною є повна автоматизація виробництва за рахунок об'єднання в єдину мережу, що відповідає концепції Індустрії 4.0. Обробка даних на сервері дозволить впровадити нові інженерні рішення, наприклад, для підвищення точності результатів за рахунок статистичного або інтелектуального аналізу даних. Проте підвищення складності системи призведе до збільшення об'ємів оброблюваної інформації, тому серед напрямів розвитку можна виокремити підвищення швидкості передачі даних та покращення зв'язку між елементами внутрішньої мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Петрик, В.Ф. Мобильный вихретоковый дефектоскоп с беспроводной системой передачи данных / В.Ф. Петрик, А.Л.Дугин, В.В.Карпинский, А.Л. Кустовский, Ю.Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2016», г. Созополь, 2016 г. - Созополь, 2016. - № 1(187) - С. 43 - 45.

[2] Povshenko, O. Portable Ultrasound Flaw Detector / O. Povshenko, V. Petryk, A. Protasov // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції, Польща, м. Люблін, 15-19 жовтня 2018 року. - Люблін, Польша, 2018.-С. 34-36.

[3] Shapo V. Teaching and Learning of Industrial Cyber Security Technologies Based on Phoenix Contact Company Wireless Equipment / V. Shapo, M. Levinskyi, V. Volovshchykov. // JOURNAL OF SCIENTIFIC PERSPECTIVES. – 2020. – №4. – С. 99–110.

[4] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

[5] Trusted Wireless 2.0 by Phoenix Contact – Режим доступа:

[6] https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm:path:/ruru/web/main/products/technology_pages/subcategory_pages/Industrial_wireless_trusted_wireless_20/4883facb-f018-41b1-ab09-f30f0313d9d3

[7] Toward trusted wireless sensor networks / [W. Hu, H. Tan, P. Corke et.al.]. // ACM Transactions on Sensor Networks. – 2010. – №7. – С. 25–35.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 62.529.4

В.П. Малько, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ ПІДЗЕМНИХ ОПЕРАЦІЙ

Анотація. Розглянуто переваги та недоліки використання роботизованої техніки для реалізації підземних операцій. Проаналізовано існуючі методи роботизованих досліджень підземних просторів та картографії підземних середовищ, визначено їх недоліки. Запропоновано метод автоматизації горизонтально- направленого безтраншейного буріння за допомогою роботизованих систем, з метою підвищення ефективності та точності виконання підземних операцій.

Ключові слова: роботизована система, георадар, безтраншейне буріння, машинне навчання.

ВСТУП

На сьогоднішній день, використання підземного простору має велике значення в соціальному, екологічному та фінансовому напрямі. Але використання традиційних методів прокладання шляху у підземних просторах передбачає руйнування наземної інфраструктури, порушення дорожнього руху, вирубку зелених насаджень тощо. Рішенням цієї проблеми є використання так званих «безтраншейних технологій підземного будівництва». Технологія полягає у відсутності необхідності руйнування поверхні ґрунту під час проведення підземного будівництва.

З метою автоматизації вказаної технології перспективно використовувати робототехнічні комплекси, спроектовані для виконання підземних робіт. Такі роботизовані пристрої мають можливість проводити буріння, маневрувати, визначати своє розташування та переміщатись в підземному просторі, а також оснащені інструментами для прокладення горизонтальних та вертикальних свердловин та трубопроводів. Для орієнтації у просторі та аналізу оточуючого середовища застосовуються методи неруйнівного контролю. Відповідно, актуальним є завдання розробки конструкції та програмних алгоритмів навігації підземних роботів, які будуть використовуватися для виконання безтраншейного будівництва та інших підземних операцій.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день для виконання підземних операцій здебільшого використовуються роботи-картографи та роботи для дослідження місцевості. Під час своєї роботи такі системи використовують ультразвукові та електромагнітні датчики для орієнтації під поверхнею та створення карт оточуючого підземного простору або об’єкту дослідження. Подібні робототехнічні пристрою можуть працювати у складі комплексних роботизованих систем, що значно розширить область їх використання. Наприклад, робот-картограф може проводити сканування підземного простору та його аналіз з метою управління іншим роботом, який буде безпосередньо виконувати підземні операції.

Один з прикладів реалізованих роботів представлено в роботі [1]. Пристрій призначений для картографії та моніторингу підземних рудників. Авторами був створений автоматизований робот «Alexander» в рамках проекту Mining-RoX

(рис.1). Пристрій складається з двох кольорових камер, лазерних датчиків, обчислювальної системи та системи освітлення. Камери призначені для картографії поверхонь рудників, а датчики для моніторингу умов підземного середовища. Система освітлення забезпечує функціонування камери під час руху. Побудова двовимірних кольорових карт відбувається в реальному часі. Побудова тривимірної карти відбувається завдяки накладанню отриманого зображення з камер на інформацію стосовно глибини у зоні отримання зображення. На виході створюється 3D карта місцевості з географічною прив'язкою. Основним недоліком є неможливість автономного дослідження залізничних колій (особливо місць їх перетинів) та інших важкопрохідних місць.

Рис. 1. Роботизований пристрій «Alexander»

Ще одним роботом, який використовується в задачах картографії та дослідження підземних просторів, є «Groundhog». Авторами роботи [2] був створений автономний робот, призначений для картографії покинутих шахт. Пристрій дозволяє створити карту місцевості – для цього він оснащений системою обчисленнями, двома лазерними датчиками дальності, датчиками газу і глибини занурення, а також обладнаний декількома камерами. 3D-сканування дозволяє автоматично визначити шлях, яким рухається робот відносно 3D-карти. Якщо можливий шлях руху не визначений, тоді робот переходить на ручний режим. Перевагою використання такого робота є дослідження важко доступних ділянок шахт без шкоди оператору, а також наявна можливість автономного або ручного керування роботом.

Використання роботів, призначених для картографії або моніторингу умов підземного середовища, не дозволяє повністю вирішити актуальні питання безтраншейного будівництва. Але згідно отриманих карт підземелля можна адаптувати робота для буріння саме в цих конкретних умовах. На сьогоднішній день автономні роботи для безтраншейного буріння знаходяться лише на початковому етапі розвитку, тому існують лише деякі відомі прототипи.

Так, наприклад, в роботі [3] авторами був розроблений робот для безтраншейного буріння. Роботизований пристрій дозволяє забезпечити прокладку тунелів, виявлення інженерних мереж і підземних об'єктів, а також

картографування і візуалізацію тривимірного підземного простору. Концепція робота складається з 2 підсистем: самого робота та пульта управління. Робот складається з декількох частин: бурової головки, механізму керування, бортового підземного радара. Пульт управління, який призначений для керування роботом, розташовується на поверхні та зв'язується з пристроєм через ретранслятори. Перевагою цієї системи є можливість створення тунелів безтраншейним методом орієнтуючись по створеній карті підземелля з точною локалізацією робота. Однак, на сьогоднішній день, система все ще знаходиться на етапі прототипу. Отже, враховуючи дану інформацію, питання розробки автономних роботів для буріння залишається актуальною науковою задачею.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу попередніх робіт, можна сформувати концепцію універсальної роботизованої системи для виконання підземних операцій. Для прокладання підземних шляхів безтраншейним методом роботизований комплекс повинен мати пристрій, який складається з бурової головки. В свою чергу бурова головка складається з двигуна, головки, всмоктувальної труби, системи георадарів, блока керування та силової частини. В головці наявні отвори для землі, яка всмоктується трубою та передається на поверхню. Антени, які можна розташувати на задній частині бурової головки з рівним кроком по всьому діаметру, будуть призначені для відслідковування положення робота під землею.

Для орієнтації у просторі використовується система георадара, заснована на використанні радіосигналу частотою близько 600 МГц. Така система складається з декількох блоків георадарів, кожен з яких підключений до блоку керування, та призначена для сканування ґрунту для виявлення шарів ґрунту та завад для робота. Система випромінює сигнал в ґрунт, а блок антен робота його приймають. Таким чином створюється приймально-передавальний модуль, і робот дізнається своє місцеположення та наявність перешкод.

Оператор вказує точку входу і точку виходу операції буріння, а також надає деяку інформацію, таку як глибина занурення і тип ґрунту. Весь процес буріння і маневрування від входу до вихідної точки виконується автономно.

Також необхідно визначити метод буріння ґрунтів автоматизованим роботом та алгоритм проходження роботом завад, який дозволить оминати знайдені георадарами перешкоди та прокладати шлях до вихідної точки з найбільшою точністю та найменшими затратами потужності. Найвигіднішим методом для безтраншейних робіт є горизонтально-направлене буріння [4].

Метод заснований на застосовані бурової головки, яка виготовлена з твердосплавних змінних пластин. Бурова головка з'єднується з гнучкою штангою, що дозволяє їй виконувати рух по заданій траєкторії та огинати перешкоди. Для охолодження головки за допомогою бурового розчину і розрідження подрібненої породи в ній передбачені спеціальні отвори. Для контролю траєкторії буріння головки існує навігаційний блок, який отримує дані з георадарів на основі яких на блок управління передається розташування, азимут і ухил бурової головки. Це дозволяє з високою точністю виконати прокладку свердловини, обійти різноманітні завади на її шляху.

Навігаційний блок є одним з найважніших частин роботизованих систем. Він призначений для розрахунку оптимального алгоритму траєкторії робота. Алгоритм має передбачати огинання перешкод в підземному просторі, щоб забезпечити створення безпечної траєкторії і успішне маневрування робота. Окрім того, алгоритмом має виконуватися мінімізація кривизни і довжини траєкторії, завжди задовольняючи обмеження, які накладаються стволом свердловини. Для розробки такого алгоритму та опрацювання отриманих даних перспективно використовувати методи машинного навчання [5].

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато способів дослідження підземних просторів. Використання метода горизонтально-направленого буріння для прокладання шляху підземного робота є найпопулярнішим завдяки його швидкодії. В завданнях розробки автоматичних роботів для безтраншейного буріння потрібна точна синхронізація даних георадара та місця розташування бурової головки робота. Правильно створений алгоритм обминання підземних завад у вигляді різних видів ґрунтів та структур інженерних мереж дозволить зберегти робота цілим. Розвиток цієї тенденції дозволить зменшити вартість обслуговування, зменшити кількість робочого персоналу, а також зберегти інфраструктуру та екологічний стан поверхні. Для отримання більш точного та економного прокладення тунелів та збільшення швидкодії робота рекомендовано проводити попереднє сканування області прокладки тунелів на наявність непрохідних ділянок і використовувати алгоритми аналізу даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Grehl S. Mining-RoX – mobile robots in underground mining / [S. Grehl, M. Donner, A. Dietze та ін.]. // in Proceedings Third International Future Mining Conference. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne, 2015. – С. 57–64.

[2] Ferguson D. An autonomous robotic system for mapping abandoned mines / [D. Ferguson, A. Morris, D. Hähnel та ін.]. // in Proceedings 16th International Conference on Neural Information Processing Systems. – MIT Press: Cambridge, 2003. – С. 587–594.

[3] Concept and Approach [Електронний ресурс] // The BADGER Consortium. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://www.badger-robotics.eu/content/concept-and-approach.

[4] Simi A. Underground robot on board GPR system / A. Simi, D. Pasculli, G. Manacorda // Robot for Autonomous Underground Trenchless Operations, Mapping and Navigation: сб. статей. – Leganés, 2019. – С. 12-16.

[5] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 520.344

Н. Д. Мамчур, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Анотація. У роботі наведено класифікацію електронно-оптичних перетворювачів, що базується на історичному процесі вдосконалення їх технологій. Розглянуто принцип роботи та визначені основні характеристики таких приладів. Проаналізовано сучасний стан розвитку технології та актуальні області застосування електронно-оптичних перетворювачів.

Ключові слова: електронно-оптичний перетворювач, невидиме випромінювання, фотокатод, електронний потік, фотоелектрон, підсилювач зображення.

ВСТУП

На сьогоднішній день кожен спеціаліст технічної галузі хоча би раз чув словосполучення електронно-оптичний перетворювач (ЕОП), але не кожний знає, що це за пристрій і де він використовується в сучасному світі. Простими словами, ЕОП – це прилад, за допомогою якого невидиме для людського ока випромінювання перетворюється у видиме зображення. У наукових публікаціях ЕОП часто називають пристроєм, що містить фотокатод, призначенням якого є перетворення слабких світлових потоків в потоки електронів, підсилювач електронних потоків та люмінесцентний екран, який опромінюється електронним потоком та відтворює підсилене зображення [1].

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕОП

Заглибившись в історію, можна дізнатися, що найпершу схему ЕОП запропонували голландські вчені Холст і де Бур в 1928 році, апаратна реалізація якої відбулася аж в 1934 році компанією Philips і була названа стаканом Холста. Загальна ідея полягала в тому, що світлочутлива мішень піддавалася дії інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, а перенесення електронного зображення з фотокатоду здійснювалося за допомогою електричного поля і опісля на екрані з’являлося зображення [2].

Після реалізації стакана Холста дуже швидко стали з’являтися удосконалені ЕОП, тому, щоб якось розуміти різницю між вдосконаленими ЕОП, їх класифікували на 4 покоління.

Нульовим поколінням вважається найстаріша технологія підсилення зображення, якою почали користуватися ще підчас Другої світової війни. Такий однокамерний перетворювач був реалізований на основі електростатичного прискорення електронів. Хоча ця версія давала можливість бачити в темряві, якість її зображення і чутливість були дуже низькими. Також була залежність від ІЧ ламп, оскільки цей прилад працював тільки в «активному» режимі [3].

З винаходом електростатичної лінзи з'явилася можливість фокусувати електрони і розганяти їх для посилення яскравості зображення до 100 разів, що дозволило відмовитися від використання ІЧ ламп і використовувати для роботи розсіяне світло навколишнього середовища [4]. Так на початку 50-х років з’явилося перше покоління ЕОП. Незважаючи на збільшення чутливості і коефіцієнта підсилення, параметри ЕОП все ще залишалися дуже низькими, а зображення було розмито по краях. Для усунення розмитості зображення були

застосовані волоконно-оптичні плоско-увігнуті лінзи на вході і виході, а багатокаскадна система послідовно об'єднаних ЕОП дозволила значно збільшити коефіцієнт підсилення. Однак, збільшення кількості підсилювальних ламп в системі неминуче вело до збільшення шумів і розмитості зображення на периферії поля зору.

Друге покоління народилося в 60-х роках в США, після того як винайшли мікроканальні пластини (МКП) і додали їх в середину труб підсилювачів. Це дало змогу в рази збільшити коефіцієнт підсилення яскравості зображення. Також використання вдосконаленого мультилужного фотокатода дозволило збільшити інтегральну чутливість та спектральні реакції пристрою. Однак, обробка зображення все ще виконувалась за рахунок електростатичного фокусування, що зберігало проблему розмитості по краях зображення. Одним із суттєвих недоліків ЕОП другого покоління залишилися значні габарити і маса таких приладів.

У середині 70-х років застосували фотокатоди на арсеніді галію, що призвело до появи ЕОП третього покоління. Нові трубки мали набагато більшу чутливість, роздільну здатність та співвідношення сигнал/шум, що підвищило дальність виявлення об’єктів та ефективність в умовах недостатнього освітлення, зменшились габарити приладу. Недоліком виявилось те, що через хімічну реакцію арсеніду галію з МКП трубки швидко розкладалися. Рішенням було ізолювати МКП тонкою іонно-бар’єрною плівкою, але при цьому зменшилося співвідношення сигнал/шум. Незважаючи на ці недоліки загальна продуктивність таких ЕОП є набагато кращою, ніж у пристроїв 2-го покоління.

У постійних пошуках кращих характеристик розробники намагалися подолати обмеження пристроїв третього покоління, що мають іонно-бар’єрну плівку, а саме зменшити електронний шум, намагаючись розробити безплівкову інтенсифікаторну трубку. Вони до певної міри досягли успіху і цю технологію називали нічним баченням 4-го покоління, але виробничі витрати були надмірними порівняно з отриманим підвищенням продуктивності. Цю термінологію швидко відкликали і назвали пристрої безплівковими підсилювачами зображення 3-го покоління.

ПРИНЦИП РОБОТИ ЕОП

Основними частинами найпростішого ЕОП є напівпрозорий фотокатод, електронно-оптична система фокусування електронів і люмінесцентний екран. Схематично принцип дії однокамерного ЕОП показаний на рис. 1. Зображення об'єкта, що спостерігається за допомогою об'єктива, проектується на фотокатод. При висвітленні фотокатода за рахунок фотоелектронної емісії створюється електронне зображення, в якому щільність розподілу електронів відповідає розподілу світла і тіней в самому оптичному зображенні. Під впливом прискорюючого поля електронне зображення переноситься в площину люмінесцентного екрану і збуджує його, причому ступінь порушення екрану або відповідно яскравість окремих його елементів буде також визначатися розподілом світла і тіней в зображенні об'єкта, що спостерігається [5].

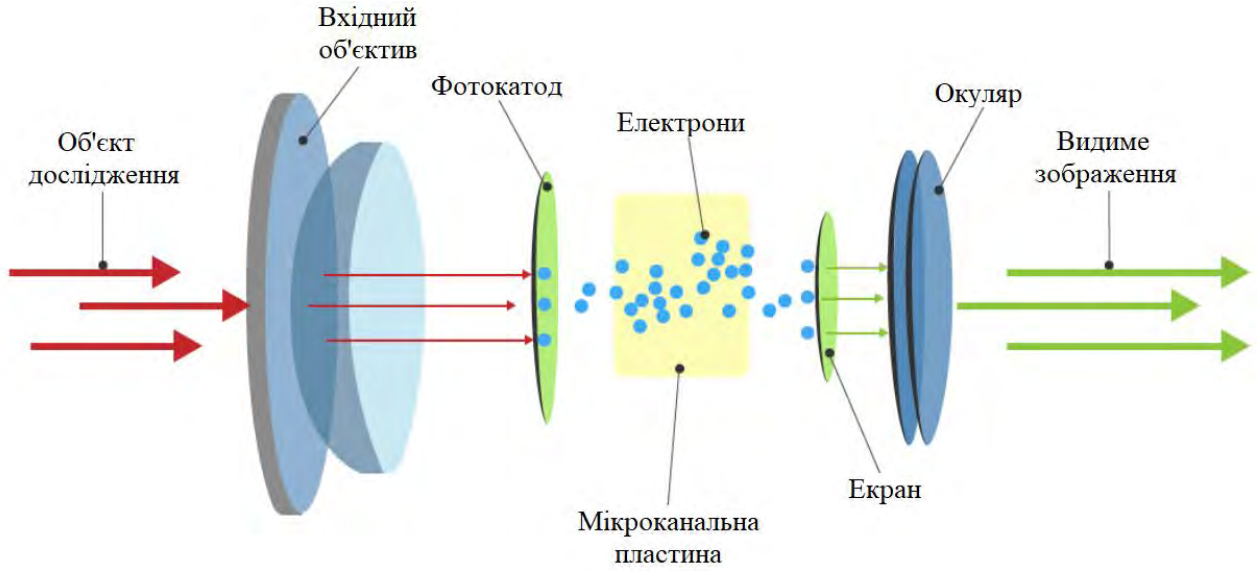


Рис 1. Блок-схема електронно-оптичного перетворювача

ОСНОВНІ ХАРАКТРЕРИСТИКИ ЕОП

Основними характеристиками електронно-оптичних перетворювачів, які дозволяють визначити продуктивність пристрою, є:

- Інтегральна чутливість – параметр визначає наскільки ефективно фотокатод перетворює світло, що потрапило на нього, в електрони, які потім підсилюються у багато разів і знову перетворюються в видиме людським оком зображення. Чим вона вища, тим при меншому рівні освітленості може ефективно працювати ЕОП.
- Роздільна здатність – показник, що визначає чіткість одержуваного зображення. При вимірюванні цього параметра використовується штрихова міра – випробувальна пластина з нанесеними на неї блоками смуг, що чергуються, різного розміру. Оператор установки, що застосовується для перевірки роздільної здатності, дивиться через ЕОП на тестову міру. Чим дрібніші блоки смуг може розрізнити оператор, тим більшу роздільну здатність має пристрій.
- Відношення сигнал/шум – даний параметр визначає кількість шумів (завади у вигляді «снігу» або «рябизни») у вихідному зображенні. Чим він вищий, тим менше завад містить зображення.
- Коефіцієнт перетворення - даний показник визначає у скільки разів ЕОП здатний посилити вловлюване світло.
- Покоління ЕОП.

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕОП

Області застосування ЕОП досить широкі: медицина, енергетика, мікробіологія, ядерна фізика, ІЧ техніка, спектроскопія, астрономія та інші. Їх використовують при оптичних і мікроскопічних дослідженнях, для спостереження малоконтрастних об'єктів, а також тих, що досліджуються при низькому рівні навколишньої освітленості, для бачення в темряві (висвітлення об'єктів ІЧ променями), діагностики коронних та поверхнево-часткових

розрядів на лініях електропередач. ЕОП створені також для реєстрації швидкоплинних процесів, що супроводжуються світловим, рентгенівським і корпускулярним випромінюванням.

ВИСНОВКИ

ЕОП – це вакуумний фотоелектронний прилад, що застосовується для перетворення невидимого людським оком випромінювання (ближній інфрачервоний, ультрафіолетовий або рентгенівський діапазони оптичного спектра) у видиме зображення або для підсилення останнього [2].

На сьогоднішній день використовуються ЕОП усіх існуючих поколінь, окрім нульового, оскільки ця технологія вважається застарілою. ЕОП першого покоління мають однакову базову конструкцію, але, завдяки вдосконаленню виробничих процесів, здатні формувати зображення з роздільною здатністю до 35 лн/мм. Сучасні пристрої 2-го покоління створюють яскраві та чіткі зображення з роздільною здатністю до 54 лн/мм. На сучасному ринку також можна знайти прилади третього покоління зі значенням цього параметру понад 75 лн/мм, високою чутливістю та якістю зображення [3].

Мобільність та ефективність роботи сучасних наукової та виробничої баз забезпечують можливість створення ОЕП різних конфігурацій, що задовольняють вимогам найвибагливіших споживачів. Подібний підхід до виробничого процесу дозволяє відслідковувати останні тенденції світового ринку і враховувати їх при виготовленні виробів, постійно вдосконалюючи технологію ЕОП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

[2] Електронно-оптичний перетворювач [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електронно-оптичний_перетворювач.

[3] Night Vision 101: Seeing in the Dark [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bhphotovideo.com/explora/amp/outdoors/buying-guide/night-vision-101-seeing-dark.

[4] Муравьёв А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.

[5] Зайдель И. Н., Куренков Г. И. Электронно-оптические преобразователи / И. Н. Зайдель, Г. И. Куренков// Москва: «Советское радио». – 1970. – С. 5-6.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 536.521

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІРОМЕТРІЇ ТА АКТУАЛЬНІ СФЕРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Анотація. Стаття присвячена аналізу методів роботи сучасних пірометрів, їх застосуванню та перспективам використання. У роботі виконано порівняння існуючих типів пірометрів, визначені основні переваги та недоліки кожного класу приладів. Наведено приклади використання таких пристроїв у різних сферах життєдіяльності людини.

Ключові слова: пірометрія, класифікація пірометрів, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Усі тіла, температура яких вище абсолютного нуля, випромінюють світловий потік в інфрачервоному діапазоні оптичного спектра. Пірометри застосовують для визначення температури об’єктів, використовуючи в якості інформативного параметру довжину хвилі та інтенсивність цього випромінювання. Основна відмінність між даними приладами та іншими типами термометрів полягає в тому, що в деяких ситуаціях рівні розжарювання поверхонь можуть бути надзвичайно високими для прямого контакту, і лише пірометри дозволяють вимірювати температуру без необхідності контактувати з об'єктом безпосередньо [1,2]. Це стає можливим завдяки наявності у пірометрів вбудованих оптичних детекторів, оптична система яких фокусує теплове випромінювання на чутливу площадку інфрачервоного фотоприймача. Вихідний сигнал детектора пов'язаний з рівнем теплового випромінювання цільового об'єкта через закон Стефана-Больцмана, константу пропорційності, що називається постійною Стефана-Больцмана та випромінюючою здатністю об'єкта. Ці вихідні дані використовуються для автоматизованого визначення температури поверхні контролю. Таким чином, немає необхідності в прямому контакті з об’єктом, температура якого вимірюється. Сучасні пірометри володіють високою точністю, економічністю та швидкістю роботи. Їх попит постійно зростає, оскільки безконтактне вимірювання температури сьогодні є стандартною процедурою в ряді галузей виробництва, широко застосовується у побуті, а необхідність використання такої техніки у медичних цілях в умовах світової пандемії коронавірусу є беззаперечною.

КЛАСИФІКАЦІЯ ПІРОМЕТРІВ

Розглянемо коротко загальну класифікацію пірометрів за основним принципом дії. Критерій дозволяє розділити дані прилади на три типи: радіаційні, яскравісні та колірні [3].

Радіаційні пірометри – це безконтактні вимірювачі температури об'єктів, що реєструють їх власне теплове випромінювання. Оптична система такого приладу збирає інфрачервоний світловий потік від об'єкта і фокусує його на детекторі. Останній перетворює зібрану енергію в електричний сигнал, що відображується на дисплеї або оброблюється для подальшого використання. Прилад може містити також оптичний канал з телескопічною системою для зручності візуального наведення на об’єкт контролю, а у рідкісних випадках вимірювальний і візуальний канали можуть бути суміщені (дивись рис. 1).

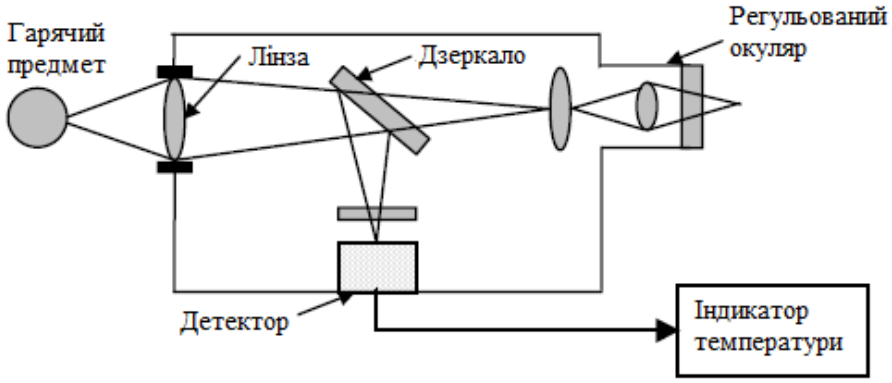


Рис. 1. Структурна схема радіаційного пірометра

У пірометрах такого типу використовуються два види детекторів: тепловий (термобатарея) і фотонний (фотоелектронний помножувач). Слід зазначити, що детектори фотонів працюють набагато швидше, ніж теплові приймачі випромінювання [4]. Це дозволяє використовувати фотонний тип датчиків для вимірювання температури невеликих об'єктів, що рухаються з досить високою швидкістю.

Радіаційні пірометри використовуються для вимірювання температури різноманітних поверхонь: розплавлене скло і розплавлені метали є типовими об'єктами, що потребують подібного типу контролю, однак даний тип приладів отримав широке застосування і в побуті.

Яскравісні пірометри працюють за принципом узгодження яскравостей об’єкта контролю і нитки лампи розжарення, що розміщена всередині конструкції приладу. Такий тип пірометрів застосовується для вимірювання температури печей, розплавлених металів та інших перегрітих матеріалів або рідин.

Загальна схема яскравісного пірометра показана на рис. 2. Прилад складається з об’єктива, що фокусує випромінювану енергію від нагрітого предмета і спрямовує її на електричну лампу розжарювання. Інтенсивність світіння нитки розжарювання залежить від струму, що проходить через неї [5].

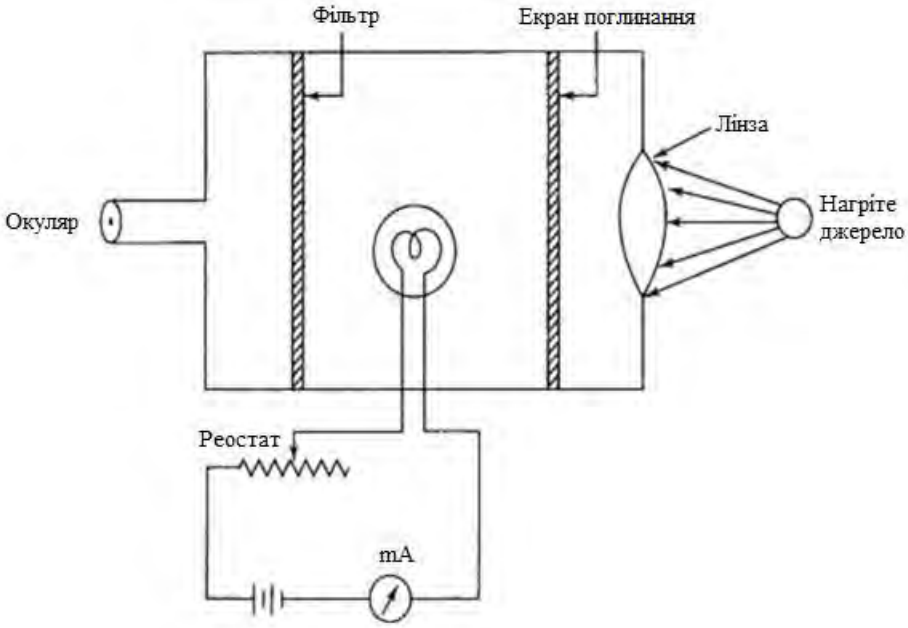


Рис. 2. Структурна схема яскравісного пірометра

Величина струму регулюється до тих пір, поки яскравість нитки розжарювання не буде максимально подібною до яскравості об'єкта контролю. Коли яскравість нитки розжарення і яскравість предмета однакові, контур розжарення повністю зникає і стає непомітним для людського ока. Нитка виглядає яскравою, коли її температура перевищує температуру поверхні об’єкта контролю, чи здається темною, якщо її температура менше, ніж потрібна для однакової яскравості.

Колірні пірометри (по іншому – пірометри спектрального відношення або мультиспектральні пірометри, в іноземній літературі – логометричні), застосовуються для автоматичного вимірювання температури в металургійній і в інших галузях промисловості, а також в практиці наукових досліджень завдяки високій точності визначення температури об’єкта.

Даний вид пірометрів визначає температуру поверхні по відношенню інтенсивностей його випромінювання на двох трохи відмінних довжинах хвиль (або в двох різних спектральних діапазонах). У такому приладі містяться кілька датчиків (мінімум два), що вимірюють у двох чи більше діапазонах спектра світловий потік від об'єкта контролю, після чого, оцінюється їх співвідношення.

Кожний з розглянутих типів пірометрів має свої переваги та недоліки, порівняльний аналіз яких представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз типів пірометрів

Класифікація	***Переваги***	***Недоліки***
Радіаційні	Проста конструкція, через що, даний пірометр має відносно невисоку вартість, високу надійність та невеликі розміри; може вимірювати температури до 300-400 °С і трохи вище; здатний вимірювати низькі температури – до -50 °С.	Фізичний стан об'єкта впливає на величину випромінювальної здатності, також подібний вплив створює фактура поверхні (гладка або матова), наявність захисних покриттів або плівок, накипу, іржі та інших природних утворень. Ці фактори знижуюсь точність вимірювання температури.
Яскравісні	Відстань між приладом та джерелом інфрачервоного випромінювання може бути досить великою; приладом зручно користуватися.	Метод реєструє інтенсивність світла, що випромінює нагріте тіло у видимому діапазоні спектру, отже може застосовуватись лише для вимірювання високих температур (вище 700 °С); точність вимірювання залежить від суб’єктивного людського фактору; не використовується для вимірювання температури чистих газів;
Колірні	Точність приладу не залежить від відстані до об'єкта або його випромінювальної здатності.	Висока вартість; відносно складна конструкція; низька надійність.

СУЧАСНІ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ПІРОМЕТРІВ

Методи оптичної пірометрії вигідно відрізняються від застосування звичайних термометрів. Вимірювання можна проводити без зупинки технологічного процесу або виробництва на безпечній відстані від місць з

підвищеною температурою. Так як безконтактне вимірювання температури очевидно має ряд переваг, сфера його застосування на сьогоднішній день досить широка. Пірометри використовуються в житлово-комунальній сфері, будівництві і ремонті, науковій діяльності, харчовій промисловості, в металургії, теплоенергетиці, в побутових призначеннях, на підприємствах, де велике значення має контроль температур на різних технологічних етапах виробництва (сталеливарна промисловість, нафтопереробна галузь), при контролі та перевірці систем кондиціонування, вентиляції та опалення. Вони можуть вимірювати температури рухомих та важкодоступних предметів, підтримувати і регулювати протипожежну безпеку, а також можуть використовуватися з високоагресивними матеріалами, такими як кислоти в хімічних процесах, без пошкодження датчика. Пірометри можна застосовувати в якості теплолокаторів для визначення областей критичних температур в різних виробничих сферах.

ВИСНОВКИ

Пірометр – багатофункціональний універсальний пристрій для вимірювання температури. Це відмінна альтернатива контактним засобам в тих випадках, коли останні використовувати недоречно, нераціонально або небезпечно для життя і здоров'я людини.

Основними перевагами цих приладів є можливість вимірювання температур на відстані і в широкому діапазоні значень (низьких і надвисоких), простота у використанні, надійність, точність, швидкодія та ергономічність.

Проведений аналіз також дав змогу зробити висновок, що найбільш розповсюдженим класом пірометрів у наш час є радіаційні прилади контролю, що обумовлено їх універсальністю, низькою вартістю, простотою і зручністю в застосуванні, надійністю та наявністю широкого вибору моделей на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Энергия. – 1978. – 704 с.

[2] Муравьёв А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьёв // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.

[3] Живкович, А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьёв // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований - 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысль, Польша. – Przemyśl : Nauka i studia, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.

[4] Burgess G. K. Characteristics of radiation pyrometers / G. K. Burgess, P. D. Foote // Washington- January 2, 1915.

[5] Optical pyrometry / C. W. Waidner and G. K. Buegess // National Bureau of Standards - 1905-02.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 004.032.26

А.В. Наконечна, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПІРОМЕТРИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЛИВАРНО-ПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. Розглянуто існуючі методи пірометрії, що використовують для автоматизованого контролю температури в індукційних системах нагріву. У роботі виконано порівняння цих методів за наявності факторів, які впливають на вимірювання та описані сучасні методи зчитування інформації та передачі даних.

Ключові слова: індукційний нагрів, пірометри, одноколірні пірометри, двоколірні пірометри.

ВСТУП

Сучасні системи індукційного нагріву широко використовуються в сучасній ковальській промисловості для гарячого кування. Перед куванням сталь нагрівають до температури від 1000 °C до 1250 °C. Необхідна температура процесу залежить від вмісту вуглецю та конкретних легуючих елементів у сталі. Гаряча ковка вимагає рівномірного розподілу тепла по ширині та довжині заготовки. Заготівлю нагрівають до температури вище температури її перекристалізації.

Існують різні способи нагрівання металу. Сюди входять індукційні, газові та мазутні печі, інфрачервоне випромінювання та нагрівання електричним опором. Індукційний нагрів пропонує явні переваги: швидке нагрівання, рівномірний розподіл тепла та точне регулювання температури [1]. Для автоматизації контролю температури в індукційних системах нагріву перспективно використовувати пірометри.

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПІРОМЕТРОМ

Пірометри вимірюють температуру без контакту і не мають деталей, що зношуються. На основі закону випромінювання Планка пірометр фіксує інфрачервоне випромінювання і перетворює його на температурне значення. Протягом мілісекунд і з безпечної відстані пірометр визначає температуру заготовки в момент виходу з індуктора. Дані про температуру можуть бути використані в завданнях інтелектуального автоматизованого неруйнівного контролю [2].

Пірометри можна розділити на одноколірні та двоколірні. Одноколірні прилади виявляють інфрачервоне випромінювання в одному спектральному діапазоні хвиль. Принцип роботи двоколірних пірометрів заснований на вимірюванні відношення значень випромінюваних енергій двох або більше хвиль в різних колірних спектрах. Пірометр обчислює температуру, виходячи із співвідношення цих двох інтенсивностей.

Обидва види пірометрів використовуються в завданнях неруйнівного контролю під час індукційних процесів нагрівання. Вибір потрібного приладу буде залежати від ряду факторів: необхідної точності, бажаної універсальності пристрою, простоти експлуатації та ціни придбання. Метою роботи є аналіз методів пірометрії, які можуть бути застосовані в автоматизованих системах контролю якості процесів ливарно-прокатного виробництва.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ

Коли частинки та завади у вигляді пилу, диму і пари в зоні видимості послаблюють сигнал на кожній з двох довжин хвиль в однаковій мірі, співвідношення двох інтенсивностей двоколірного пірометра залишається постійним. Двоколірний пірометр продовжує видавати точні та надійні дані про температуру навіть у разі ослаблення сигналу до 90% [3]. З одноколірним пірометром згасання негайно призведе до погіршення точності вимірювання.

Завади в зоні прямої видимості або пил і бруд на лінзі зменшать кількість інфрачервоної енергії, що надходить до датчика. Найновіші двоколірні пірометри оснащені монітором інтенсивності сигналу, функцією, яка викликає тривогу при перевищенні налаштованого користувачем порогу послаблення сигналу. Ця функція забезпечує надійність даних вимірювань. Постійні огляди лінз стають непотрібними, оскільки сам пірометр вказує, коли лінза занадто брудна. Це технічно неможливо для одноколірних пірометрів.

У разі використання одноколірних пірометрів об’єкт, що підлягає вимірюванню, повинен бути більшим за цільову пляму пірометра. Однохвильовий метод визначає температуру на основі середнього показника всього інфрачервоного випромінювання, захопленого всередині плями. Коли об'єкт не повністю заповнює пляму, датчик також отримуватиме випромінювання від фонових об'єктів. Якщо цей фон прохолодніший за об’єкт, показники температури заниженими. Це не відноситься до двоколірних пірометрів. Якщо цільовий об'єкт не заповнить пляму, послаблений сигнал не вплине на показники температури. За допомогою двоколірної техніки пірометр все одно даватиме точні показники температури, коли сам об’єкт на 80% менше, ніж цільова пляма [4].

Ще одна відмінність між цими двома методами пірометра є ступінь, в якій зміна розміру цілі і відстань буде впливати на показники температури. При вимірюванні в одному діапазоні довжин хвиль фокусна відстань повинна бути точно витримана, щоб отримати точні результати. Індукційні системи нагріву часто використовують одноколірні пірометри з оптикою з фіксованим фокусом. При виборі положення установки слід дотримуватися точної відстані фокусування. Однак на практиці необхідна відстань фокусування може бути недоцільною через обмеження установки або прилади з регульованою можливістю фокусування іноді неправильно регулюються. У разі використання двоколірних пірометрів помилки, спричинені такими факторами, як різна відстань чи розмір або неправильне фокусування, будуть незначними [5].

ЗЧИТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Індукційні системи нагрівання зазвичай оснащені приладом для вимірювання температури. Автоматизована система управління процесом забезпечує збереження параметрів процесу. Заготовки, які не досягли температури кування або були перегріті, автоматично потрапляють в брак.

У країнах, де застосовуються менш прогресивні технології, все ще часто можна зустріти нагрівання полум'ям, яке не дозволяє точно вимірювати температуру. Однак індукційне нагрівання стає все більш популярним, і

ковальські операції все частіше переходять на індукційні лінії нагрівання. У процесі модернізації свого обладнання ковальські компанії часто купують прилад для вимірювання температури як самостійний пристрій. Для таких застосувань корисно використовувати інтелектуальний цифровий блок відображення для підвищення швидкості обробки сигналів пірометра для автоматичного формування точних даних про температуру заготовки. Зовсім недавно на ринку спостерігається поява датчиків, які можуть підраховувати та реєструвати кількість прийнятих та відхилених заготовок. Ці дані можна експортувати на підключений ПК або користувач може вибрати варіант бездротового передавання даних, такий як смартфон з інтерфейсом Bluetooth.

ВИСНОВКИ

Точний автоматизований контроль температури має важливе значення для досягнення максимально можливої ефективності в індукційному нагріванні заготовок.

Одноколірні пірометри дають хороші результати, коли такі виробничі параметри, як розмір цілі, фокусна відстань, властивості матеріалу та поверхні залишаються незмінними. Однак для отримання максимальної точності даних та простоти фокусування слід вибирати двоколірні пірометри. Їх перевагою є те, що вони можуть працювати в різних колірних спектрах. Завдяки їх показникам можна застосовувати це обладнання в забруднених місцях, так як наявність сторонніх компонентів (пару, пилу, диму та інших) на його роботу не впливають. Хоча економічні міркування також відіграють певну роль у прийнятті рішень про придбання того чи іншого приладу. Залежно від особливостей, двоколірний пірометр коштуватиме дорожче, ніж одноколірний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Lasobras J., Alonso R., Carretero C., Carretero E., Imaz E. Infrared Sensor-Based Temperature Control for Domestic Induction Cooktops. Sensors. // SPIE. – 2014. – pp. 5278–5295.

[2] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

[3] Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. — М.: Советское радио, 1978. — 400 с.

[4] Vollmer M., Möllmann K.P. Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications. Wiley; Weinheim, Germany: 2011.

[5] Ibarra-Castanedo C., Genest M., Piau J.M., Guibert S., Bendada A., Maldague X.P., Chen C. Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization. In: Chen C.H., editor. Active Infrared Thermography Techniques for the Non-Destructive Testing of Materials. World Scientific; Singapore, Singapore: 2007. pp. 325–348.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 004.032.26

М.В. Наконечний, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОПРОЦЕСОРІВ В РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. У роботі розглянуто архітектури традиційних процесорних систем та нейропроцесорів та їх вплив на швидкість та точність отримання результатів діагностики в роботизованих системах неруйнівного контролю. Запропоновано використовувати нейропроцесори в завданнях розпізнавання образів та прогнозування за допомогою машинного навчання в тепловому, ультразвуковому, рентгенівському та інших методах неруйнівного контролю.

Ключові слова: нейропроцесори, нейронні мережі, машинне навчання, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Під час обробки сигналів неруйнівного контролю в сучасних умовах існує потреба автоматизованого розпізнавання різноманітних патернів зображень, прихованих залежностей між інформативними параметрами, виділення корисного сигналу на фоні завад тощо. Машинне навчання є технологією, яка набула широкого застосування в сучасних приладах та системах неруйнівного контролю. Є величезні переваги використання машинного навчання, оскільки воно дозволяє автоматизувати певні процеси, які раніше потребували втручання з боку людини, і, маючи достатню кількість навчальних даних, система з легкістю здатна перевершити людину у достовірності контролю. Також нейронні мережі дозволяюсь вирішувати неформальні задачі, де мова йде не лише про математичні обчислення.

Проблема, з якою зустрічається цей підхід, полягає у порівняно низькій швидкодії нейронних мереж у зв’язку з архітектурою центральних процесорів, що використовуються у сучасних комп’ютеризованих системах. В даній роботі розглянуто перспективний підхід використання нейропроцесорів у роботизованих системах неруйнівного контролю. Використання такого методу дозволить проводити швидкий автоматизований контроль.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу традиційних процесорних архітектур та нейропроцесорів, а також визначення області застосування нейропроцесорних систем в завданнях неруйнівного контролю.

ПОРІВНЯННЯ АРХІТЕКТУР ПРОЦЕСОРІВ

Головна відмінність нейропроцесорів від традиційних процесорних систем, таких як, мікроконтролери (МК), процесори (ЦП), цифрові сигнальні процесори (ЦСП), графічні процесори (ДП) тощо, полягає в архітектурі. Так, традиційні процесори складаються з відокремлених блоків, що виконують різні функції (обчислювальні і периферійні блоки, пам'ять), коли нейропроцесори мають більш «однорідну» структуру, що включає безлічі нейронів – однакових і відносно простих обчислювальних осередків з вбудованою пам'яттю. Цю різницю добре видно на рис. 1.

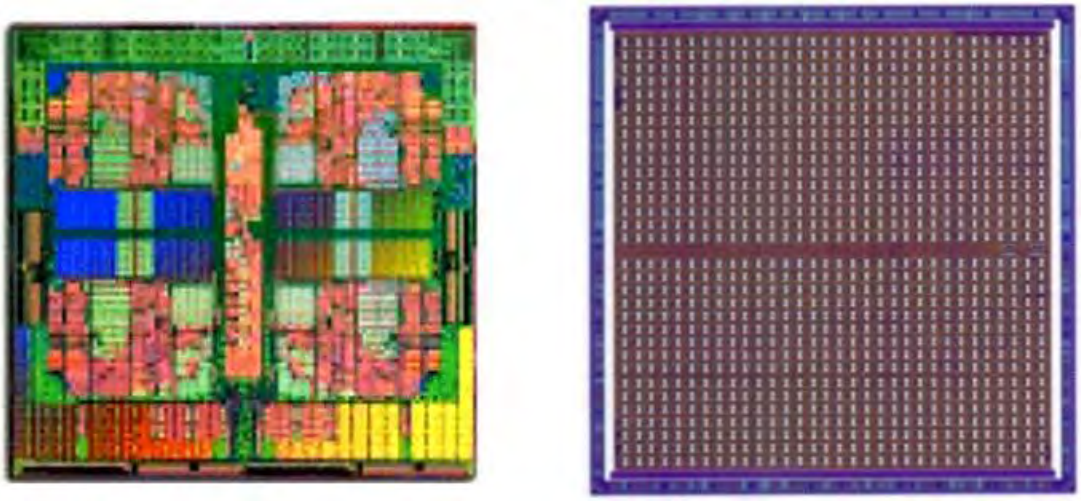


Рис. 1. Збільшене фото структури традиційного процесора і нейропроцесора

Таким чином, архітектура нейропроцесора за визначенням є багатоядерною, адже кожен нейрон – це самостійне обчислювальне ядро. В результаті багато операцій, таких як розпізнавання зображень, фільтрація, класифікація тощо, виконуються вкрай швидко. Звичайно, сучасні процесори також можуть мати багатоядерну структуру, але вирішення неформалізованих завдань для них як і раніше виявляється ускладненим. Ключові відмінності в можливостях традиційних процесорних систем та нейропроцесорів представлені в таблиці 1.

Оскільки сучасні роботизовані та автоматизовані системи неруйнівного контролю часто містять у своєму складі нейромережевий класифікатор або іншу підсистему інтелектуального аналізу даних, використання нейропроцесорів є перспективним для підвищення швидкості роботи нейронних мереж та процесу їх навчання [1].

Таблиця 1. Порівняння процесорів з традиційною архітектурою та нейропроцесорів

МК/ ЦП/ ЦСП/ ГП	***Нейропроцесори***
Гарвардська архітектура або архітектура фон Неймана з поділом обчислювального ядра і пам'яті	Рівномірна структура з однакових обчислювальних осередків з власною пам'яттю
Паралельна обробка в багатопроцесорних системах	Паралельна обробка за визначенням
Рішення логічних / послідовних / лінійних задач	Рішення нестандартних / паралельних / нелінійних задач
Декомпозиція завдань і використання об'єктивних оцінок	Рішення завдання усього «цілком», з урахуванням попереднього досвіду і постійним самонавчанням
Жорстка детермінація за часом, математичного апарату, типу даних	Немає жорсткого детермінізму при вирішенні задач
Оптимальні для роботи з чітко структурованими масивами даних	Оптимальні для роботи з неструктурованими і нестандартними масивами даних
Складність масштабування	Відносна простота масштабування

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА АРХІТЕКТУРІ НЕЙРОПРОЦЕСОРІВ

Більшість нейропроцесорів здатні працювати в двох основних режимах: навчання та розпізнавання. При цьому мова може йти про принципово різні за своєю природою дані: тексти, зображення, звукові сигнали, відео тощо. Знаходячись в режимі навчання процесор накопичує дані. Під час операцій розпізнання, процесор використовує накопичені дані та виконує відповідну команду згідно з результатом розпізнання. Потік даних формує зовнішній керуючий процесор, а обробка проводиться нейронами.

Кожен нейрон має власну програмовану пам'ять: основну, контекст, категорію. Категорія використовується для класифікації об'єктів, а контекст для поділу нейронів на підмережі. Програмування пам'яті нейронів відрізняється від програмування звичайних процесорів. Якщо у звичайному процесорі програма записується перед початком роботи, то у більшості нейропроцесорів програмування може здійснюватися прямо в процесі роботи і називається навчанням.

Нейрони можуть використовуватися для розпізнавання різних властивостей об'єкта, наприклад його форми, кольору тощо. У таких випадках архітектура дозволяє розділити нейрони на окремі підмережі за допомогою поля контексту. Тоді в процесі розпізнавання активними залишаються лише ті нейрони, чий контекст збігається з глобальним контекстом, що задається керуючим процесором. Таким чином можна значно підвищити енергоефективність системи [2].

ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОПРОЦЕСОРІВ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Як відомо, результати теплового неруйнівного контролю часто є неоднозначними, оскільки на них впливає велика кількість складним чином взаємопов’язаних факторів. Для автоматизації обробки термограм застосовуються технології глибинного навчання. Використання нейронних мереж дозволяє автоматизовано визначати тип дефекту, глибину його залягання та інші характеристики [3]. Однак, проведення такого аналізу пов’язане з необхідністю обробки великих масивів даних. Оптимізувати цей процес можна за допомогою використання нейропроцесорів.

Застосування нейронних мереж також актуальне в системах ультразвукового неруйнівного контролю. З метою аналізу отриманих дефектограми оператором проводиться їх візуалізація. Дефекти на таких дефектограмах можуть бути виявлені на основі певних патернів, що включають амплітуди луна-сигналів в різних точках і їх взаємне розташування. Аналіз дефектограми (A-, B- та C-сканів) може бути автоматизований. Для автоматизації виявлення і аналізу патернів можуть бути застосовані штучні нейронні мережі [4]. При використані даних технологій оптимальне буде застосування нейропроцесорної архітектури, що в свою чергу значно підвищить ефективність обробки даних.

В даний час також інтенсивно розвиваються системи радіаційного контролю з візуальним відображенням результатів вимірювання. Крім технічної дефектоскопії вони широко використовуються і при огляді в аеропортах, залізничних станціях тощо з метою забезпечення безпеки. У даних системах розпізнавання елементів внутрішньої структури просвічуваного об'єкта традиційно зводиться до візуального розпізнавання зображення людиною-оператором. Застосування спеціалізованих методів автоматичного розпізнавання зображень дозволить істотно підвищити достовірність контролю. Одними з таких алгоритмів штучні нейронні мережі [5]. Використання даних технологій на архітектурі нейропроцесорів дозволить оптимізувати процеси розпізнавання та підвищити надійність результатів.

ВИСНОВКИ

На відміну від традиційних процесорів, нейропроцесори забезпечують як високу продуктивність системи так і її енергоефективність під час виконання складних неформалізованих задач. Вони можуть використовуватися в широкому спектрі галузей неруйнівного контролю для автоматизованого виявлення дефектів або класифікація матеріалів. Використання оптимізованих під нейронні мережі та машинне навчання процесорів може значно підвищити швидкість та точність роботизованих систем неруйнівного контролю. Основним завданням для подальших досліджень є визначення необхідних характеристик нейропроцесорів для їх використання у різних методах неруйнівного контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Ручкин В. Н. Алгоритмы анализа вычислительных структур на базе нейропроцессоров / В. Н. Ручкин, В. А. Романчук. // Рязанский государственный университет им. С.А.Есенина. – 2012. – №40. – С. 60–66.

[2] Романчук В. А. Оценка результатов моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров / В. А. Романчук, В. Н. Ручкин. – 2013.

[3] 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

[4] Guskov G. Применение искусственных нейронных сетей в задачах ультразвукового неразрушающего контроля / Gleb Guskov // Ulyanovsk State Technical University. – 2012.

[5] Назаренко С. Ю. Применение искусственных нейронных сетей в радиационном неразрушающем контроле / С. Ю. Назаренко, В. А. Удод // Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2019.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 62-26, 62-293

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

Анотація. Стаття присвячена аналізу одного з сучасних методів використання ультразвуку – ультразвуковому очищенню. У роботі виконано огляд існуючої технології ультразвукового очищення, визначені її основні переваги та недоліки, а також поточні області застосування. Наведена схема з етапами очищення ультразвуком та вплив різних факторів на механізм очистки.

Ключові слова: ультразвукове очищення, кавітація.

ВСТУП

Сьогодні ультразвукові методи контролю, вимірювання та обробки застосовуються у багатьох сферах нашого життя [1]. Одним із напрямків розвитку ультразвукової техніки є очищення ультразвуком.

Перше комерційне обладнання для ультразвукового очищення з'явилося в 1950-х роках, а приблизно в 1970 році почало застосовуватися як відносно недорога побутова техніка [2].

Ультразвукові очищувачі використовуються для чищення багатьох різних типів предметів, включаючи ювелірні вироби, наукові зразки, лінзи та інші оптичні деталі, годинники, стоматологічні та хірургічні інструменти, монети, авторучки, ключки для гольфу, котушки для риболовлі, жалюзі на вікна, компоненти вогнепальної зброї, автомобільні форсунки, музичні інструменти, деталі промислових машин та електронне обладнання. Також сьогодні вже доступні ультразвукові прилади для очищення обличчя в домашніх умовах [2].

Важко перечислити всі сфери, де задіяна технологія очищення ультразвуком, але наведеного достатньо, щоб зрозуміти наскільки поширеною і перспективною вона є на сьогодні.

УЛЬТРАЗВУКОВЕ ОЧИЩЕННЯ

Устаткування

Найпоширеніша система для ультразвукового очищення складається з трьох компонентів: резервуар для рідкого розчину, генератор, який є джерелом електричної енергії, і перетворювач, який перетворює електричну енергію в механічну. Вся ця конструкція знаходиться в корпусі і має дисплей налаштувань параметрів очистки. Резервуар може бути розроблений під конкретний тип деталей, що дає змогу застосовувати цей метод очистки в багатьох галузях.

Більшість ультразвукових генераторів приймають стандартний вхід змінного струму з частотою 50 - 60 Гц, а потім перетворюють його на постійний. Розміри варіюються від настільних блоків від 200 Вт до великих блоків потужністю 1000 Вт [3]. Перетворювачі можуть бути прикріплені до резервуару, або може бути використаний занурювальний перетворювач. Кількість і положення таких перетворювачів визначаються розміром і конфігурацією деталей, розміром резервуара тощо.

Етапи очищення в ультразвуковій ванній

Існує три основних етапи ультразвукового очищення:

1. Етап попереднього замочування, який є дуже важливим для ефективності системи. На цьому етапі деталь поміщають у нагрітий миючий розчин, який видаляє весь хімічно розчинний бруд та загальні забруднення.

2. Основний етап ультразвукового очищення, при якому очищення виконуються за допомогою кавітації в розчині.

3. Промивка очищеної частини. Ультразвук також може застосовуватися на цьому етапі для підвищення ефективності [3].

Процес ультразвукового очищення

При ультразвуковому очищенні на рідкий розчин впливають високочастотні ультразвукові хвилі. Ультразвукова енергія зазвичай уводиться в розчин за допомогою перетворювача, який перетворює електричну енергію в механічну. Звукові хвилі генерують зони високого та низького тиску у всій рідині. В зонах негативного тиску температура кипіння зменшується і утворюються мікроскопічні вакуумні бульбашки. По мірі руху звукових хвиль ця сама зона стає зоною позитивного тиску, що призводить до вибуху бульбашок. Це називається кавітацією і є основою для ультразвукового очищення.

Кавітація спричиняє величезний тиск (близько 10000 фунтів на квадратний дюйм) і високі температури (приблизно 20000 °F у мікроскопічному масштабі). Такі тиски та температури послаблюють забруднення, дають змогу розчиннику проникнути до забруднень, що знаходяться глибше, та проводять фактичне очищення.

Вода та багато інших розчинників використовуються як засоби для чищення. Важливо підбирати миючі розчини на основі їх здатності поєднувати кавітаційну активність з хімічною дією. Для найкращих результатів очищення необхідно провести випробування з кожним набором деталей, щоб отримати оптимальне поєднання концентрації розчину та кавітації.

Існує три механізми руйнування поверхневих забруднень кавітаційними бульбашками: відшарування, струменеве очищення і емульгування.

Дуже важливим параметром, що впливає на ефективність процесу очищення, є інтенсивність ультразвуку. Вибір інтенсивності залежить від виду виробу, характеру забруднення, миючої рідини тощо. Залежно від виду забруднень доцільно використовувати наступні значення інтенсивності:

– до 1-3 Вт/см^2 – для легких забруднень (масляних і жирових);

– від 3 до 10 Вт/см^2 – для середніх забруднень;

– понад 10 Вт/см^2 – для сильних забруднень (лакових плівок, травильних шламів);

– до 100 Вт/см^2 – для очищення протяжних каналів малого діаметра.

Різноманіття завдань і об'єктів очищення обумовлює необхідність враховувати безліч специфічних факторів при реалізації процесів і вирішення проблем автоматизації ультразвукового впливу в оптимальному режимі. В загальному вигляді вплив різних факторів на механізм очистки можна представити у вигляді схеми [4], що представлена на рис. 1.

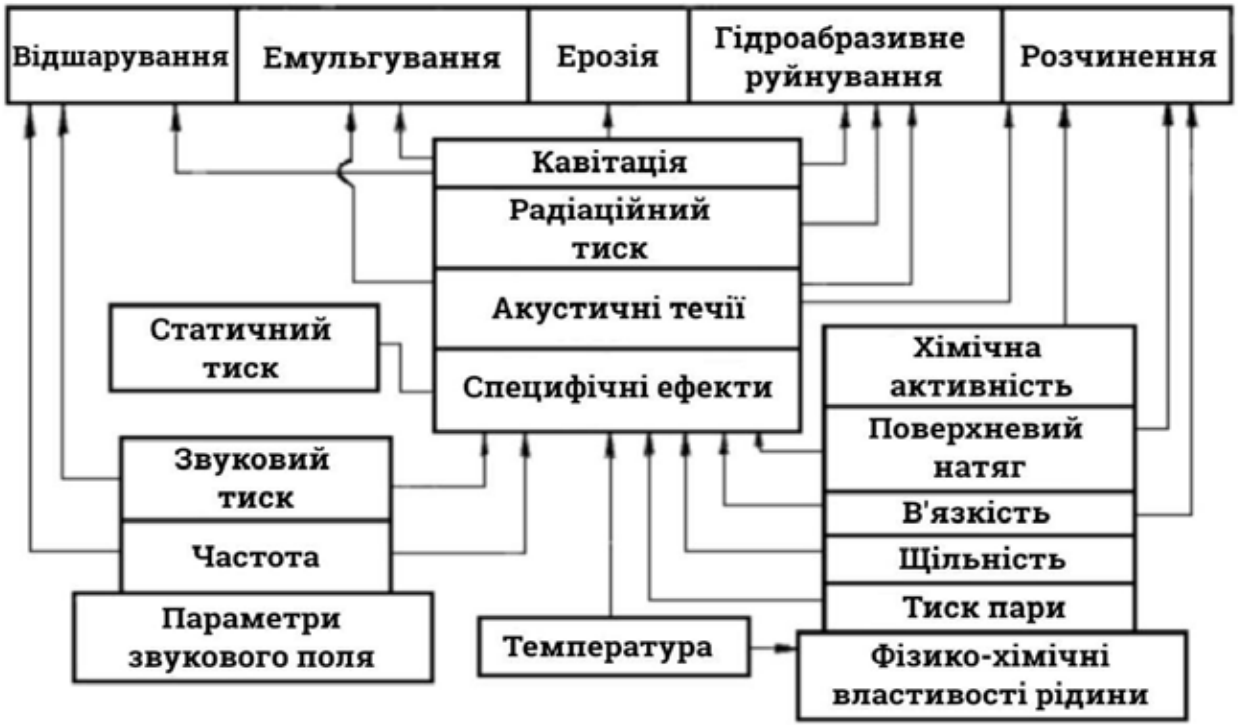


Рис. 1. Фактори, що впливають на механізм очистки

ПОРІВНЯННЯ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЧИЩЕННЯ

Переваги:

● очищення виробів складної форми;

● швидке очищення (від 1 до 30 хв);

● зменшення небезпеки для здоров’я (ефективність технології значно зменшує або усуває потребу в сильних розчинниках);

● не потребує спеціальних знань (обладнання для побутового використання);

● подовжує термін використання інструментів, виробів (не відбувається псування через вплив розчинів високої концентрації) [5];

● вважається етапом перед стерилізаційної обробки інструментів (проте тут забезпечується і певний рівень дезінфекції);

● досить економне у використанні.

Недоліки:

● ультразвукове очищення вимагає, щоб деталь була занурена в миючий розчин;

● необхідно проводити випробування для отримання оптимальної комбінації концентрації миючого розчину та рівня кавітації;

● електрична потужність, необхідна для великих резервуарів, як правило, обмежує розміри деталей, які можна очистити;

● тенденція густих масл та мастил поглинати ультразвукову енергію може обмежити їх видалення.

ВИСНОВКИ

Хоча перша згадка про побутовий ультразвуковий очищувач датується приблизно 1970 роком, сьогодні небагато прикладів використання таких приладів саме в домашніх умовах, проте вони все-таки є, а це означає, що галузь ультразвукового очищення розвивається і, можливо, скоро ультразвуковий очищувач вдома буде звичною справою. З огляду на його переваги та універсальність матеріалів та виробів, які можна очистити за допомогою цієї технології, а також властивість окрім чистоти забезпечувати часткову дезінфекцію – цей метод дійсно можна розглядати в перспективі для використання в домашніх умовах.

Варто зазначити, що ультразвукове очищення може застосовуватися і для більш глобальних цілей. Наприклад очищення стічних вод або переробка забруднених нафтою ґрунтів за допомогою ультразвуку. Розвиток таких технологій може стати важливим кроком для досягнення оптимального екологічного стану в майбутньому.

Незважаючи на всі сьогоднішні досягнення, наукове дослідження ультразвуку все ще продовжується, і сьогоднішні ідеї завтра можуть стати технологією.

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] Ultrasonic cleaning [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_cleaning#Design_and_operating_principle.

[3] Douglas W. Guide to Cleaner Technologies: Cleaning and Degreasing Process Changes / Williams Douglas. – Washington, 1994.

[4] Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010.-203с.

[5] Как моет ультразвук. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://nailsplus.com.ua/polezno-znat/ultrozvukovue-moyki.

Наук. керівник – кандидат технічних наук, доцент, Галаган Р.М.

УДК 620.179.14

С.П. Нощенко, студент гр. ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОНІТОРИНГ ДЕГРАДАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ

Анотація. Метою даної статті є опис можливості опрацювання отриманого сигналу з вихрострумового перетворювача при контролі авіаційної техніки. Більш детальний аналіз дефекту необхідний для врахування деградації конструкційних матеріалів при оцінюванні залишкового ресурсу елементів літальних апаратів після довготривалої експлуатації.

Ключові слова: Вихрострумовий контроль, дефект, літальні апарати, годограф внесеної напруги,

ВСТУП

Моніторинг на різних етапах експлуатації та проведення періодичних цільових технічних оглядів, знижує ризик непередбачених подій під час експлуатації у небі, забезпечує повне використання відведеного експлуатаційного ресурсу елементів літальних апаратів і їх обґрунтоване збільшення при збереженні закладеного рівня надійності після виконання ремонтних робіт. Підвищення достовірності оцінки технічного і корозійного стану високонавантажених елементів конструкції можливе за допомогою вихрострумового неруйнівного контролю.

ДЕГРАДАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Деградація компонентів літальних апаратів пов'язана з накопиченням корозійних пошкоджень (загальне стоншення металу, точкові дефекти і міжкристалічна корозія) та дефектів (макротріщин), які є причиною зниження його здатності витримувати навантаження [1].

Деякі з дефектів усуваються під час ремонту. Інші враховуються при розрахунку в напруженому стані елемента з дефектами та подальшій оцінці його залишкового ресурсу [3]. В даний час, цей підхід використовується для оцінки безпечного очікуваного часу експлуатації літака. Залежно від різних факторів, пов'язаних з технологією виробництва та умовами експлуатації, механічні характеристики матеріалу, які призначенні для повернення його до початкового стан, можуть бути змінені через руйнації мікроструктури матеріалу внаслідок тривалої експлуатації. Такі зміни фізичного стану та мікроструктурні пошкодження матеріалу (утворення порожнин, раковин та мікротріщин) знижують функціональні властивості матеріалів. У сучасній практиці технічного обслуговування повітряних суден ці явища деградації не враховуються при оцінці залишкового ресурсу компонентів літальних апаратів. Однак його можна достовірно оцінити лише на основі характеристик міцності, довговічності та стійкості матеріалу до тріщин на поточний момент експлуатації. Отже, повинні бути встановлені корекційні коефіцієнти, що грунтуються на зміні цих характеристик порівняно з їх початковим станом. Число досліджень, пов'язаних з цією проблемою недостатньо.

В цілому деградація матеріалів визначається їх структурно-фазовим станом та мікроструктурними пошкодженнями. Для кольорових металів (таких

як алюмінієві сплави) технології моніторингу можуть бути розроблені на основі вимірювання електропровідності матеріалу. Відомо, що електрична провідність, виміряна методом вихрових струмів, чутлива до структурного стану та механічних характеристик алюмінієвих сплавів.

ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Метод вихрострумового неруйнівного контролю (ВСНК) оснований на взаємодії збуджуючого електромагнітного поля та об’єкта контролю. Ця взаємодія змінює вихрові струми в досліджуваному зразку. Оператор може виявити наявність дуже дрібних поверхневих та під поверхневих тріщин, контролюючи зміни щільності вихрових струмів.

Метод ВСНК дає змогу проводити високошвидкісні випробування (зі швидкістю сканування поверхні досліджуваного об’єкту до 150 м/с) в суворих робочих умовах, коли інші методи мають обмеження на використання [2]. Вихрострумові випробування за високої швидкості контролю особливо доцільні на виробничих лініях в автоматичній інспекції напівфабрикатів, таких як прутки, труби або профілі. Результати вихрових випробувань отримують практично миттєво, тоді як інші методи, такі як випробування проникаючими рідинами або оптичний контроль, вимагають трудомістких процедур, які унеможливлюють реалізацію 100% контролю.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО НАЯВНІСТЬ ДЕФЕКТІВ НА ОСНОВІ ГОДОГРАФА ВНЕСЕНОЇ НАПРУГИ

Метою даної статті аналіз можливості опрацювання отриманого сигналу з вихрострумового перетворювача і оцінювання параметрів дефектів. За результатом аналізу годографа внесеної від дефекта відносної напруги (рис. 1) було виявлено залежність не тільки відносного розміру глибини тріщини від внесеної комплексної напруги, але й можливість визначення параметрів дефекту – його відносну глибину залягання та висоту тріщини.

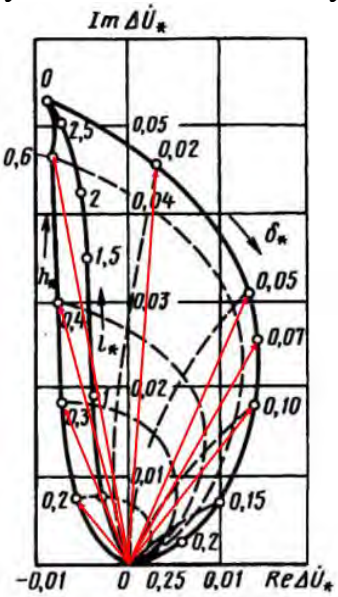


Рис. 1 Годограф накладного ВСП від глибини довгих дефектів в провідному півпросторі.

На рис.1. використано такі позначення:

$\Delta\dot{U}^*$ – зміна відносно внесною напруги;

$\delta^* = \delta / D_{ек}$ – відносна глибина залягання дефекту ;

$h^* = h / D_{ек}$ – відносна глибина дефекту;

δ, h – глибина залягання і глибина дефекту відповідно;

Як видно з рис.1 існує можливість за сигналом дефекту $\Delta\dot{U}^*$ не тільки вияви сам дефект, але й оцінити його параметри: величину δ^* можна оцінити за аргументом вектора $\Delta\dot{U}^*$, а значення h^* , за наявності заздалегідь визначених градуювальник характеристик – за модулем вектора $\Delta\dot{U}^*$. Отже використання інформації про модуль і аргумент вектора внесеної напруги $\Delta\dot{U}^*$ дає змогу більш детально дослідити дефект, оцінити його розміри, і на цій основі виконати більш точно розрахунок залишкового ресурсу певної деталі конструкції літального апарату.

ВИСНОВОК

Під час експлуатації авіаційної техніки виникає потреба періодичного контролю її елементів з метою запобігання подальшого руйнування окремих елементів та подовження терміну експлуатації всього літального апарату. Раціональним рішенням є контроль складових конструкції накладним вихрострумовим перетворювачем з подальшим визначенням амплітудних та фазових характеристик сигналу. Використання цих характеристик дає змогу оцінити параметри поверхневих та під поверхневих дефектів і на цій основі підвищити точність розрахунку залишкового ресурсу літального апарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Evaluation of Aluminium Alloys Degradation in Aging Aircraft Evaluation of Aluminium Alloys Degradation in Aging Aircraft. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/341611017_Evaluation_of_Aluminium_Alloys_Degradation_in_Aging_Aircraft_Evaluation_of_Aluminium_Alloys_Degradation_in_Aging_Aircraft

[2] Institut Dr. Foerster. DEFECTOMAT Sensor System Thermal Coil. Режим доступа:http://www.foerstergroup.com/DEFECTOMAT-sensor-system-thermal-coil.73.0.html

[3] Діагностика технічного стану авіаконструкцій після довготривалої експлуатації / О.П. Осташ, Д.С. Ківа, В.М Учанін., О.І. Семенець, І.М. Андрейко, Ю.В. Головатюк // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2013. — № 2. — С. 15-22.

Науковий керівник, проф. каф. ПСНК Куц Ю. В.

УДК 620.179

Т.А. Романюк, студент гр. ПК-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Анотація. В даний час особливо велика увага приділяється питанням автоматизації процесів вимірювального контролю параметрів виробів, оскільки, рівень автоматизації в значній мірі визначає економічні витрати та якість управління різними технологічними процесами. Взято до уваги особливості багатопараметрового вихрострумового контролю, представлено реалізацію трипараметрового вихрострумового контролю об'єктів циліндричної форми методом фазової дискремінації. Запропоновано методику комп'ютерного моделювання задач трипараметрового вихрострумового контролю, яка може бути використана в проектуванні багатопараметрових приладів вихрострумового контролю.

Ключові слова : багатопараметровий контроль, вихрострумовий контроль, вироби циліндричної форми, фазова дискримінація.

ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОПАРАМЕТРОГО ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

Неруйнівний контроль вихровими струмами застосовується в металообробній промисловості для виявлення різних дефектів виробів, контролю електрофізичних характеристик електропровідних матеріалів, оцінювання товщини захисних діелектричних покриттів тощо. Характерною особливістю цього виду контролю є його багатопараметровість. Ця властивість обумовлює його високу інформативність і водночас ускладнює процес інтерпретації сигналів вихрострумових перетворювачів.

Багатопараметровий вихрострумовий контроль (ВСК) потребує для своєї реалізації збудження вихрових струмів на декількох частотах. Для пояснення принципів багатопараметрового ВСКю використовуються три підходи. Перший передбачає узагальнення методу фазової дискримінації. Інтерес до такої інтерпретації зумовлений простотою її технічної реалізації. Другий заснований на елементарній алгебрі. Третій ґрунтується на використанні матриць та поняття векторного простору. Більш узагальнена та абстрактна векторна інтерпретація дає компактну систему запису і кращі результати, але важча для розуміння. Як і слід очікувати, усі інтерпретації мають спільну методологічну основу: розділення змінних у багатовимірній системі.

В числі конкуруючих методів багатопараметрового НК слід перш за все звернути увагу на ВСК з використанням багаточастотних струмів та імпульсних струм [1–2]. Метод електричного потенціалу в основному застосовується для ОК великих розмірів. Через контрольований об'єкт проходить значний струм, і поверхневі, і підповерхневі дефекти виявляються розподілом електричного потенціалу по поверхні виробу. Метод електропотенціалу ускладнений через необхідність застосування значних струмів. Магнітний метод вихрового струму вимагає точного регулювання струму зміщення для інспекції певного матеріалу [2]. Метод імпульсного вихроструму передбачає використання зондуючого сигналу з широким спектром, наприклад прямокутної форми [3]. Широкий спектр дозволяє використовувати непрямий метод для визначення частотнозалежних параметрів ОК, як правило, провідності та магнітної проникності. Завдяки залежності

магнітної проникності та електропровідності від частоти, аналіз спектра вимірювального сигналу дозволяє опосередковано визначити ці параметри. Однак відсутність добре розробленого алгоритму обробки спектральних складових сигналу вимірювальної обмотки перешкоджає широкому впровадженню цього методу [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метод ВСК грунтується на аналізі електромагнітних полів, створюваних вихровими струмами, що протікають в контрольованому виробі. Конструкривно вихрострумові перетворювачі ВСП часто виконують у вигляді трансформаторного перетворювача з однією котушкою збудження та кількома вимірювальними котушками. Ключовою особливістю ВСК є можливість здійснення багатопараметрових випробувань. Цей вид контролю часто виявляється чи не єдиним, який здатний ідентифікувати матеріал випробовуваного металевого предмету та оцінювати його напружено-деформований стан. В задачі контролю об'єктів циліндричної форми досліджуваними параметрам вважаються: питома електропровідність σ, магнітна проникність μ і діаметр виробу d. Багатопараметричний ВСК дає змогу визначити електромагнітні параметри ОК через оцінювання параметрів ряду гармонік електромагнітного поля.

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО ВСК КОНТРОЛЮ ОБ'ЄКТІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Система «ВСП прохідного типу – ОК» представлена на рис. 4.1, а годограф відносних внесених напруг (опорів) при контролі немагнітного електропровідного прутка у зовнішньому прохідному ВСП – на рис.2 [1,2].

Відносна внесена напруга може бути визначена як експериментально (як відношення абсолютної внесеної напруги до напруги холостого ходу), так і аналітично

$$\dot{U}^*_{\text{вн}} = \dot{U}_{\text{вн}} / \dot{U}_{\text{оп}} = j\left(\mu * \dot{\mu}_{\text{еф}}(\beta) - 1\right) D^2 / D^2_{\text{еф}} \qquad (1)$$

де ефективна магнітна проникність та узагальнений параметр визначаються як

$$\dot{\mu}_{\text{еф}}(\beta) = \frac{2}{\sqrt{-j}\beta} \cdot \frac{I_1(\sqrt{-j}\beta)}{I_0(\sqrt{-j}\beta)}, \qquad (2)$$

$$\beta = R\sqrt{\omega\gamma\mu} = R\sqrt{2\pi f \gamma \mu_0 \mu^*} = \pi D \cdot 10^{-3}\sqrt{0{,}2 f \gamma \mu^*}, \qquad (3)$$

γ, μ^* – відповідно питома електропровідність та відносна магнітна проникність матеріалу, а $D_{\text{еф}}$ – ефективний діаметр найближчої до ОК котушки

$$D_{\text{еф}} = \sqrt{\left(D_2^2 + D_2 d_2 + d_2^2\right)/3}. \qquad (4)$$

Таким чином, параметр β, отже і $\dot{U}^*_{\text{вн}}$ залежать від трьох параметрів ОК – R, γ, μ^*, що дає змогу реалізувати трипараметровий контроль. Оскільки у випадку збудження ВСП гармонічними сигналами на одній частоті доступним вимірюванню є два параметри сигналу – амплітуда і фазовий зсув відносно

сигналу збудження, трипараметровий контроль вимагає реалізації експериментів на 2 частотах.

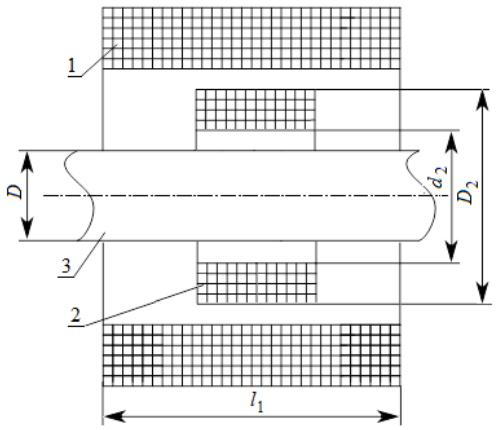


Рис. 1. Система «ВСП прохідного типу – ОК циліндричної форми»

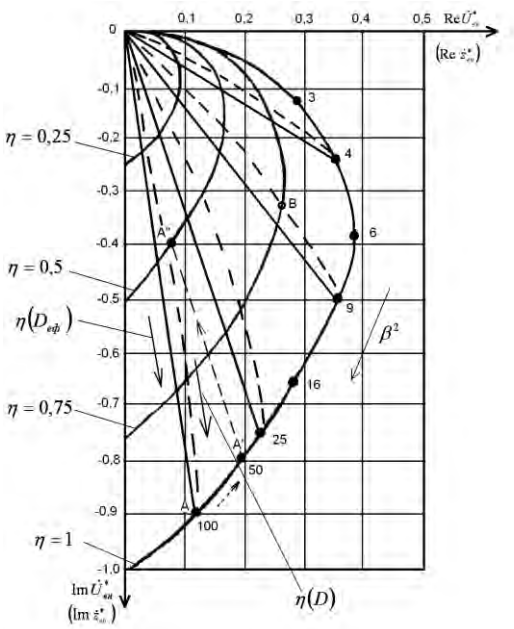


Рис. 2. Годограф відносних внесених напруг (опорів) при контролі немагнітного електропровідного прутка у зовнішньому прохідному ВСП

Якщо параметри ОК змінюються у визначених обмежених інтервалах для яких озв'язання завдання трипараметрового контролю ОК можна застосувати метод фазової дискримінації [Шарп], який зводиться до розв'язання системи лінійних рівнянь виду

$$\begin{cases} \left|\dot{U}^*_{\text{вн}1}\right| = S_{1,R}R + S_{1,\gamma}\gamma + S_{1,\mu^*}\mu^*, \\ \left|\dot{U}^*_{\text{вн}2}\right| = S_{2,R}R + S_{2,\gamma}\gamma + S_{2,\mu^*}\mu^*, \\ \left|\dot{U}^*_{\text{вн}3}\right| = S_{1,R}R + S_{3,\gamma}\gamma + S_{3,\mu^*}\mu^*, \end{cases} \quad (5)$$

$S_{i,R}, S_{i,\gamma}, S_{i,\mu^*}$ – чутливості ВСП до відповідних параметрів ОК в i-тому експерименті. Останні можуть бути розраховані, або визначені експериментально на серіях тестових зразків з відомими параметрами.

Отримати числові значення R, γ, μ^* можна одним з відомих методів розв'язання системи лінійних рівнянь.

Перевірку можливості використання розглянутого варіанту розв'язання завдання трипараметрового вихрострумового контролю параметрів прутків планується виконати в модельному варіанті за наступною методикою.

Формування вихідних даних – діапазонів зміни параметрів $(R_{\min}, R_{\max})$, $(\gamma_{\min}, \gamma_{\max})$, $(\mu^*_{\min}, \mu^*_{\max})$, робочих частот та геометричних параметрів ВСП.

Розрахунок чутливостей ВСП до параметрів R, γ, μ^* – $S_{i,R}, S_{i,\gamma}, S_{i,\mu^*}$.

Заданні певних значень параметрів ОК

$$R_з \in \left(R_{\min}, R_{\max}\right), \gamma_з \in \left(\gamma_{\min}, \gamma_{\max}\right), \ \mu^*_з \in \left(\mu^*_{\min}, \mu^*_{\max}\right)$$

та розрахунок відповідних значень $\left|\dot{U}^*_{вн1}\right|, \left|\dot{U}^*_{вн2}\right|, \left|\dot{U}^*_{вн3}\right|$.

Розв'язання системи рівнянь (5).

Порівняння розрахованих значень парметрів $R, \ \gamma, \ \mu^*$ із заданими.

Відпрацювання цієї методики дасть змогу використати її в приладах вихрострумового контрою.

ВИСНОВОК

В роботі розглянуто в цілому особливості багатопараметрового вихрострумового контролю, представлено реалізацію трипараметрового вихрострумового контролю об'єктів циліндричної форми методом фазової дискремінації. Запропоновано методику комп'ютерного моделювання задач трипараметрового вихрострумового контролю, яка може бути використана в проектуванні багатопараметрових приладів вихрострумового контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Клюев В.В. Справочник. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. (т.2) – М.: Машиностроение 1986.

[2] Неразрушающий контроль: справочник в 7 т.; под общ. ред. В.В. Клюева. – Т. 2. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с. 6.

[3] Büyüköztürk Oral. Nondestructive Testing of Materials and Structures / Oral Büyüköztürk, Mehmet Ali Taşdemir. – RILEM Bookseries. – 2012. – Vol. 6. – 1278 p. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0723-8. Шатерников В.Е., Клюеув С.В.,

[4] Вихретокотепловой метод неразрушающего контроля тонколистовых металлических изделий, Москва, Машиностроение, 2007, 175 стр. (Shaternikov V.E., Klyuev S.V., Eddy-current thermal method of nondestructive testing of thin sheet metal items, Moscow, Mashinostroenie, 2007, 175pp.).

[5] Шарп Р. Методы неразрушающих испытаний. – М.: Мир, 1972. – 494 с.

[6] García-Martín J. Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing / J. García-Martín, J. Gómez-Gil, E. Vázquez-Sánchez // Sensors. – 2011. – No. 11. – P. 2525-2565. https://doi.org/10.3390/s110302525.

[7] M. R. Nabavi and S. N. Nihtianov, "Design strategies for eddy-current displacement sensor systems: Review and recommendations," IEEE Sensors Journal, vol. 12, no. 12, pp. 3346-3355, Dec. 2012

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.

УДК 621.384.3

І.О. Складчиков, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКА MLX90640 У СКЛАДІ СМАРТ-ТЕПЛОВІЗОРА

Анотація. В даній роботі розглянуто основні сфери використання тепловізійних смарт-систем. Проведено порівняльний аналіз мікроболометричних та термопарних матриць. Запропоновано у складі смарт-тепловізорів використовувати датчик MLX90640. Проаналізовано переваги та недоліки такого рішення.

Ключові слова: тепловізори, мікроболометри, термопарні датчики, індустрія 4.0.

ВСТУП

На сьогоднішній день, промисловість України знаходиться в епосі завершення третьої, цифрової індустріальної революції, яка почалася в другій половині минулого століття. Її характерні риси – розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та роботизація виробничих процесів. Нині провідним трендом є наступний етап розвитку – Індустрія 4.0.

Характерні риси Індустрії 4.0 – це повністю автоматизовані виробництва, на яких управління всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Однією із особливостей Індустрії 4.0 є використання різноманітних смарт-пристроїв як в промисловості, так і побуті. Одним із таких пристроїв може бути смарт-тепловізор.

Смарт-тепловізор – це прилад, який дозволяє проводити моніторинг об’єктів з метою контролю їх технічного стану або доступу до них. Головною особливістю даного приладу є робота в інфрачервоному спектральному діапазоні,. Теплове випромінювання не залежить від зовнішнього освітлення, а також вільно проходить через дим, пил та туман. Це дозволяє тепловізорам розрізнити деталі, які стандартна камера в діапазоні видимого світла виявити неспроможна [1]. Тому використання даних технологій є перспективним в області автоматизованого неруйнівного контролю, контролю безпеки та побутового моніторингу.

МЕТА РОБОТИ

Можна виділити багато областей застосувань смарт-тепловізорів: автоматизація систем управління смарт-будинком, включаючи виявлення пожеж, реалізація систем безпеки та спостереження, моніторинг температури промислового обладнання тощо. На ринку існує велика кількість різних тепловізорів, які відрізняються типом чутливого елемента – матриці детектора інфрачервоного випромінювання. Однак, зазвичай існуючі моделі тепловізорів пристосовані для виконання вузького кола завдань. На відміну від них, смарт-тепловізор може бути застосований в дуже різноманітному спектрі призначень. Тому актуальним стає питання вибору універсального інфрачервоного датчика, який буде оптимальним за техніко-економічними параметрами для використання у складі смарт-тепловізорів широкого призначення.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні тепловізори дозволяють визначати температуру об'єктів в режимі реального часу. Однак коштують вони дуже дорого (тисячі євро). Це пояснюється використанням складних мікроболометричних матриць, якісної оптики та складним технологічним процесом їх виготовлення.

На сьогоднішній день, існує два основних види тепловізійних приладів: на охолоджуваних детекторах і на неохолоджуваних – мікроболометрах. Технологій виробництва інфрачервоних чутливих елементів досить багато, проте якщо поглянути на поширеність приладів, спроектованих на тих чи інших принципах, можна відзначити велику перевагу мікроболометрів [2].

Головними недоліками даних датчиків є: велике енергоспоживання за рахунок формування чіткого зображення та роздільної здатності матриць; великі габарити системи; висока цінова політика – все це веде до звуження області їх використання.

В якості альтернативи в даній роботі пропонується застосування у складі смарт-тепловізорів безконтактного інфрачервоного датчика температури серії MLX90640 фірми Melexis (рис.1) [3].

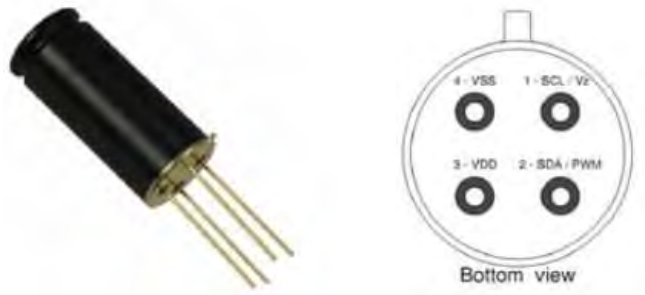


Рис.1. Зображення датчика MLX90640

MLX90640 – це тепловізійний датчик з низькою роздільною здатністю та технологією термобатареї, яка має більш низьке співвідношення сигнал-шум. Датчик складається з інфрачервоної термопарної матриці, що дозволяє проводити вимірювання розподілу температури досліджуваного об'єкта. Перевагами технології виготовлення термопарних матриць є відносно низька вартість в порівнянні з використанням мікроболометричних матриць, низьке енергоспоживання, робота при негативних температурах, компактні розміри і висока чутливість до інфрачервоного випромінювання. Термопарні матриці з термоелементів містять інтегровані малошумні підсилювачі і вузькосмугові фільтри, а також мікроконтролер для обробки і подальшої передачі аналогового сигналу. При комплектації матриці різними типами лінз, можна досягти задовольняючого кута зору, а при використанні з інтегрованими подвійними лінзами створити об'єктив. Крім того, можливе виготовлення спеціалізованої оптики під конкретні завдання[3].

Також слід зазначити характеристики даного датчика, а саме:

- діапазон робочих температур від -40 до 85 °C, що дозволяє використання в жорстких промислових умовах;
- діапазон температури вимірюваного об’єкта від -40 до 300 °C;
- точність вимірювання температури 1 ˚C у всьому діапазоні.

Обмін даними з датчиком MLX90640 відбувається по шині інтерфейсу I2C. Для отримання та опрацювання даних перспективним буде використання мікроконтролерів STM32. Після проведення необхідних операцій на мікроконтролері, данні через мережу інтернет будуть потрапляти на сервер або одразу до користувача. Для забезпечення приватності, передача даних буде шифруватись різними методиками та алгоритмами. Недоліком даного підходу буде низька деталізація зображення внаслідок невеликої роздільної здатності матриці. Для вирішення даного завдання пропонується використовувати методи глибинного навчання, представлені в роботах [4, 5].

ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновано використання датчика MLX90640 в охоронних тепловізійних системах. Проаналізувавши переваги та характеристики даного датчика, можна зробити висновок, що використання MLX90640 в смарт-тепловізорах призведе до вирішення актуальних проблем, а саме: низька вартість, низьке енергоспоживання, робота за негативних температур тощо. Наступним етапом дослідження планується розробка прототипу смарт-тепловізора з автоматизованим аналізом термограм на основі методів глибинного навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Grisha Spasov, Vasil Tsvetkov, Galidiya Petrova Using IR array MLX90640 to build an IoT solution for ALL and security smart systems / Grisha Spasov, Vasil Tsvetkov, Galidiya Petrova // Proc. XXVIII International Scientific Conference Electronics - ET2019, September 12 - 14, 2019, Sozopol, Bulgaria

[2] Эффективное использование тепловизоров для охранной системы наблюдения на основе неохлажденных болометрических матриц / В.Г.Колобородов, А.В.Банделюк // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні : матер. Ювілейна X міжнар. наук.-практ. конф. студ., асп. та молодих вчених, м. Київ, 11 березня 2014 року. – К.: НТУУ «КПІ»,2014. – С. 6.

[3] Far infrared thermal sensor array (32x24 RES) – Режим доступу: https://www.melexis.com/en/product/mlx90640/far-infrared-thermal-sensor-array

[4] Мельник, А. В. Аналіз можливостей реконструкції термограм із використанням нейронних мереж / А.В. Мельник // 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. –С.284-287.

[5] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 62.529.4

Я.В. Стешенко, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОМОБІЛЬНИХ РОБОТІВ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Розглянуто основні проблеми під час здійснення неруйнівного контролю людиною. Проаналізовано існуючі моделі роботів в неруйнівному контролі. Запропоновано використання високомобільних роботів з метою підвищення ефективності контролю та створення безпечних умов праці під час огляду важкодоступних об'єктів.

Ключові слова: неруйнівний контроль, високомобільні роботи, автоматизація, робототехніка.

ВСТУП

Неруйнівний контроль (НК) відіграє ключову роль у запобіганні структурних руйнувань. Первинний огляд нових конструкцій з метою виявлення виробничих недоліків, як правило, супроводжується повторними оглядами під час експлуатації для виявлення тріщин, корозії або випадкових пошкоджень. Загальними вимогами до НК є простота застосування, чутливість до невеликих аномалій та надійність. У цьому контексті перспективним є застосування різноманітних робототехнічних комплексів з метою автоматизації процедури контролю [1].

Використання робототехнічних рішень в НК пов'язане із задачами зменшення загальної ваги та габаритів роботів, що надає значний потенціал. Мініатюрні та високоефективні мобільні роботи добре підходять для завдань дистанційного огляду в районах, які не доступні через вузькі проходи або представляють небезпеку для здоров'я та безпеки для операторів. Зокрема, об'єкти, які складаються з великої кількості компонентів з малими структурними розмірами, спонукають застосовувати автономні мікросистеми для контролю та виконання деяких операцій на місці. Основними вимогами до таких роботизованих систем є мобільність та повна автономність з точки зору енергоефективності. Крім того, у комплексних робототехнічних системах, які включають велику кількість співпрацюючих мініатюрних або мікромасштабних роботів, кожен окремий робот може бути набагато меншими, легшими та дешевшими.

Потенціальними областями застосування високомобільних роботів є проведення неруйнівного контролю та діагностики на наступних об'єктах: морські платформи, трубопроводи в нафтовій і газовій промисловості, атомні електростанції, залізничні лінії, корпуси суден та резервуари для зберігання хімічних речовин.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Одним із відомих на сьогоднішніх день рішень є контролю об'єктів атомної промисловості із використанням високомобільних роботів. Реакторні канали під тиском перевіряються в середньому кожні 1-5 років. Перевірка не повинна перешкоджати виконанню інших завдань з технічного обслуговування. НК виконується за допомогою ультразвукового та вихрострумового методів. Авторами роботи [2] показаний робот-альпініст, який призначений для

перевірки зварних швів зсередини водяного каналу ядерного реактора (ЯР) під тиском. Він забезпечує доступ до форсунок, щоб інший робот, який повзає по трубі, міг увійти в трубу сопла для огляду периферичного шва.

Такий високомобільний робот здатен витримувати великі дози іонізуючого випромінювання. Два двигуни постійного струму реалізують привод, 3 трикутні присоски забезпечують зчеплення зі стінкою ЯР за допомогою вакуумних генераторів. Система використовує ультразвукову фазовану ґратку та систему з можливістю тривимірного фокусування для пошуку тріщин та інших дефектів.

Розроблений авторами роботи [3] настінний колісний робот під назвою VORTEX (рис. 1) здатний підніматися на більшість типів поверхонь, створюючи від'ємний тиск та обертаючи робоче колесо зі швидкістю 20 000 об / хв і вище. Його розміри відповідають розміру сторінки А4, а маса - 1 кг із додатковим корисним навантаженням у 200 г разом із системою камер. Робот підходить для візуального огляду зовнішніх поверхонь. Він надійно піднімається на цегляні, бетонні та скляні поверхні. Модифікація даного високомобільного робота потенційно дозволить оснастити його додатковими датчиками, що розширить можливості його застосування в неруйнівному контролі.

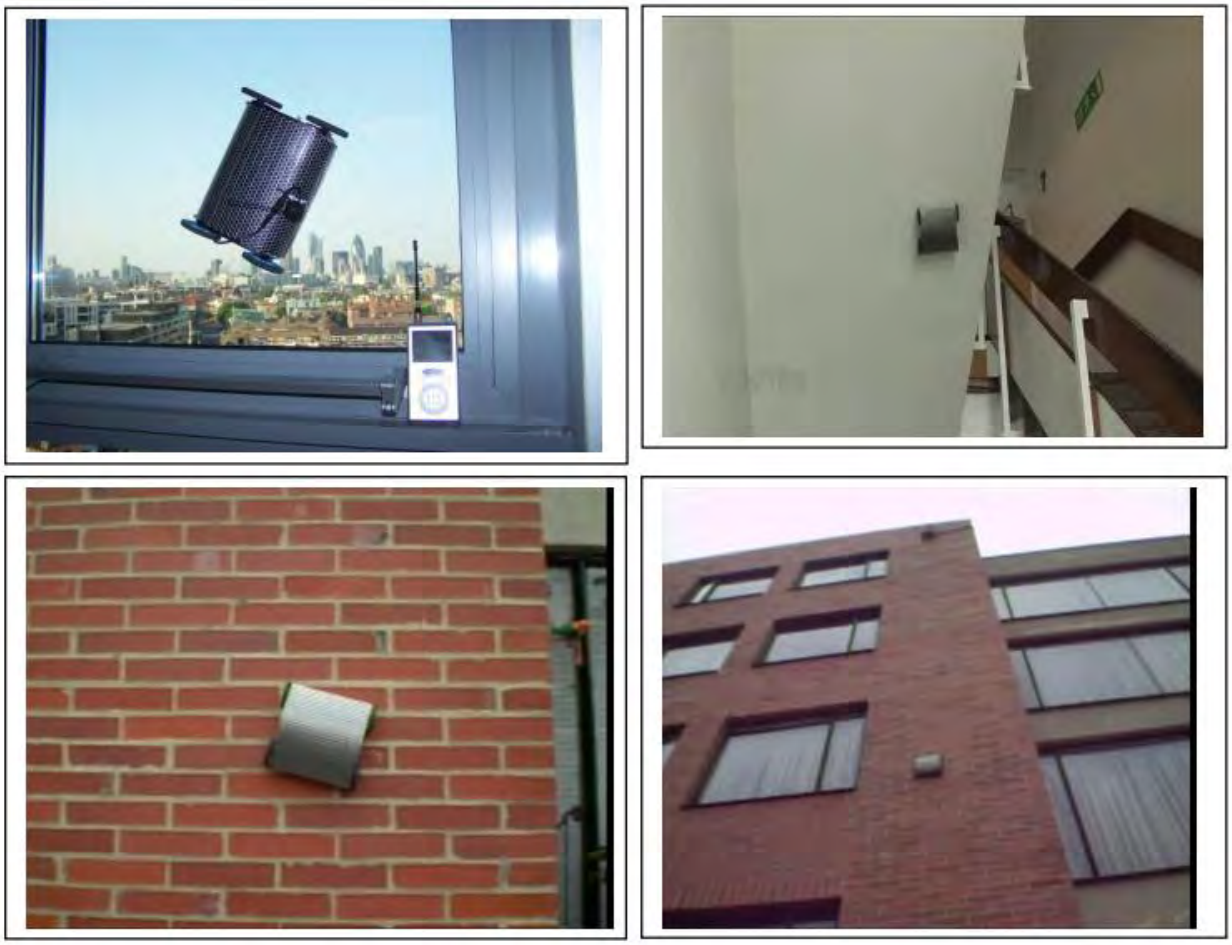


Рис. 1. Робот VORTEX демонструє вміння пересуватися на скляних, бетонних та цегляних поверхнях

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що використання мобільних роботів дійсно дуже ефективне та захищає людей від шкідливих робочих умов. Зараз актуальним є питання вибору параметрів, які потрібно оптимізувати для збільшення корисного навантаження подібних високомобільних роботів, оскільки існує обмеження на можливість пересування поверхнями різних типів та підняття на різні висоти.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Високомобільні роботи призначені для забезпечення доступу до місць огляду габаритних конструкцій та / або об’єктів, розташованих у небезпечних середовищах чи у важкодоступних місцях. Такі роботи застосовують датчики для реалізації відповідних методів НК для виявлення таких дефектів, як тріщини, розшарування та ступінь корозії на сталевих конструкціях. Робототехнічний доступ як прискорює контроль, так і зменшує витрати, усуваючи дороге встановлення захисних конструкцій або підготовку майданчика, щоб оператори отримали змогу вручну здійснити діагностику. Останні розробки в галузі бездротового управління, мобільного зв'язку, вдосконалених технологій акумуляторів та просторового позиціонування тепер надають можливості для створення невеликих мобільних роботів. Їх можна дешево та швидко розгорнути для здійснення контролю на різних ділянках та віддалених об’єктах, отримати вимірювальні дані та проаналізувати їх в реальному часі автоматизовано або оператором, який знаходиться на безпечній відстані. Зокрема, для автоматизації аналізу отриманих роботом даних можуть бути використані нейронні мережі [4].

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку роботів, які могли б заходити всередину заповнених резервуарів для зберігання нафтохімічних або інших небезпечних речовин, щоб оглянути дно та стінки на наявність пор і корозії. Високомобільні роботи можуть піднятися на корпуси кораблів та оглянути сотні метрів зварних швів та інших типів з’єднань. Перспективним є використання даних роботів для перевірки зварних швів всередині резервуарів в атомній промисловості, а також для контролю будівельних конструкцій, таких як дамби та мости на наявність дефектів. Мініатюрні роботи можуть бути використані також для діагностики наземних силових кабелів, для внутрішнього огляду підземних трубопроводів, для підйому на корпуси вітрових турбін щоб оглянути лопаті. Крім того, вони можуть піднятися на крила і фюзеляж літаків, щоб виявити наявність дефектів.

Важливим завданням є розробка механізмів руху робота. Довгий час колесо з активним приводом вважалося найбільш підходящим механізмом руху у порівнянні з повзанням, ковзанням, гусеницями, бігом та ходьбою [5]. Це найбільш енергоефективний спосіб пересування, враховуючи обмеження на енергоефективність автономних роботів. Компактна конструкція завдяки механічній простоті надає найбільший потенціал для мініатюризації. Водночас, оскільки колісна конструкція підходить для проведення контролю переважно на твердих та рівних поверхнях, необхідно розробити системи забезпечення стабільного балансу та рівноваги робота.

ВИСНОВКИ

Ефективне технічне обслуговування має вирішальне значення для всіх видів промисловості. Неруйнівний контроль та технічна діагностика здійснює важливий вплив на експлуатаційні витрати протягом усього життєвого циклу промислового продукту. Використання високомобільних роботів є безальтернативним для неруйнівного контролю в тих місцях, де люди не можуть проводити перевірку з міркувань безпеки. Незважаючи на те, що початкова вартість впровадження роботизованого комплексу вища, ніж ручний контроль, це забезпечить вищу продуктивність, якість та безпеку. Точність результатів контролю набагато вища порівняно з ручним контролем. В умовах Індустрії 4.0 компанії все частіше користуються перевагами автоматизованих і роботизованих досліджень для розвитку виробництва у висококонкурентних галузях.

Високомобільний робот здатен не тільки рухатися по поверхням габаритних об’єктів, але і діставатися важкодоступних місць. Важливим напрямом для подальших досліджень є розробка оптимальних способів кріплення роботів та їх пересування заданим маршрутом. Дані рішення повинні включати не лише механічні та конструкторські розробки, а і системи машинного навчання та інтелектуального аналізу даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Robotic Non-Destructive Inspection / C.Mineo, D. Herbert, M. Morozov, S. G. Pierce. // Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Strathclyde. – 2012.

[2] Small Inspection Vehicles for Non-Destructive Testing Applications / M.Friedrich, L. Gatzoulis, G. Hayward, G. Galbraith. // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2006. – pp. 927–934.

[3] Sattar T. P. ROBOTIC NON DESTRUCTIVE TESTING / T. P. Sattar, H. E. Leon Rodriguez, H. Salman. // International Conference of CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future. – 2011. – №26. – pp. 21.

[4] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

[5] Emmanouilidis C. A mobile robot for automated non-destructive testing of steel plates [Електронний ресурс] / C. Emmanouilidis, V. Spais, K. Hrissagis // Zenon SA, Automation Technologies. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/228694753_A_mobile_robot_for_automated_non-destructive_testing_of_steel_plates.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 004.032.26

К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ДРОНІВ В ЗАВДАННЯХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. У даній роботі наведені різні аспекти застосування дронів в задачах неруйнівного контролю. Проведено огляд конструкції летальних апаратів та вимоги до них. Проаналізовані перспективи використання безпілотників в неруйнівному контролі та їх розвиток

Ключові слова: неруйнівний контроль, дрони, розвиток, перспективи.

ВСТУП

Технічний прогрес - надійна основа теорії і практики робіт в області неруйнівного контролю (НК). Цінність безпілотника проста і зрозуміла - забезпечити візуальний контакт з віддаленим або недоступним об'єктом. За останні роки інтерес до застосування БПЛА не тільки збільшився, але і реалізується в багатьох проектах і програмах. З'являються моделі літальних пристроїв, сконструйованих спеціально для вирішення виробничих завдань. У зв'язку з цим існує ряд вимог, які впливають безпосередньо на якість контролю та отримані результати [1].

Одна з найголовніших переваг використання безпілотних літальних апаратів - економічність. У використанні вони обходяться набагато дешевше, ніж пілотовані апарати, що повністю змінює підхід до дослідження нових ділянок та за меншу вартість дає якісніші результати. Дрони все частіше закуповуються підприємствами з промисловою метою, дозволяючи істотно економити і надаючи при цьому унікальні, цінні і важливі для вирішення конкретних завдань результати.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є проведення аналітичного огляду сучасних вимог до конструкцій дронів, які можуть бути використані в завданнях автоматизованого неруйнівного контролю. На основі огляду можна сформувати перспективи розвитку безпілотних апаратів в якості роботизованих засобів НК у різних галузях промисловості.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні моделі дронів - досить складні системи, бо ці летальні апарати використовуються в якості професійних пристроїв для виявлення дефектів та визначення їх характеристик. З огляду на можливості функціоналу висуваються досить серйозні вимоги до конструкції.

Основною вимогою є гіростабілізація. Технологія гіростабілізації дозволяє дронам літати плавно і без ривків, що важливо в неруйнівному контролі. Гіроскоп повинен працювати швидко, забезпечуючи стабільний політ.

Наступним важливим елементом дрона є акумуляторна батарея. Від її ємності залежить максимальна висота, на яку дрон може піднятися, а також дальність і час польоту.

Залежно від поставлених завдань висуваються різні вимоги до оснащення дрона (корисне навантаження: камера, датчики). Сучасні безпілотники практично завжди оснащені технологією виявлення перешкод і запобігання зіткнень. У зв'язку з цим система використовує один з декількох датчиків для кращого розпізнавання потенційно небезпечних об'єктів: відеосенсор, ультразвуковий, інфрачервоний датчики, лідар, ToF, монокулярний зір.

Типовий безпілотний літальний апарат виготовлений з легких композитних матеріалів, які здатні поглинати вібрацію: це сприяє зниженню ваги корпусу і збільшення маневреності пристрою. Загалом можна сказати, що апарат складається з 2-х частин: самого дрона і його системи управління. Дрон оснащується технологіями навігації та інструментами для проведення НК [2].

«Ніс» безпілотника - це те місце, де розташовані його датчики і навігаційна система. Все інше розміщується в «тілі» пристрою. Завдяки своїм двигунам і пропелерам дрони здатні літати в будь-яких напрямках. Вони отримують дані від контролера польоту і електронних регуляторів швидкості і відповідно до них підлаштовують траєкторію .

Дрони використовують інтегровані контролери та інтелектуальні алгоритми для установки нового стандарту бездротової передачі зображень з високою роздільною здатністю шляхом зниження затримки і збільшення максимального діапазону зв'язку. Чим більше сигналів контролер може обробляти, тим більш універсальним є дрон.

Виконання багатьох завдань НК здійснюється завдяки комбінуванню декількох видів зйомки. Відеозйомка проводиться за допомогою відеокамери, встановленої на безпілотник. Фотозйомка має перевагу над відеозйомкою у вигляді високої роздільної здатності. Тепловізійна зйомка дозволяє вести спостереження в умовах обмеженої видимості і в темний час доби. Поєднання різних видів зйомки дозволяє найбільш повно оцінити стан об'єкта [3].

Всі ми звикли, що дрон - це щось, що зависає або летить в просторі, тому варто звернути увагу на застосування безпілотнків з метою передачі оперативного відеозведення, наприклад, під час інспектування підводної основи моста, дослідження підводних забруднень, виконання пошуково-рятувальних робіт, в розвідці тощо. Поглянути на дрон під іншим кутом зору запропонувала група інженерів з Радгерского університету (США). Їх дрон на ім'я Naviator не просто літає в повітрі, а й вміє мімікрувати в амфібію і здійснювати підводні рейди в відповідності з поставленими завданнями [4].

Безумовно, є ряд проблем, які ще належить вирішити, такі, як здатність обходитися без проводів. Також схемотехніка обміну радіосигналом дрона і оператора в цьому випадку ще до кінця не допрацьована. Одним з можливих рішень проблеми управління є можливість попереднього програмування апарату на вирішення поставлених завдань до занурення. У числі пріоритетних завдань, які ще належить вирішити - поліпшення маневреності, збільшення корисного навантаження і порогової глибини занурення.

Також на сьогоднішній день дрони вже беруть участь в розвідці корисних копалин. Впровадження дронів допомагає знаходити простіші і безпечніші способи розвідки і картографування родовищ корисних копалин. Завдяки

можливостям контролювати обсяги та стан відвалів, вивчати і наносити на карти об'єкти розвідки, відстежувати переміщення і стан обладнання - спектр потенційних сфер застосування дронів на рудниках дуже широкий [5] .

Безпілотні літальні апарати застосовуються також для оперативного отримання інформації про стан магістральних нафтопроводів і території уздовж них, що істотно заощаджує кошти і відкриває нові можливості для безпечної експлуатації трубопровідного транспорту [6].

ВИСНОВКИ

Існує безліч прикладів застосування безпілотних літальних апаратів в різних сферах і з кожним днем їх кількість тільки зростає. Якщо сьогодні інженери можуть використовувати дрона в моделюванні ресурсів, в геофізичних дослідженнях, в контролі вітряних електростанцій, в підводних дослідженнях, то не виключено, що в найближчому майбутньому діапазон можливостей літальних апаратів буде розширено до проведення медичних операцій, польотів в космос з метою контролю орбітальних станцій і інших досить складних завдань.

Ключовим моментом в ефективності результату є якість і технічні параметри обладнання. Важливими параметрами вважаються обмеження, які накладає апаратна частина дрона, так як саме від них залежить практична реалізація запропонованих ідей.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] КУЧИНА А. А. Сільськогосподарські дрони І квадрокоптера / А. А. КУЧИНА, А. В. ПАЙКОВА, К. С. ЕВСТАФЬЕВА. – 2018. – С. 567–570.

[2] Троцюк К. М. Використання інтелектуальних дронів для контролю технічного стану вітряних електростанцій / К. М. Троцюк. – 2020. – С. 333–334.

[3] 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

[4] Филиппенко В. О. Дрони на службі миру / В. О. Филиппенко. // 1. – 2015. – С. 51–59.

[5] Дрони в розвідці корисних копалин [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://zolotodb.ru/article/12024.

[6] Білотілов В. Н. Інноваційна технологія «АКВА-МТМ» інспектування та забезпечення надійності трубопроводів нафтогазових родовищ шельфу з урахуванням стану металу і механічних напружень / В. Н. Білотілов, Л. А. Хуснутдинов. // 36. – 2018. – №4. – С. 193–194.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А. С.

Секція 8.
Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій

УДК 615.472

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВІДЕОКАПСУЛЬНА ЕНДОСКОПІЯ

Анотація. На сьогоднішній день збільшення пухлинних і запальних захворювань тонкої і товстої кишки, складності в пошуку джерела кровотечі, необхідність виявлення поліпів, хвороба Крона потребує більш нових підходів для проведення дослідження шлунково - кишкового тракт. Шлунково - кишковий тракт є однією із найважливіших систем органів людини, так як від неї напряму залежить стабільне функціонування організму. Тому важливо діагностувати та обстежувати шлунково - кишковий тракт своєчасно. Серед сучасних методів діагностики ШКТ: ангіографія, рентгенографія, магнітно-резонансна томографія (МРТ) та комп'ютерна томографія (КТ), а також зондова ендоскопія. Відеокапсульна колоноскопія є альтернативою дослідженню товстої кишки за допомогою колоноскопа і надає можливість вчасно виявити колоректальні захворювання.

Ключові слова: відеокапсульна колоноскопія, шлунково - кишковий тракт, блок-схема, поле зору.

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

За останні роки дослідження шлунково-кишкового тракту виявляють чітку тенденцію до зростання захворюваності органів травлення. Шлунково-кишковий тракт (ШКТ) виконує основну функцію, що забезпечує евакуацію переробленої їжі по кишечнику. В наслідок чого відбувається механічна обробка їжі, змішування її з травними соками, ферментативна обробка, всмоктування поживних речовин. Порушення скорочувальної здатності шлунку і кишечнику, або розлади її координації, лежать в основі або є наслідком багатьох патологічних процесів, часто визначаючи тяжкість стану хворого і результат лікування захворювання [1].

Для дослідження травної системи використовують класичні методи діагностики шлунково – кишкового тракту [2-4]: рентгенологічна діагностика, класична ендоскопія, колоноскопія, комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ), ультра-звукова діагностика (УЗД), хірургічне втручання Але, нажаль, усі ці методи мають свої недоліки такі, як: великий рівень дискомфорту пацієнта, неможливість показати стінки ШКТ на потрібному рівні деталізації, нездатність дістатися до деяких критичних місць, неможливість проводження діагностики дистанційно та етичні аспекти даних процедур [4].

Технологія капсульної ендоскопії може вирішити усі ці проблеми так, як вона є єдиною достатньо ефективною, бездротовою (з можливістю дистанційного обстеження), безболісною діагностикою, метод проведення якої є природнім для людини та не викликає етичних питань. Тому даний метод дослідження ШКТ є найбільш актуальним у сучасних реаліях.

Принцип роботи даного методу полягає у дистанційній передачі інформації (зображень, відео) отриманих капсулою до приймача та далі до персонального комп'ютера (ПК) лікаря, де спеціаліст вже може проаналізувати отримані знімки (рис. 1).

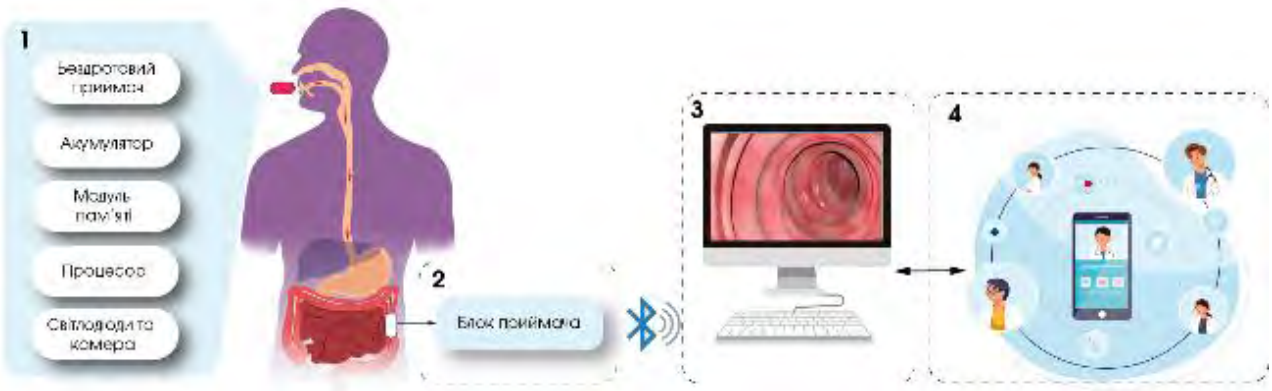


Рисунок 1. Структурна схема принципу проведення капсульної ендоскопії:
1 – капсула ендоскоп, 2 – блок приймача, 3 – персональний комп'ютер, 4 – лікар

Ендоскопічна капсула має автономне джерело енергії. Довжина її становить близько 29–32 мм і діаметром 10-12 мм. Капсулу ковтають запиваючи водою та активують. Поле зору активованої камери складає 145-158 градусів, а частота проведення зйомки залежить від швидкості проходження капсули в кишечнику (від 4 до 35 кадрів в секунду). В капсулі розміщені світлодіоди, камери, модуль пам'яті процесор та бездротовий приймач. Дослідження триває від 5 до 6 годин (максимум 8 годин). Отримані файли знімків за допомогою електромагнітних хвиль через прикріплений на животі антенний електрод передають на блок приймача. Після завершення дослідження фото або відеофайл завантажують на комп'ютер, а далі передають до фахівців для встановлення і опису результатів дослідження. Капсула використовується одноразово та виходить з організму природнім шляхом.

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЛОК-СХЕМА КАПСУЛЬНОЇ ЕНДОСКОПІЇ

В роботі був проведений огляд існуючих інженерних рішень капсульної ендоскопії. Для подальшого аналізу розглянемо функціональну схему капсульної системи ендоскопії з можливістю розширення [5], що показано на рисунку 2. Даний капсульний ендоскоп здатний змінювати свої розміри. Розширена капсула може розгладжувати зморшки кишечника для отримання чіткіших зображень його стінок.

Рисунок 2. Функціональна блок-схема капсульної системи ендоскопії [5]

В основі даної схеми лежать функціональний модуль ендоскопа, модуль функції розширення, та зовнішній пристрій управління. Функціональний

модуль складається з двох блоків: блок датчика зображення, який пропонує функцію зйомки зображення та перетворює зображення в цифровий сигнал, який далі передається на зовнішній пристрій управління за допомого другого блоку функціонального модулю ендоскопа, а саме бездротового передавача.

Модуль функції розширення. Блок приймача здатен отримувати дистанційний сигнал розширення, який надходить з зовнішнього пристрою управління. Функція розширення виконується управлінням реакцією декількох речовин з утворенням газу для розширення зовнішньої оболонки капсули. Коли схема віддаленого приймача отримує сигнал для розширення, розпірний механізм який складається з соленоїда та клапана дозволяє двом відокремленим цим клапаном речовинам вступити в реакцію з виділенням газу.

Зовнішній пристрій управління містить у собі блок передачі, який здатний подавати сигнал для розширення капсули, блок бездротового приймача, який здатен приймати цифрові зображення, які надходять з бездротового передавача, блоку обробки, який передає отримані цифрові зображення до модулю, зберігання даних який зберігає інформацію про отримане зображення, або до модулю відображення, де спостерігач може переглядати зображення травного тракту у режимі реального часу [5].

Принцип роботи та функціональна схема капсульного ендоскопу із запам’ятовуючим пристроєм показано на рис. 3, а також можливістю модифікування капсульного ендоскопу додатковими блоками (наприклад, блоком для перевірки кислотно - лужного балансу) [6].

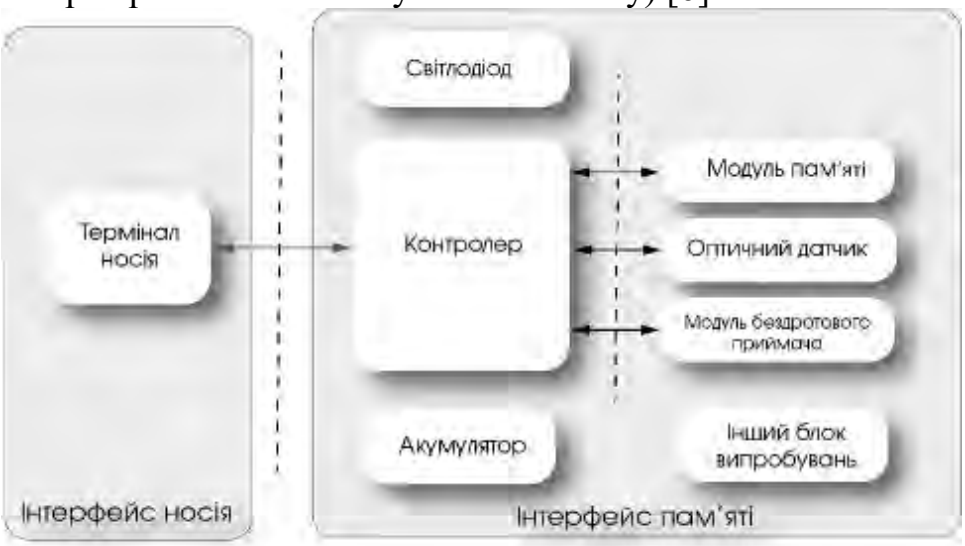


Рисунок 3. Функціональна блок-схема капсульної системи ендоскопії [6]

Розглянемо функції кожного з блоків поетапно. Завданням контролера є взаємодія та керування з терміналом носія та більшістю зображених блоків. Модуль пам’яті містить хоча б одне сховище пам’яті для збереження отриманої інформації, як приклад - флеш-пам'ять. При подачі живлення з акумулятору до контролера, він почне керувати світлодіодом, чіпом оптичного датчика і брати участь у процесі фотографування та одночасно зберігати зображення, які передаються в модуль пам’яті. Контролер одночасно з цим приймає зміни стану

та дані від модулю бездротового прийому, отримані вказівки надані зовні, відповідно до вказівок контролер може змінити режим роботи.

Після того, як процедура буде проведена, а капсула виведена природнім шляхом інтерфейс носія буде підключено до терміналу, де термінал отримає доступ до всіх файлів (зображень). Також в контролер може бути інтегрований додатковий тестовий блок, наприклад пристрій для перевірки кислотно - лужного балансу, який також зможе записувати отримані данні до модулю пам'яті [6].

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено аналіз важливості проблеми дослідження ШКТ та розглянуто основні методи його діагностування. Через велику кількість проблем пов'язаних з цими методами стала очевидна необхідність у пошуку нового метода, який би вирішував ці проблеми. Таким методом виявилася капсульна ендоскопія. Розглянуті існуючі інженерні рішення капсульної ендоскопії, проаналізовані принципи роботи функціональних блок-схем найцікавіших з них. Отримані результати вказують на велику перевагу цього методу діагностування ШКТ над іншими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мельник, С. А., and Ю. В. Гаврилюк. "Аналіз основних електрофізіологічних методів, заснованих на вивченні електричної активності шлунково-кишкового тракту." Перспективні технології та прилади 7 (2015): 91-95.

[2] Шніцер, Роман Іванович, et al. "Сучасні принципи діагностики передракових станів та раку шлунково-кишкового тракту." (2012).

[3] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко, Біофізика: підручник. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589

[4] Инструментальные методы диагностики в гастроэнтерологии : учеб.-метод. пособие / Н. В. Капралов, И. А. Шоломицкая. – Минск : БГМУ, 2015. – 24 с.

[5] Патент Америка US20110245611A1. Expandable capsule endoscope and expandable capsule endoscopy system / Chuen-Tai Yeh, Tah-Yeong Lin, Hsien-Ming Wu.; заявл. 30.03.2010, опубл. 06.10.2011р.

[6] Патент Америка US20080108866A1. Control method for capsule endoscope with memory storage device / Feng-Chuan Lin.; заявл. 06.11.2006, опубл. 08.05.2008р.

Науковий керівник: асистент Яковенко І.О.

УДК 615.849.19

П.В. Білецький, студент гр. ПБ-92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕРАПІЇ ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Анотація. В роботі йдеться про лікування такого дерматологічного захворювання як псоріаз методами низькоінтенсивного лазерного випромінювання. показана їх ефективність в лікуванні, а також представлені розробки, згідно яких процеси даної терапії можна автоматизувати.

Ключові слова: Лазерна терапія, псоріаз, низькоінтенсивне лазерне випромінювання.

ВСТУП

Псоріаз (лускатий лишай) - хронічне дерматологічне захворювання неінфекційного походження. Патологія розвивається на тлі автоімунних і генетичних збоїв, неврологічних та інфекційних хвороб. Захворювання діагностується у представників всіх вікових груп. Псоріаз наразі являється невиліковною хворобою. Отже, його лікування зводиться до двох цілей: боротьби з симптомами – псоріатичними ураженнями різних ділянок шкіри організму, а також до досягнення стійкої та якомога довшої ремісії при псоріазі. Для лікування псоріазу використовують багато різноманітних методів. Перш за все стандартним, базовим методом являється медикаментозне лікування. Використовують препарати як внутрішнього так зовнішнього застосування. Останнім часом проводять чимало клінічних досліджень, де намагаються лікувати хворих псоріазом за допомогою лазеротерапії. Слід зауважити, що згідно результатів різних досліджень дана методика є оправдано ефективною, проте незаслужено рідка в використанні. Отже, є доцільним детальніше вивчення даних методик, з метою розробки нових інтегрованих систем і методів для терапії даного дерматологічного захворювання, про що і йдеться в даній роботі.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Згідно симптомів псоріазу дослідники виділяють 7 різновидів псоріазу. Найчастіше зустрічається лускоподібна (звичайна, вульгарна) форма. Вона супроводжується появою чітко обмежених червоних потовщень, покритих тонкими білими лусочками. Осередки локалізуються переважно на попереку, волосистої частини голови, ліктьових і колінних згинах. На каплевидний псоріаз вказує утворення численних дрібних «пухирців» червонувато-бузкового або фіолетового кольору. Висипання локалізуються в районі стегон, гомілок, плечей, передпліччя, шиї, спини і верхньої частини голови. Так званий «зворотний псоріаз» (псоріаз згинальних поверхонь) вражає тільки ті частини тіла, на яких є складки: пах, зовнішні статеві органи, внутрішню частину стегон і пахвові западини. Ексудативний (пустульозний) лускатий лишай вважається найбільш важкою формою патології. Для нього характерна поява пухирів або бульбашок, наповнених прозорою рідиною. Шкіра навколо них червоніє, помітно набрякає, потовщується та легко відшаровується. Пустульозний псоріаз буває генералізованим і локалізованим. У цьому випадку висип може поширюється по всьому тілу. Псоріатичний артрит (артропатичний псоріаз)

діагностується у 10-15% загального числа хворих. При цьому в патологічний процес втягуються суглобові структури, м'язова і сполучна тканина. Ерітродермічний псоріаз (псоріатична еритродермія) зачіпає велику частину тіла, проявляється лущенням, запаленням і відшаруванням епідермісу. Інші відмінні риси даної форми захворювання - хворобливість шкіри, інтенсивне свербіння, набряклість шкірних покривів і підшкірної клітковини. Псоріатична оніходистрофія супроводжує ураження нігтьових пластин. На нігтях утворюється безліч точкових вдавлень по типу наперстки. Шкіра під ними потовщується (гіперкератоз), набуває сіруватий, брудно-білий або жовтий колір. Лускатий лишай має 3 ступеня тяжкості. Легка зачіпає не більше 3% поверхні тіла, середня - від 3% до 10%, важка охоплює понад 10% шкірних покривів. [1]

Р.Н. Волошин проводив ЛТ у 170 хворих на псоріаз. При цьому використовував лазер λ = 633 нм, з енергетичною щільністю ППМ = 12 мВт/см^2, експозиція 5-7 хв на осередок, 16-20 щоденних процедур. Результат такої терапії відображений в настипних цифрах: в 24% випадків спостерігалося клінічне одужання, значне поліпшення - у 46%, поліпшення - у 28% [2].

Р.С. Маркович і М.П. Маясс у своєму експерименті лікували 40 пацієнтів з опосередкованим псоріазом. В даному випадку лазер λ = 633 нм, проте енергетична щільність менша, ППМ = 0,35 - 0,7 мВт/см^2; час експозиції 0,5-10 хв. Про результат, скажемо наступне: відзначено зменшення або повне зникнення суб'єктивних відчуттів після 4-7 процедур [3].

В.М. Лещенко та співавтори застосовували лазеротерапію при псоріатичній оніходистрофії, з використанням того ж лазера λ = 633 нм при енергетичній щільності ППМ = 1,5-2,5 мВт/см^2. Проводили по 10 сеансів опромінення з часом експозиції 6-8 хв, що призвело до нормалізації капіляроскопічної картини [4].

Більшість дослідників зафіксували недостатність лікувального ефекту локальної лазеротерапії при поширеній формі хвороби. Відповідно що в такому разі необхідний системний вплив на організм. Таким чином появились нові методики, комбінованої лазеротерапії. Дехто намагався комбінувати локальний вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання з опроміненням крові, використовуючи при цьому спеціальні головки та світловоди для внутрішньовенного опромінення крові, а також черезшкірного опромінення крові, зокрема в проекцію ліктьової вени. Інші дослідники намагались комбінувати локальні опромінювання з опроміненням сегментно-рефлекторними зонами. Опромінювали паравертебральні ганглії, крила носа, на зони грудини, верхівку серця і ліву лопаткову область, акупунктурні точки. Ще деякі з дослідників комбінували лазерну терапію з медикаментозним лікуванням. Як результат спостерігається клінічне видужування, або хоча б покращення. А також у хворих, які лікувались за допомогою лазеротерапії, досягнуто стійкої та тривалішої ремісії в порівнянні з тими, хто лікується базовими медикаментозними методами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі дослідженого можна навести кілька факторів, які необхідні для чіткого проходження комбінованої лазеротерапії. Перш за все, враховуючи особливість лазерного випромінювання дуже важливо чітко вказувати довжину хвилі лазера, яким відбувається опромінення, а також його енергетичну щільність, тобто значення потужності з розрахунку на одиницю площі опромінення. Також необхідно забезпечити чітку роботу опромінювання, аби освічувати саме осередки ураження та робити це рівномірно, без «передозування» та з достатньою кількістю енергії.

У багатьох людей хворих на псоріаз, багато уражених осередків знаходяться саме на голові, а точніше на місці волосяного покриву голови. Проаналізувавши різні методи використання лазерного опромінювання для лікування псоріазу, було виявлено потребу в розробці нового приладу, який дозволить опромінювати саме волосяний покрив голови, та саме в місцях уражених хворобою. В результаті аналізу інформації, логічно запропонувати шлемо подібну форму саме для пристрою опромінення.

Опишемо принцип роботи такого приладу. Коли пацієнт приходить до лікаря, той детально оглядає волосяний покрив голови. Зразу ж робить кілька знімків спеціальною камерою здорових та уражених ділянок шкіри, так як цього просить програма приладу. Ці дані будуть використовуватись для калібрування та навчання програми, яка в подальшому при проходженні камерного скринінгу голови буде автоматично розрізняти певну ділянку шкіри, вона здорова чи уражена. Після кількох контрольних кадрів надягаємо шлем і запускаємо скринінг. Шлем містить в собі 2 гребінці, які на кожному своєму кінчику мають і камеру, і лазер. Дані гребінці рухаються по шлемі у напрямку спереду до заду, потім піднімаються на кілька міліметрів, та вертаються у початкове положення, зміщаються, на фіксовану кількість кроків в сторону, і продовжують повздовжній рух. При скінченній кількості проходів ми матимемо відображену в програмі поверхню волосяної частини голови, із зафіксованими на ній осередками ураження. Дані зразу можна зберегти, що допоможе потім детально вивчити та спостерігати за процесом лікування. Цю процедуру необхідно проводити кожен день перед сеансом. Дальше запускаємо процес опромінення, який подібний до процесу скринінгу, проте замість увімкнутих камер, прилад, керуючись програмою, точно буде визначати, які зони, ділянки уражені, і відповідно до цього в перебігу процедури опромінювання буде вмикати чи вимикати відповідний лазер. Згідно даних, внесених в програму, комп’ютер, вираховуючи місце проходження лазера, вмикає або вимикає його з певною розрахованою щільністю опромінювання.

ВИСНОВКИ

В результаті даної роботи було вивчено різні методики інтегрованого лікування псоріазу з використовуванням низькоінтенсивного лазерного випромінювання. На основі існуючих методик, було запропоновано розробку нової системи автоматизованої інтегрованої терапії, яка зможе надалі більш

автоматизувати процеси лікування псоріазу волосяного покриву голови, а відповідно і зменшити похибки при лікуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Псоріаз. Медична енциклопедія. Режим доступу [URL]: https://vrach-russia.ru/med-ehnciklopediya/psoriaz/

[2] Волошин, Р.Н. Лазеротерапия больных псориазом / Р.Н. Волошин // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по применению лазеров в медицине.– М., 1984.– С. 149–156.

[3] Маркович, Р.С. Лазеротерапия больных хроническими дерматозами / Р.С. Маркович, М.П. Маясс //Всесоюзная конференция по применению лазеров в медицине. Тезисы докладов.– М.,1984.– С.151–153.

[4] Лещенко, В.М. Состояние микроциркуляторного русла кожи ногтевого валика пальцев кистей и конъюнктивы глазного яблока у больных псориазом с поражением ногтей в процессе лазеротерапии / В.М. Лещенко [и др.] // Вестник дерматологии.– 1991.– № 4.– С. 21–25.

[5] Москвин, С.В. Комбинированная лазерная терапия больных псориазом С.В. Москвин, С.Р. Утц, Д.А. Шнайдер // Вестник новых медицинских технологий – 2015 – Т. 22, № 4 – С. 99-103.

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

УДК 621 : 616.1

О.С. Білик, студент гр. ПБ-з92мп, Т.Р. Клочко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ КРОВІ

Анотація: В даній роботі розглянуто необхідність автоматизації збори даних при проведенні аналізів та створення лабораторної інформаційної системи. Встановлено необхідні параметри для модернізації типового обладнання для моніторингу аналізів стану крові в лабораторіях швидкої допомоги. Розглянуто принципи роботи приладів, що працюють на основі приведених методів, визначено їх недоліки. Встановлено необхідні етапи для створення типового програмного забезпечення.

Ключові слова: кров, моніторинг, діагностика, аналізи, гематологічний аналіз

ВСТУП

Клініко-діагностичні лабораторії (КДЛ) сьогодні представляють собою медичні відділення, де використання сучасного медичного обладнання та методів проведення аналізів є досить розповсюдженим. У великих медичних центрах спостерігається тенденція значного зростання потоку аналізів, що проводяться протягом усієї доби на одному хворому. В таких умовах значно росте навантаження на персонал лабораторій та постає задача застосування сучасних інформаційних систем, які можуть забезпечити збір даних, збереження та обробку інформації, та модернізацію процесів зв'язку та управління. Головною проблемою КДЛ на даний момент є практично повна відсутність автоматизації обліку здійснення досліджень. В сучасних умовах, коли стрімко розвивається приватна медицина нагальним питанням стала необхідність ефективнішого ведення обліку затрат на здійснення аналізів, розрахунок плати співробітників згідно з поточним навантаженням на виконуючий свої обов'язки медперсонал, створення різних звітів щодо результатів діяльності КДЛ за основу та в цілому. Дані пункти забирають велику кількість часу у персоналу КДЛ.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ

Гематологічні методи дослідження зазвичай є найбільш розповсюдженими видами діагностування, які базуються на мікроскопії. Мікроскопічна техніка потребує особливих навичок, крім того дуже великого значення набуває суб'єктивний фактор. В наш час більшість досліджень має сильне технічне забезпечення у вигляді комп'ютеризованих аналізаторів, в основі яких лежать цифрові відеокамери та програми обробки зображення. Основним завданням на даний момент являється заміна застарілих монокулярних мікроскопів на сучасну мікроскопічну бінокулярну техніку.

Запровадження лабораторної інформаційної системи (ЛІС) в КДЛ є актуальним для всіх лікарень в цілому, в зв’язку з тим, що вона може забезпечити прискорення отримання інформації про здійснені аналізи в реальному часі. Впровадження даної системи надасть можливість автоматизації процесів обрахунку гематологічних аналізів, результати досліджень будуть автоматизовано збережені в базі даних. Кінцевою метою являється створення та

впровадження системи обліку результатів гематологічних аналізів для інформаційних систем КДЛ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для створення аналізу та підрахунку клітин крові використовують гематологічні аналізатори різних рівнів складності. Принципово новим напрямком являється впровадження та широке використання рідинних гематологічних аналізаторів, які виконують повний або частковий аналіз клітин крові та проводять визначення таких показників, як гемоглобін, гематокрит і його еритроцитарні індекси. Перевагами таких способів підрахунку та оцінки формених елементів крові є: невеликий об'єм проби крові для аналізу (12-150 мкл), висока продуктивність (до 100-120 проб в годину), можливість аналізувати великі масиви (до десятків тисяч) клітин, досить велика точність та одночасна відтворюваність понад 20 параметрів крові, представлення результату дослідження у вигляді гістограм або скетограм. Порівняно з візуальними методами автоматичний підрахунок є більш точним методом оцінки концентрації формених елементів. Автоматизація процесів аналізу крові відкрила масу нових можливостей діагностики, однак разом з цим вона має певні обмеження, особливо якщо це стосується морфологічного дослідження клітин [1].

В якості матеріалу для аналізу структури та постановки діагнозу використовується проба венозної чи капілярної крові (Рис. 1).

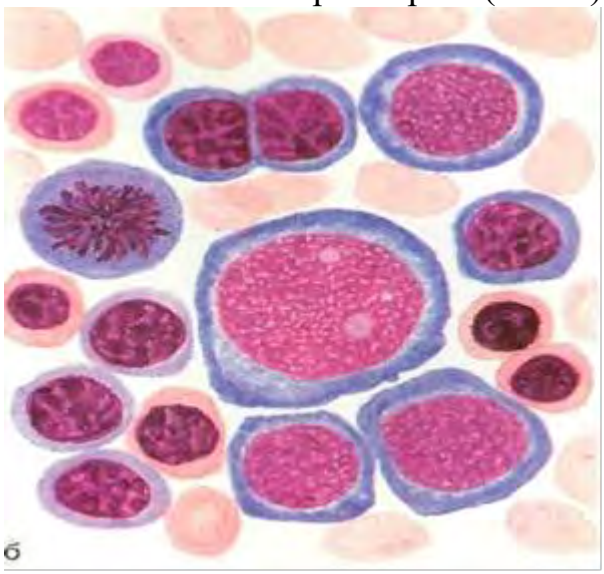


Рисунок 1 Проба крові для аналізу структури та постановки діагнозу [1]

В результаті гематологічного аналізу отримуються наступні дані: кількість, еритроцитів, лейкоцитів, показник гематокриту та концентрація гемоглобіну. Морфологія еритроцитів характеризується за середнім обсягом еритроцита, середнім вмістом гемоглобіну і середньою концентрацією гемоглобіну. Гематокрит залежить від кількості та обсягу еритроцитів у крові і є їх об'ємною фракцією в цільній крові [1,2].

Аналіз клітин традиційно проводиться шляхом підрахунку клітин, які знаходяться в полі зору мікроскопа. Автоматизація гематологічного аналізу

напряму залежить від підходу до диференціювання лейкоцитів. Можна досягти трикомпонентного, п'ятикомпонентного або шестикомпонентного поділу лейкоцитів, в залежності від методу, що використовується. Як правило, більшість відхилень лейкоцитарної формули від нормального розподілу вимагають додаткових візуальних досліджень зразка під мікроскопом. Беручи за основу аналізи тисяч клітин, автоматичні аналізатори можуть представляти результати у вигляді гістограм, розподіляючи клітини за розміром (як правило, у даному вигляді представляється розподіл за розмірами тромбоцитів, еритроцитів і лейкоцитів) [3,4].

Розроблювана система використовується в наступних відділах КДЛ:

- гематологічний;
- клінічної експрес лабораторії.

Гематологічний відділ проводить гематологічні аналізи для всіх категорій хворих, що надходять в лікарню і знаходяться в стаціонарі.

Відділ клінічної експрес лабораторії проводить гематологічні дослідження лише для новоприбулих хворих.

Базовий список завдань для відділення представляє собою наступні пункти:

- забезпечення потрібної кількості гематологічних аналізів для пацієнтів, ціллю яких є максимально визначити виражену активність патологічних процесів;
- постійний контроль якості проведених аналізів;
- впровадження сучасних інформативніших методів залежно від структури лікування хворих для збільшення якісних характеристик діагностики;
- організація та впровадження необхідних заходів, з метою підвищення навичок та кваліфікації персоналу відділення [5,6].

Схема, що відображає основні категорії працівників лабораторії швидкої медичної допомоги (ЛШМД), які мають доступ до підсистеми гематологічних аналізів, представлена на рисунку 2.

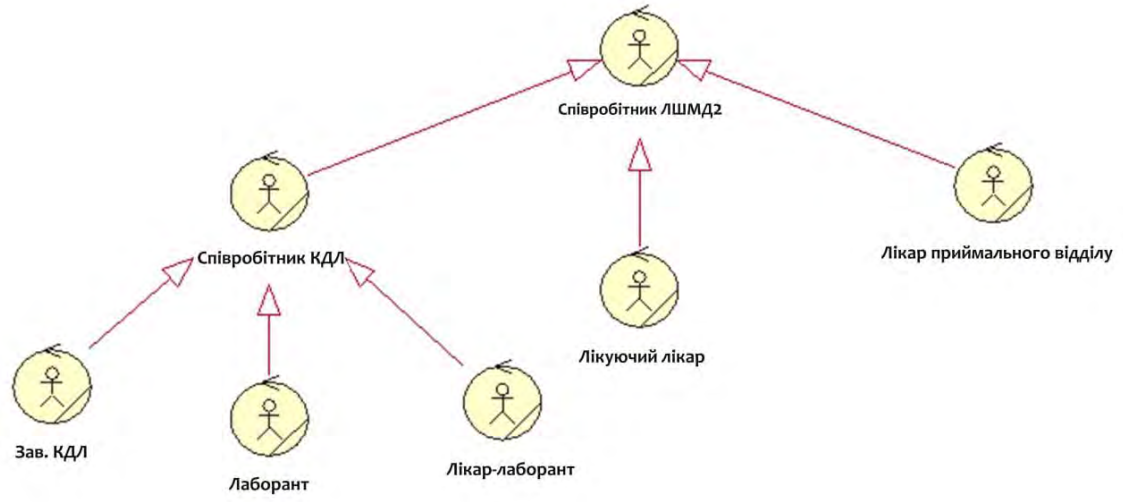


Рисунок 2 Структура основних категорій співробітників, що мають доступ до підсистеми гематологічних аналізів

ВИСНОВКИ

Було розглянуто гематологічний аналіз крові, його специфіку та особливості. Головною проблемою на сьогодні є практично повна відсутність автоматизації обліку здійснення досліджень В результаті визначено, що, використовуючи методологію проектування предметної області потрібно здійснити проектування основних компонентів системи, яка входить в предметну область обліку гематологічних аналізів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Антонов В.С., Волков А.С. Автоматизация гематологического анализа. Интерпретация показателей гемограммы. Часть 3. *Лабораторная служба*. 2014;(2):6-28.

[2] T. Klotchko, Y. Zorko. The precision increase of ultrasound device for object's structures diagnostic / *Збірн. тез допов. XVII Міжнародної науково-техн. конфер. ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*, 15-16 травня 2018 р., м. Київ, ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, С. 133-134.

[3] Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Управление качеством лабораторных исследований. М: Медицина 2001.

[4] Вебстер Дж. Г. Медицинские приборы. Разработка и применение ./ Дж. Г. Вебстер, И.В. Камышко, Д.А. Калашник. – К: Медторг, 2004. – 620 с.

[5] Clinical Case Studies. Interpretation Guide for ABX 5-part Diff Hematology Analyzers. ABX diagnostics..

[6] Патент України № 112935 на корисну модель. МПК7 A61B 5/026. Спосіб вимірювання швидкості кровотоку / Скицюк В.І., Клочко Т.Р., Зорко Є.В., Підтабачний А.І. Заявка № U2016 05212. Пріоритет 13.05.2016. Опубл. 10.01.2017, бюл. № 1/2017.

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

УДК 616-71

О. П. Бочкова, студентка гр. БП-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського”

КЛАСИФІКАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ ТЕХНІКИ ТА МЕТОДИ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація. Використання ультразвукової техніки в сучасній медицині є однією з основних складових діагностичної та терапевтичної практики та застосовується для вирішення широко спектру задач. Медична ультразвукова діагностична (УЗД) техніка дозволяє отримати діагностичної інформації як якісного, так і кількісного характеру. В технічній документації до УЗД техніки є широкий спектр функцій, що забезпечується технічними параметрами, які повинні проходити щорічну періодичну повірку на придатність до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик як під час експлуатації, так і після ремонту. Отже УЗД техніка потребує точного контролю якості параметрів. Тому, метою даної роботи є побудова чіткої класифікації та опис методів метрологічного контролю, що застосовуються в УЗД.

Ключові слова: УЗД, фантом, тканееквівалентні матеріали, ультразвукова діагностична техніка

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

На сьогодні ультразвукова діагностика є найбільш вживаним методом досліджень, який набув застосування у багатьох галузях медицини, що базуються на «озвучуванні» біологічних тканин людини імпульсними ультразвуковими сигналами, їх реєстрації та аналізу сигналів, відбитих від різних тканин органів. За допомогою УЗД є можливість відображення внутрішніх структур людського організму, що дозволяє вимірювати геометричні параметри органу та кількісно оцінити і виміряти швидкість кровотоку в серці і судинах пацієнта [1, 2].

Всі прилади ультразвукової діагностики мають свою класифікацію параметрів, що дозволяє об’єднати їх у відповідні структури для подальшої оцінки технічних вимог роботи та експлуатації. УЗД техніка має широкий спектр функцій, що забезпечується технічними параметрами, які повинні проходити щорічну періодичну повірку на придатність до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик як під час експлуатації, так і після ремонту. Тому, метою даної роботи є розробка чіткої класифікації для метрологічного контролю УЗД з описом методів та засобів реалізації.

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕХНІКИ

Зараз існують різні класифікації, що розмежовують всі види ультразвукового техніки за різними параметрами і категоріями. Найбільш коректно систематизувати УЗД техніку за функціональними можливостями і призначенням, а також за якістю робочих параметрів і технічному рівню самого приладу.

В даній роботі було розроблено класифікацію УЗД техніки (рис.1). Як і кожен прилад, ультразвукова техніка підлягає метрологічній повірці. Розглянуто методи застосування тканееківавалентних фантомів як одного з найбільш простих та точних методів метрологічного контролю.

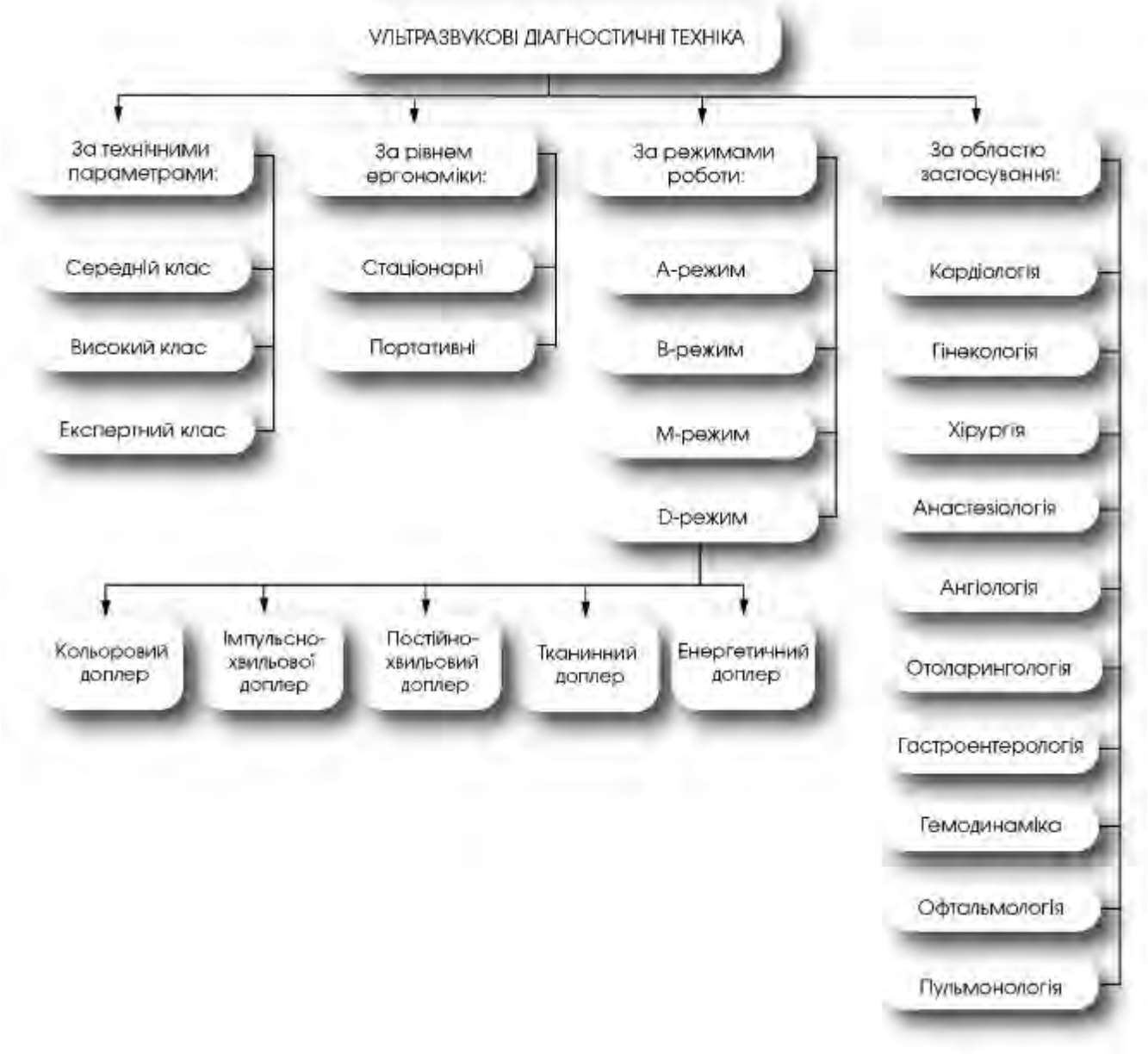


Рис. 1 Класифікація УЗД техніки

В роботі розглянуто класифікацію діагностичних приладів за технічними параметрами, за рівнем ергономіки, режимами роботи та областю застосування [3,4]. Технічний рівень ультразвукової техніки визначає якість візуалізації та роботи УЗД сканера. Основними критеріями є кількість каналів, ступінь чутливості, ціна та роздільна здатність. Медичні установи, згідно своїх потреб, вибирають апаратуру покладаючись на технічні параметри приладів та їх ціновий діапазон.

За рівнем ергономіки ультразвукова діагностична техніка поділяється на стаціонарні та портативні установки [4]. Сучасні портативні сканери за якістю функцій і зображення не поступаються стаціонарним моделям того ж технічного рівня. Основні відмінності полягають в конструктивних особливостях. Так, стаціонарна система має велику область зображення, що відповідно впливає на високу якість візуалізації дрібних деталей. Також, в стаціонарній системі більше портів для підключення датчиків, що дозволяє не

перемикати їх вручну. Портативна техніка, в свою чергу, більш складна в ремонті, але більш транспортабельна [3].

УЗД техніка обирається, керуючись потребами медичного закладу або певного відділення. Режими роботи являються важливим параметром, який обирається згідно того, які цілі покладено на даний прилад. Деякі режими є загальноприйнятими для кожного приладу, специфічні результати обстеження можна отримати лише при використанні певних методів візуалізації [4].

Ультразвукова діагностична техніка поділяється за призначенням. Відповідно області медицини, в якій застосовується техніка, розрізняться датчики, що використовуються та програмне забезпечення, яке оптимізується під певні задачі. Так, техніка, призначена для діагностики кардіології, не придатна для загальних досліджень, а прилади для загальної діагностики не здатні замінити вузькоспеціалізовану техніку [5].

МЕТОДИ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ

Відповідно розробленої класифікації УЗД техніки необхідно забезпечити контроль якості ультразвукових зображень з застосуванням спеціального обладнання або програмного забезпечення. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 2 жовтня 2013 р. № 753 «Про затвердження Технічного регламенту щодо медичних виробів» для кожного медичного виробу, в даному випадку для УЗД техніки, необхідно виконувати контроль технічного стану [6]. Дана процедура включає в себе наступні види випробувань: приймальні, періодичні, випробування на сталість параметрів. Контроль якості зображення в УЗД техніці варто здійснювати з використанням спеціального вимірювального обладнання, яке включає в себе тест-об'єкти (медичний фантом), що дозволяють встановити поперечну роздільну здатність, осьову роздільну здатність, чутливість системи, товщину площині сканування, протяжність мертвої зони, точність вимірювання відстаней, роздільну здатність по товщині і по контрасту, глибину огляду, однорідність зображення [6,7].

Розглянутий метод контролю передбачає використання спеціальних медичних фантомів, які представляють собою штучний об'єкт, що використовується для випробувань медичних приладів. Медичний фантом складається з ткане-еквівалентного матеріалу і має набір мішеней для дослідження того чи іншого впливу та дозволяє імітувати умови проходження ультразвукової хвилі в біологічних тканинах [7].

Контроль якості з використанням фантомів передбачає загальний огляд, випробовування приладу, перевірку техніки на електробезпеку та визначення метрологічних параметрів за допомогою технічних засобів (в даному випадку – фантом). Дана практика дозволяє проводити щоденну перевірку перед початком роботи приладу, що дозволяє виявити деградацію і зношеність елементів на ранніх стадіях.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено повну класифікацію ультразвукової діагностичної техніки та розглянуто засоби для їх метрологічного контролю. Наведений метод контролю якості за допомогою штучних тканееквівалентних фантомів не потребує спеціальної підготовки тестових об'єктів та умов їх транспортування, дозволяє проводити контроль основних параметрів техніки в ході її експлуатації. Використання медичних фантомів дозволяє поліпшити якість обстежень, підвищити точність діагнозів і, як наслідок, ефективність призначеного лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Акустичні медичні прилади: Метод. вказівки до викон. курсового проекту та розрахунково-графічної роботи для студ. напряму підготовки 6.051003- «Приладобудування» програми професійного спрямування «Медичні прилади і системи» /Уклад.: М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко - К.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016.- 176 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25651

[2] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко, Біофізика: підручник. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589

[3] Слюсар В. І. Ультразвукова техніка на порозі третього тисячоліття .// Електроніка: наука, технологія, бізнес. - 1999. - № 5. - С. 50 - 53.

[4] Фізика візуалізації зображень в медицині: в 2-х томах. Том 2. Глава 7. Ультразвукова діагностика: Переклад з англ. / Под ред. С. Вебба. - М .: Світ, 1991. - С. 5 - 104.

[5] Прикладна акустика в медицині: [Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Я. І. Лепіх ; Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. — Одеса: Астропринт, 2005. — 206 с.

[6] Про затвердження Технічного регламенту щодо медичних виробів. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/753-2013-п#Text

[7] Прохоров Д.В. Медичний бізнес: Устаткування для контролю технічного стану та якості візуалізації ультразвукових сканерів. [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://www.doza.ru/docs/ultrasound/ultrasound_phantoms.pdf

Науковий керівник – асистент, Яковенко І. О.

УДК 57.087.1

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Анотація Автоматизована ідентифікація з використанням біометричної аутентифікації має високий рівень захисту, так як оцінює фізичні параметри і характеристики конкретної людини, що робить такий контроль доступу більш надійним. Динамічні біометричні ідентифікатори не можуть бути передані третім особам або бути скопійовані для обходу систем захисту. В даній статті буде розглянуто метод біометричної ідентифікації людини шляхом вимірювання або оцінки фізіологічних характеристик роботи серця за допомогою сигналу фотоплетизмографії та обрано найбільш зручний алгоритм виділення ознак сигналу фотоплетизмограми для подальшого застосування з метою біометричної ідентифікації особи.

Ключові слова : фотоплетизмограма, фоторезистор, пульсометр, біометрія, ідентифікація, сигнал.

ВСТУП

Кожна людина має свої унікальні характеристики, що дозволило використовувати бази біометричних даних для ідентифікації особистості, які поділяються на два покоління: перше (наприклад відбитки пальців, підпис та голос) і друге, яке в свою чергу базується на основі біосигналів (електрокардіограма, енцефалограма, фотоплетізмограма). Параметри другого покоління використовують анатомічну діяльність будь-якого органу людини, що супроводжується певними циклічними змінами й утворює унікальний біометричний сигнал [1,2], що залишається незмінними та який неможливо копіювати, втратити чи замінити. Серед всіх біометричних характеристик фотоплетізмограма (ФПГ) має перевагу, так як отримати її найпростіше, оскільки датчики мають малі габарити, простоту установки, не вимагають використання контактного гелю, додаткових електродів і зовнішніх подразників. Дослідження питання використання сигналів ФПГ для біометричної ідентифікації є особливо актуальним в період пандемії. Оскільки мінімізація втручань в діагностичний процес медичного персоналу, знизить ризик розповсюдження вірусу, шляхом зменшення контакту молодшого медперсоналу з пацієнтами.

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

ФПГ сигнал є відносно новим явищем у біометрії, тому є необхідність у детальному його вивчені та визначенні способів виділення ознак та методів ідентифікації особи за його допомоги. ФПГ відображає особливості гемодинаміки та серцево-судинної системи для кожної людини та дозволяє вимірювати об'ємний пульс крові, який викликаний періодичною зміною кров’яного обсягу при кожному ударі серця, частоту серцебиття, варіабельність серцевого ритму [1]. Точки однієї ітерації ФПГ сигналу B1, B2, B3, B4, B5 (рис.1) називаються основними кодуючими точками об'ємного пульсу, за допомогою яких визначаються параметри пульсової хвилі (період скорочення серця, амплітуда і тривалість анакротичної й дикротичної складових та інші важливі показники, які дозволяють краще оцінити стан і роботу серцево-судинної системи пацієнта).

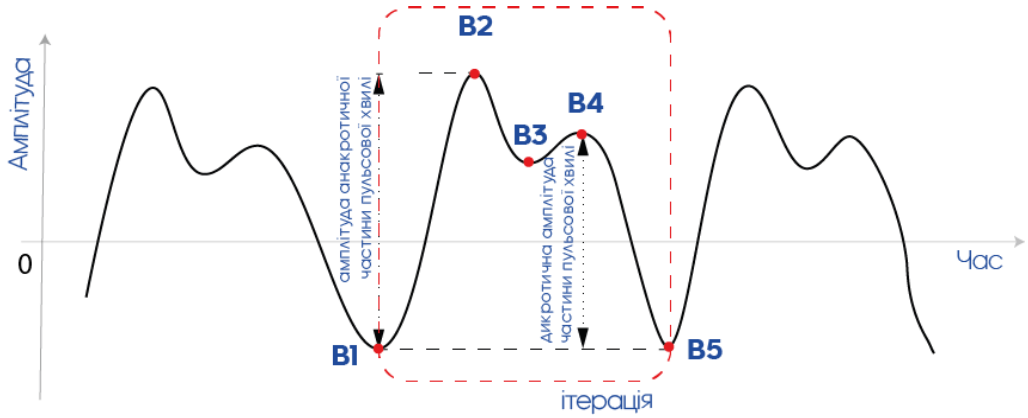


Рисунок 1. Основні кодуючі точки сигналу ФПГ: B1 – початок систолічної фази, B2 – анакротична фаза, B3 - інцизура, B4 – дикротична фаза, B5 – завершення діастолічної фази

Існує проблема в недосконалості методів обробки сигналів ФПГ. Саме тому в цій роботі буде проаналізовані вже існуючі методи обробки такого сигналу та виділено найбільш вдалий для подальших досліджень.

ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Неінвазивна реєстрації сигналу ФПГ відбувається шляхом використання датчиків фотоплетизмограми, в яких фотодетектор (рис.2 а,б) змінює опір залежно від кількості поглиненого світла. Чим більше кров'яний потік, тим більше світла поглинається еритроцитами в тканинах організму, отже менше світла приходить на фотодетектор [2].

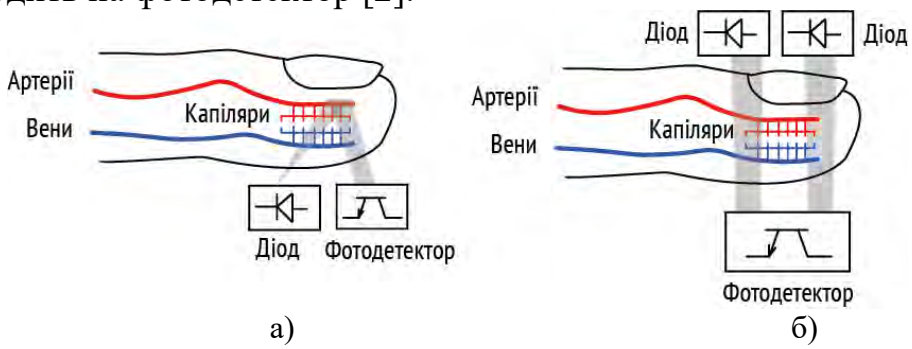


Рисунок 2. Принципова схема реєстрація ФПГ сигналу:
а) у відбитому світлі, б) у світло, що пройшло

Світло, що створюється фотодіодами комутуються з частотою близько 1000 Гц і за допомогою фотоприймача перетворює інтенсивність ослабленого тканинами "червоного" й "інфрачервоного" випромінювання в електричний сигнал. Світлодіоди працюють в межах 660 ± 5 нм (для червоного діапазону) і 940 ± 10 нм (для інфрачервоного діапазону) [3].

Оптимальним рішенням для проведення дослідження є використання датчику MAX86150, який є досить мобільним. Це робить його простим у використанні та легко інтегрованим в автоматизовані системи [4].

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ФПГ СИГНАЛУ

Існує безліч методів, заснованих на опорних точках сигналу ФПГ, де функції витягуються з систолічних та діастолічних піків, дикротичних виїмок,

міжімпульсних інтервалів, амплітуд піків, що мають основний недолік, а саме високу чутливість до шуму й низьку надійність [4].

Наведено деякі існуючі алгоритми розпізнавання ФПГ сигналу. Алгоритм процедури розпізнавання ФПГ сигналу за допомогою пульсометру показано на рис.3.

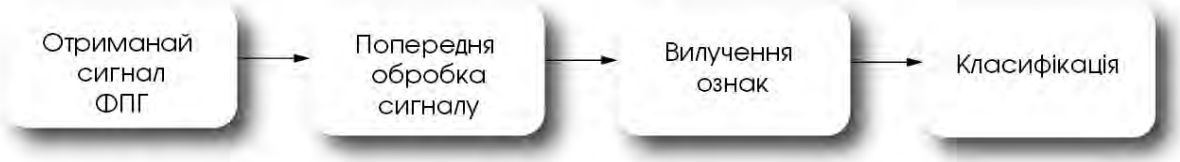


Рисунок 3. Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу за допомогою пульсометру [5]

Необроблені дані ФПГ повторно представляються шляхом сканування зсувного вікна. Остаточні дискримінаційні ознаки генеруються з повторно представлених даних ФПГ. Процедура класифікації виконується за кінцевими ознаками [4]. Схема потоку біометричного розпізнавання ФПГ із використанням запропонованої системи представлена на рис.4.

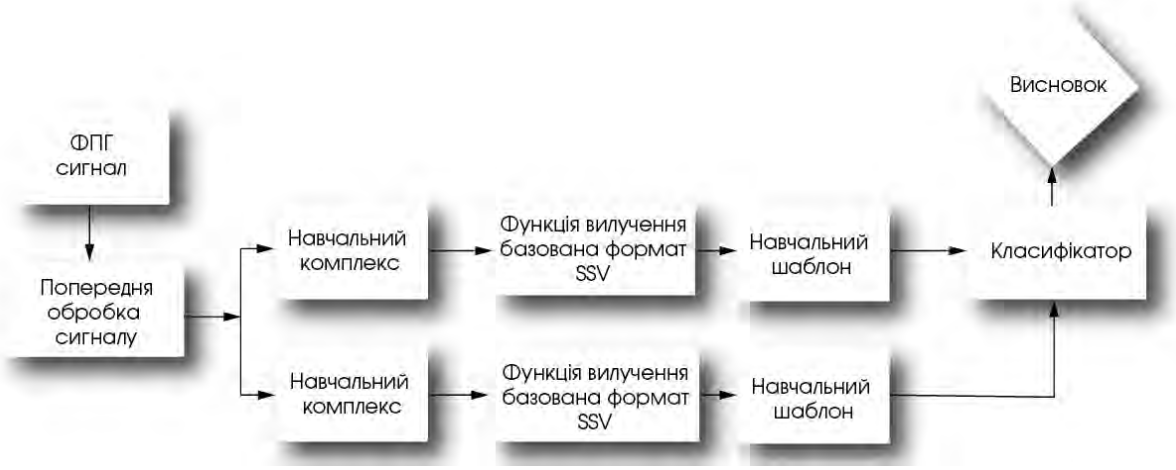


Рисунок 4. Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу [6]

Ще один метод, де попередня обробка спрямована на адаптацію сигналу для зменшення проблем якості, як правило пов'язаних із отриманням та вилученням функцій, шукаючи найбільш репрезентативні характеристики сигналу для створення шаблону предмета. Для реєстрації створюється база даних, де зберігаються шаблони авторизованих користувачів. Для тестування потрібне узгодження, чи має користувач дозвіл, залежно від схожості його шаблону із шаблоном у базі даних [6].

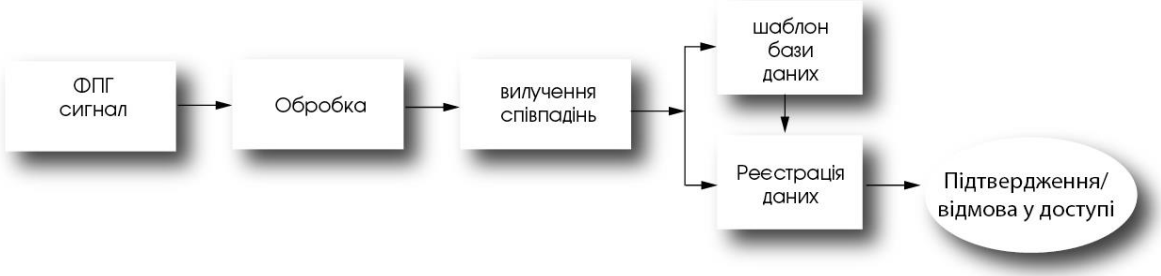


Рисунок 5. Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу [7]

Спочатку з датчику отримуємо сирий сигнал ФПГ. Після цього фільтруємо отриманий сигнал для подальшого його застосування в системах виявлення медичних показників. Потім отримані результати заносимо до біометричної, бази даних [7]. Описані методи є недосконалими та потребують більш детального вивчення та адаптації для використання в медичних системах.

ВИСНОВОК

В даній статті було доведено важливість біометричної ідентифікації людини шляхом вимірювання й оцінки її фізіологічних характеристик. Наведено типи біометричних сигналів, їх відмінності, а також які фізіологічні особливості відносяться до статичних та динамічних біометричних даних. Визначено основні методи дослідження сигналів фотоплетизмограми, а саме: дослідження за допомогою фоторезистора, пульсометра. Отримано амплітуду коливань ФПГ сигналу. Також, розглянуто приклад мобільного датчику, який може реєструвати ФПГ сигнал та аналізувати його в додатку для мобільних пристроїв, що дозволить інтегрувати його в медичні системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Яковенко І. О., Рудий О. Д., Турчина М. О. «Улучшение надежности анализа электрокардиограмм для биометрической личной идентификации». Перспективные технологические и прилади. № 15, с. 125-130, 2019 DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-18

[2] Яковенко І. О., Мартиненко В. І. «Биометрическая идентификация на основе фотоплетизмограмм для автоматизированных медицинских систем». Перспективные технологические и прилади № 15, с. 120-124, 2019 DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-17

[3] Lehrer, P. M. (2007). Biofeedback training to increase heart rate variability. In P. M. Lehrer, R. M. Woolfolk, & W. E. Sime (Eds.). Principles and practice of stress management (3rd ed.). New York: The Guilford Press.

[4] Измерения ЭКГ и ФПГ с помощью MAX86150. Terra electronica. Режим доступу: https://www.terraelectronica.ru/news/5726

[5] І.О. Яковенко, К.П Вонсевич, І.Є. Гребень "Метод виділення ітерацій пульсових хвиль фотоплетизмограми для біометричної ідентифікації", Наукові вісті КПІ : міжнародний науковотехнічний журнал, № 3(2020), С. 73–78, 2020. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209881

[6] Yang, J., Huang, Y., Huang, F., & Yang, G. (2020). Photoplethysmography Biometric Recognition Model Based on Sparse Softmax Vector and k-Nearest Neighbor. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2020, 1–9. doi:10.1155/2020/9653470

[7] Sancho, J., Alesanco, Á., & García, J. (2018). Biometric Authentication Using the PPG: A Long-Term Feasibility Study. Sensors, 18(5), 1525. doi:10.3390/s18051525

Наук. керівник - асистент Яковенко І.О.

УДК 62-791.2

А.А.Варналій, студент гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ МОНІТОРУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ХОЛТЕРА НА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗНАХОДЖЕННЯ АРИТМІЇ

Анотація. Дана робота являє собою розкриття одно із способів вдосконалення холтерівського монітору без суттєвих змін у конструкції. Як результат була подана електрична схема зовнішнього блоку живлення підвищеної ємності. В результаті був отриманий пристрій, що надає необхідні показники ємності, який є дешевшим у виробництві.

Ключові слова: Холтер, моніторування, ЕКГ, живлення.

ВСТУП

Серцево-судинні захворювання - одна з найпоширеніших причин смерті у світі. Згідно статистиці на хвороби серця приходиться близько третини всіх смертей, але завдяки розвитку ранньої діагностики та дослідженню параметрів серця цей показник щорічно зменшується.

Оскільки електрокардіограф є найпростішим і найважливішим інструментом діагностики серцево-судинних захворювань, завдання підвищення якості запису та обробки електрокардіограма (ЕКГ) залишається дуже важливим. Водночас розроблені цифрові технології фільтрації та аналізу ЕКГ, що наразі мають значний розвиток [1].

Холтерівський моніторинг дозволяє довгостроково реєструвати ЕКГ у повсякденному житті пацієнта, і запис повинен виконуватися безперервно протягом 1-2 днів, щоб отримана інформація декодувалась та аналізувалась. Поєднуючи властивості неінвазивності та високої інформативності, можливостей використання в стаціонарних і амбулаторних умовах, холтерівський монітор електрокардіографії (ХМ-ЕКГ) широко використовується для діагностики аритмії, серцевої провідності, діагностики ішемічної хвороби серця та оцінки лікування серцевих захворювань і атеросклерозу [2].

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботі є оцінка ефективності холтерівського моніторування за різний проміжок часу та знаходження шляхів підвищення ефективності роботи ХМ-ЕКГ.

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ І РЕЗУЛЬТАТИ

Наразі важливим і ще не до кінця вирішеним залишається питання щодо оптимальної тривалості моніторування ЕКГ. Згідно з рекомендаціями Американської колегії кардіологів, для виявлення більшості аритмій достатньо 24-годинного періоду [3].

Н. Дагрес вивчав вплив тривалості холтерівського моніторування ЕКГ на ефективність виявлення рецидивів і встановив, що 24-годинне спостереження виявило 59%, 48-годинне - 67%, 72-годинне - 80%, а 4-денній запис - 91% від

того числа пацієнтів, яке було виділено по завершенні всіх 7 днів спостереження [4].

Дослід Ю.Н. Горожанцева проводився на вибірці з 27 людей (14 жінок і 13 чоловіків) середнім віком 42.8+-10.8 протягом 7-ми днів.

Таблиця 1. Результати досліду [5]

Показники	***Супервен-Трикуляр-ні екстрасис-толи***	***Одиночні шлуночкові екстраси-столи***	***Пароксиз-мальна суправен тикуляр-на тахікар-дія***	***Паузи більше 2.5 с***	***АВ бло када 2 -го рівня***	***Парні і групові шлуцнко-вочні екстраси-столи***	***Шлу-ноч-кова тахі-кардія***	***Середне по всім видам***
Ккількість пацієнтів з данним видом аритмії	27	26	15	3	3	13	5	-
Кп1-позитивна кількість пацієнтів	0	2	7	2	1	8	3	-
частка КП1-позитивна кількості пацієнтів	0	7,7	46,7	66,7	33,3	61,5	60	39,4
КП1-негативна кількість пацієнтів	3	15	13	2	3	12	5	-
частка КП1-негативної кількості пацієнтів	11,1	57,7	86,7	66,7	100	92,3	100	73,4
ВО24,%(середня величина)	98,4	71,2	39,8	29,4	55,6	33,2	31,9	51,4
КВ(середня величина)	61,4	106,7	181,8	203,3	147,5	198,5	199	156,9

В кожному випадку тривалість дослідження умовно поділяли на 24-годинні відрізки, потім підраховували в них кількість тих чи інших порушень ритму і провідності. Далі аналізували ступінь неоднорідності виникнення аритмій по днях спостереження на основі відмінностей їх кількості в кожному з добових відрізків, складових час спостереження.

Для кількісної оцінки отриманих результатів використовували такі, запропоновані нами показники:

- КП1- позитивна кількість пацієнтів - число пацієнтів, у яких даний вид аритмії знаходили тільки в один з 24-годинних відрізків, в той час, як протягом інших добових ділянок дана аритмія не виявляється зовсім;

- частка КП1- позитивна кількості пацієнтів - процентна частка пацієнтів, що мають всього одну діагностично значущу добу, від числа всіх пацієнтів, у яких даний вид аритмії був виявлений. Наприклад, аналізований вид аритмії був виявлений у 7 пацієнтів, при цьому у 2 з них аритмія була тільки протягом однієї доби з усього часу спостереження. Тоді частка КП1-позитивного кількості пацієнтів складе 28,5%;

- КП1- негативна кількість пацієнтів - число пацієнтів, у яких даний вид аритмії не реєструвався протягом хоча б однієї доби, але був документований в інші дні;

- частка КП1-негативної кількості пацієнтів - відсоткова частка пацієнтів, що мають хоча б одну добу, вільні від даного виду аритмії, від числа всіх пацієнтів, у яких даний вид аритмії був виявлений. наприклад, вивчається аритмія, виявлена у 8 пацієнтів, при цьому у 5 з них були хоча б одну добу, протягом яких ця аритмія не реєструвалася. Частка КП1-негативного кількості пацієнтів складе 62,5%;

- ВО24 - ймовірність виявлення даного виду аритмії в тому випадку, якщо б дослідження проводилося протягом тільки 24 ч. Значення показника для кожного пацієнта обчислювалося як процентне відношення числа днів, в які аритмія була виявлена, до загальної кількості днів спостереження. Наприклад, якщо аритмія виявлялася тільки в трьох з шести 24-годинних відрізків (6-добове дослідження), то ВО24 складе 50%;

- КВ - коефіцієнт варіації, показник неоднорідності. Розраховувався як відношення стандартного відхилення кількості аритмій в кожен з днів до середньодобовим їх кількості у даного пацієнта [5].

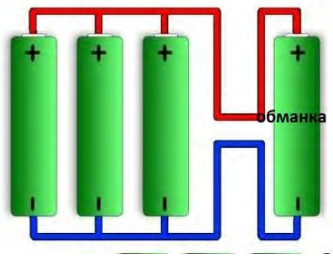
При узагальненні результатів по всіх аналізованих видах аритмій були отримані наступні усереднені показники. Ймовірність виявлення аритмії протягом 24-годинного спостереження склала 51,4% у відношенні до багатоденних досліджень. Частка випадків, коли аритмія виявлялася тільки в одну добу з усього часу спостереження, склала 39,4%. У 73,5% випадків виявлялися хоча б одну добу, коли шукана аритмія повністю була відсутня [5].

За першу добу виявляється тільки трохи більше половини пацієнтів хворих аритмією, 51,4-59%, за другу добу цей відсоток підвищується до 67%, підвищення моніторування до 4-7 діб , дозволило виявити до 91%.

Аналіз наявного у продажу ХМ-ЕКГ показав, що обладнання оснащене батареєю ААА, час роботи від однієї батареї до двох днів. Ємність традиційної батареї сягає 540 mAh.

Для того, щоб продовжити роботу Холтера, була розроблена система живлення підвищеної ємності. За основу було взято тримач 3-х ААА батарейок GNI0061 (Рис.1,а) перероблена на паралельне з'єднання (рис.1,б), для підключення в сам пристрій, було використано змінену болванку-обманку 10440 ААА (Рис.1,в).

а)



б)

в)

Рисунок 1. Тримач GNI0061(а) Схема підключення(б) Болванка-обманка (в)

Данна система дозволяє подовжити тривалість роботи пристрою без кардинальних змін у самій конструкції. Сам блок живлення можна прікріпити на липучку до самого монітора.

ВИСНОВКИ

Підвівши підсумок виконаної роботи, можна сказати, що згідно результатів досліджень для найкращої ефективності потрібно щонайменше 4-доби, що гарантує створена система живлення підвищеної ємності. Вона гарантує таку тривалість роботи пристрою за достатньо низьку ціну компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Яковенко І.О., Клочко Т.Р., Леус О.О. Автоматизация обработки ЭКГ для повышения достоверности диагноза // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 156-163.

[2] Холтерівське та фрагментарне моніторування ЕКГ / Жарінов О.Й., Куць В.О., Сороківський М.С., Черняга-Ройко У.П. - 2010 С. 1-5.

[3] Crawford M.H., Bernstein S.J., Deedwania P.C., et al. Guidelines for Ambulatory Electrocardiography: Executive Summary and Recommendations // Circulation. – 1999. – Vol. 100. - P.886- 893

[4] Dagres N, Kottkamp H, Piorkowski C, Weis S, Arya A, Sommer P, et al. Influence of the duration of Holter monitoring on the detection of arrhythmia recurrences after catheter ablation of atrial fibrillation: implications for patient follow-up. Int J Cardiol. 2010; 139 P. 305–306 .

[5] Диагностические преимущества многосуточного Холтеровского мониторирования электрокардиограммы перед стандартным 24-часовым исследованием / Ю.Н.Горожанцев [Електронний ресурс] https://cyberleninka.ru/article/n/diagnosticheskie-preimuschestva-mnogosutochnogo-holterovskogo-monitorirovaniya-elektrokardiogrammy-pered-standartnym-24-chasovym

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

УДК 621:538.3

Д.В. Гутовський, студент гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ

Анотація Актуальність роботи базується на поширенні застосованих автоматизованих систем у медичній практиці. У роботі обгрунтовано принцип створення зворотного зв'язку відстеження поточного стану пацієнта на підставі аналізу функціональних параметрів сигналів, які створюються системою організму внаслідок взаємодії з медичними впливами лікувально-діагностичного характеру в автоматизованих системах

Ключові слова: медична система, зворотний зв'язок, автоматизація, функціональні параметри, організм, діагностика.

ВСТУП. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Наразі сучасна медицина досить часто використовує в клінічній практиці принципи автоматизації медичних систем, як наприклад, системи інформаційної підтримки роботи клінічної установи, тобто в якості програмно-апаратного комплексу, що працює у складі вузлів мережного обладнання, має специфічні периферійні пристрої, які підключені до терміналів медичного персоналу [1, 2]. Основними функціями подібних систем є лише організація ефективної роботи медичного персоналу, облік пацієнтів, а також прийняття оперативних рішень щодо їх лікування. Таким чином, вони враховують вже отримані результати діагностики, які є підставою для подальших функцій клініки.

Окрім того, автоматизованими медичними системами вважаємо системи фізіотерапевтичного впливу [3], системи штучної підтримки функціональності організму, системи інтенсивної терапії тощо. Медичні системи, що виконують функції або лікування фізичними полями, або діагностики стану захворювання пацієнта, створюють на організм вплив полями різного типу, різного спектрального складу, різної потужності, здебільшого, не мають функції відстежування поточного стану пацієнта, який знаходиться певний час в робочому просторі такого автоматизованого обладнання.

Водночас, фізіологічні параметри такого організму, що знаходиться під впливом випромінювання систем інтенсивної терапії, можуть під час такої процедури змінюватися залежно від типу захворювання, віку, індивідуальних особливостей як реакції на зовнішні подразники [3, 4], що створені активним вихідним випромінюванням діагностичних та/або лікувальних модулів. Зрозуміло, що запобігання негативних наслідків таких змін є необхідним для проведення лікувально-діагностичних процедур у межах встановленого регламенту [5].

Таким чином, постійний моніторинг стану пацієнта під час проведення лікувальних дій підвищує якість медичного обслуговування. Виходячи з цих функцій найбільш застосованих основ побудови автоматизованих медичних приладів, актуальною проблемою сучасного медичного приладобудування є створення принципів побудови автоматизованих систем із врахуванням поточних параметрів стану пацієнта.

Отже, **метою роботи** є створення принципу організації постійного зворотного зв'язку із модулями формування режимів лікувально-діагностичного впливу в загальній автоматизованій системі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений аналіз найбільш вагомих показників фізіологічного стану живого організму, які відповідають за зміни фізичних процесів між клітинними, тканинними та органними структурами цілісної системи під впливом дії активного випромінювання від модулю системи, показав, що зміни в роботі серцево-судинної системи (ССС) точно відображає поточний стан пацієнта. Отже, моніторинг роботи ССС доцільно запропонувати як основний принцип організації зворотного зв'язку практично будь-якої автоматизованої системи медичного призначення. Під цим потрібно розуміти виключно апаратурне рішення побудови такого зворотного зв'язку, спрямованого на зміну або припинення режимів впливу. Наразі існує поняття біологічного зворотного зв'язку, проте воно має на меті стимуляцію власних ресурсів пацієнта на підставі інформаційних даних щодо його стану, але це не забезпечує клінічного результату.

Таким чином, запропоновано використовувати схему зворотного зв'язку багатоканальної автоматизованої системи (див. рис. 1), яка містить сенсори 1,…,N, що реєструють інформаційні сигнали від організму пацієнта БО. Сенсори відповідно поставляють у систему обробки інформацію про поточний стан за параметрами імпульсного сигналу пульсу, електрокардіосигналу тощо.

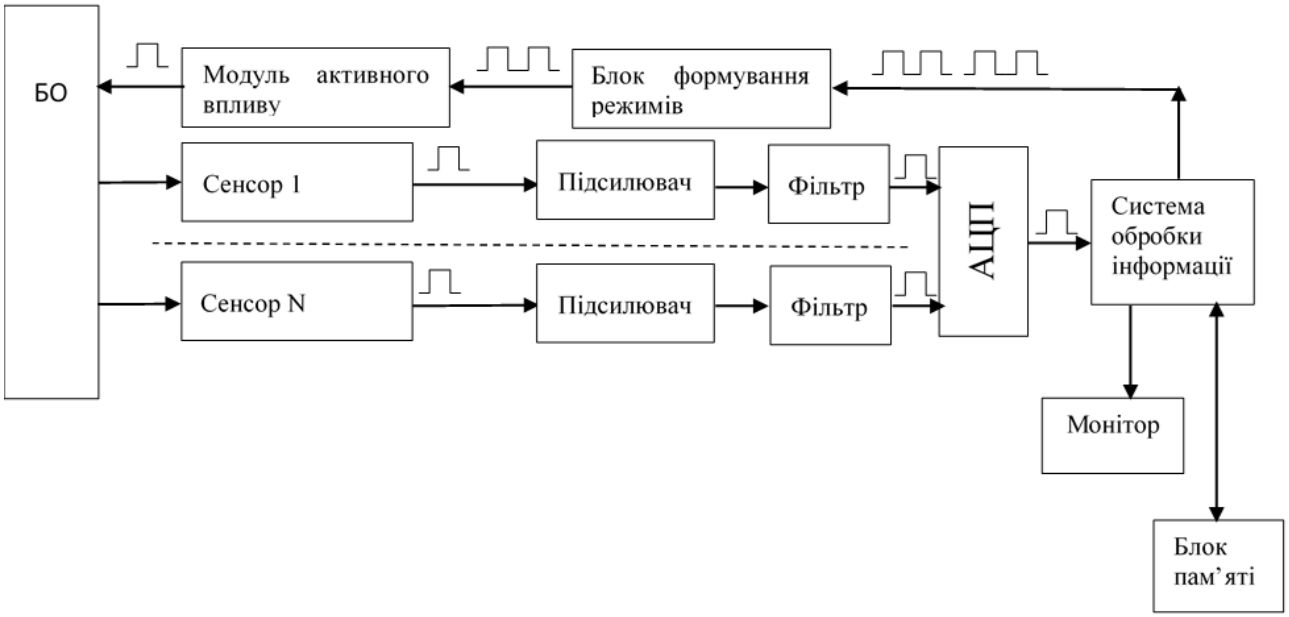


Рисунок 1. Принцип зворотного зв'язку в автоматизованій медичній системі діагностики та лікування. Функціональна схема

Уточнення комплексного інформаційного сигналу системи запропоновано за рахунок реєстрації електромагнітних полів, утворених структурами організму, як реакції на зміни фізіологічного стану пацієнта під час проведення процедури. При цьому система обробки у випадку визначення критичних

відхилень сигналу від нормативного формує сигнали для блоку формування режимів модулю активного впливу на пацієнта.

Таким чином, кількість сенсорів можна варіювати залежно від конкретної ситуації, водночас враховуючи особливості фізіологічного стану, тип захворювання, геофізичні дані клінічної установи, оскільки вони впливають на точність результатів вимірювання.

ВИСНОВКИ

На підставі проведеного аналізу існуючих принципів функціонування автоматизованих медичних систем визначено напрямок дослідження. Запропоновано удосконалення принципу формування зворотного зв'язку системи, яка працює в діагностичному та лікувальному режимах. Система базується на створенні багатофакторного аналізу інформаційних сигналів, що реєструє багатоканальний блок сенсорів для підвищення достовірності результатів впливу на пацієнта. Подальші дослідження у цьому напрямку стосуються створення алгоритмів роботи автоматизованої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] В.О. Юхимець, В.В. Куц, О.Л. Мельник, та О.С. Лісневич. Автоматизована медична інформаційна система: технічні вимоги та особливості впровадження в клініці. Режим доступу: http://www.ifp.kiev.ua/ftp1/original/2013/MIC.pdf

[2] В.С. Симанков, та А.А. Халафян. Системный анализ и современные информационные технологии в медицинских системах поддержки принятия решений. Москва : ООО «БиномПресс», 2012. – 362 с.

[3] О.П. Яненко, В.П. Куценко, та С.М. Перегудов. Електронна апаратура лікувально-діагностичних технологій : навчальний посібник. Донецьк : ІПШІ «Наука і освіта», 2011. – 212 с.

[4] Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, та Т.Р. Клочко. Польові структури біотехнічних систем: монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 384 с.

[5] Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, та Т.Р. Клочко. Інформаційні технології діагностики стану біотехнічних об'єктів : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», ВПК "Політехніка", 2017. – 344 с., іл.

[6] Gay, V. and Leijdekkers, P. (2007), A health monitoring system using smart phones and wearable sensors. International Journal of ARM, 8(2), 29–35.

[7] Yuriy Kurylyak, Francesco Lamonaca and Domenico Grimaldi (2012). Smartphone-Based Photoplethysmogram Measurement. Department of Electronics, Computer and System Sciences, University of Calabria, Rende – CS, Italy.

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

УДК 615.84

І.О. Дупляк, студент гр. ПБ-82, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ

Анотація. Запропоновано та досліджено автоматизовану систему ультразвукової терапії (АСУТ), яка використовує направлену дію ультразвуку на біологічні тканин (БТ) , стимулюючи їх. Автоматизована система забезпечує контролю вихідних параметрів ультразвукового випромінювача (УЗВ) – інтенсивності та тиску ультразвуку в зоні акустичного контакту з біологічною тканиною і забезпечена можливістю діагностики стану біосередовища за параметрами: температури, пульсу, артеріального тиску під час процедури і забезпечена зворотнім зв'язком для оцінки ефективності терапевтичного впливу. Запропонована структура схема та вдосконалений принцип побудови автоматизованої системи.

Ключові слова : автоматизована система, ультразвукова терапія, стимуляція та терапія біологічних тканин.

ВСТУП

У наш час з'явився великий попит на пристрої поширення інформації, такі як комп'ютер і смартфон, але користуючись ними, людина не помічає, як її опорно-рухова система відвикає від звичних навантажень і навіть найменша фізична активність може призвести до травми. Для лікування ушкоджень, як м'яких тканин людини, так і кісток, широкого розповсюдження отримали системи ультразвукової терапії, які можуть частково або повністю усунути ці проблеми [1]. Також ці системи використовуються у косметичній галузі для лікування шкіри та корекції фігури [2]. Ультразвукова терапія використовує з лікувальною метою механічні коливань хвиль, частоти яких знаходяться в межах (2·104 – 1010) Гц. Для генерування ультразвукових (УЗ) хвиль, використовують УЗ – випромінювач [3]. Але найефективнішими є автоматизовані системи ультразвукової терапії з вбудованою експрес-діагностикою, про які в подальшому і буде йти мова [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ

Проведемо огляд діючих апаратів та систем ультразвукової терапії.

У фізіотерапевтичних кабінетах та відділеннях, де проводиться ультразвукова терапія, можна спостерігати і відчути на собі дію різних ультразвукових терапевтичних систем. До сучасніших можна віднести такі апарати: «МИТ – 11» (НМЦ «Медінтех»), «УЗТ – 13.01 Ф-R» («Радмір») і «Sonic – Stimu Pro UT1041» («Біомед») [5]. Всі апарати, що було названо, належать до українського ринку виробництва.

Зазвичай апарати працюють в одному з двох режимів: імпульсному або безперервному при трьох основних частотних діапазонах: 22 – 44 кГц, 800 – 900 кГц і близько 3000 кГц. Щодо впливу на організм, то він може бути як загальним (вплив на всі органи і системи організму), так і місцевим: точковим або площинним.

Новітні УЗ – апарати, наприклад випущені компанією «BTL Medical technologies», все частіше відходять від стаціонарного методу установки і за цим критерієм поділяються на портативні, пересувні і комбіновані (ті, що можуть закріплюватись десь або бути доволі мобільними) [6].

Основним критерієм, що невпинно розвивається в наслідок вдосконалення технологій, є методи управління приладами, що, в свою чергу, мають такі різновиди:

- метод комп'ютерного управління;
- метод мікропроцесорного управління;
- метод мікроконтроллерного керування;
- комбіновані методи.

Запропонована загальна класифікація представлена детально на рис. 1.

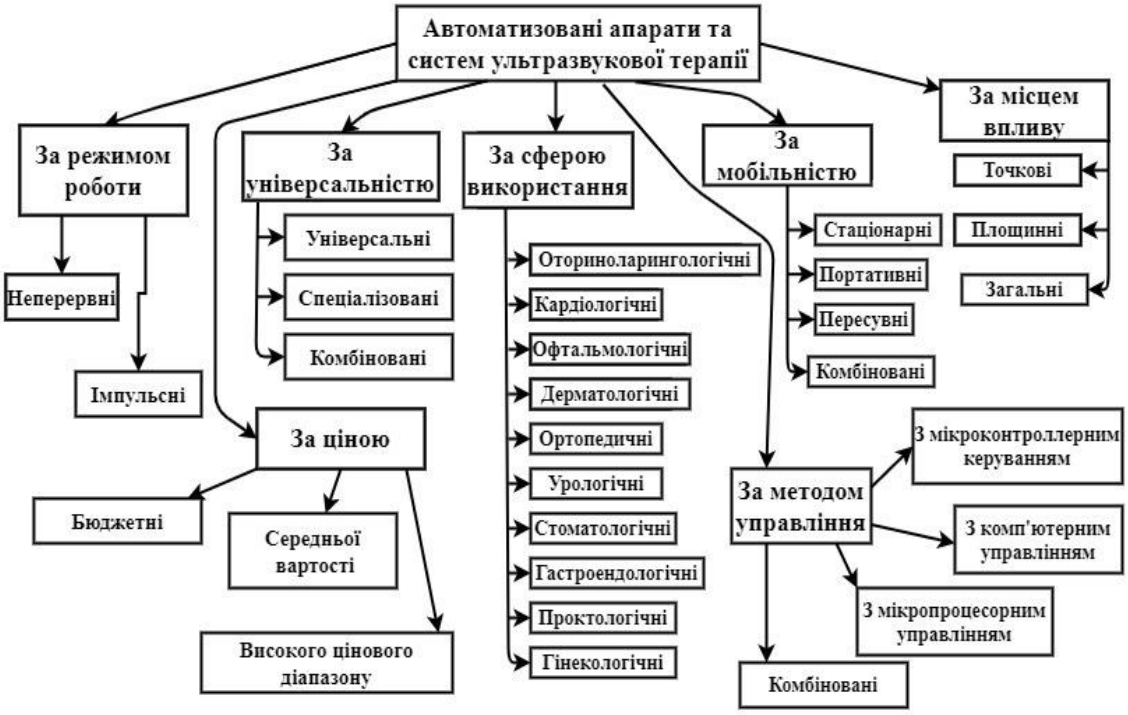


Рис. 1. Класифікація автоматизованих апаратів та систем ультразвукової терапії

Нами спільно з НТЦ «Медінтех» була розроблена автоматизована система ультразвукової терапії, для якої характерні наступні класифікаційні особливості: декілька імпульсних режимів, є доволі коштовним, за універсальністю і мобільністю являється комбінованим, використовується для різного місця впливу і у всіх сферах, що були представлені на схемі (потрібно використовувати різну форму ультразвукових випромінювачів) і управляється за допомогою мікропроцесора.

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ

Системи ультразвукової терапії не можуть обійтись без застосування принципів адаптивного контролю стану біологічної тканини. Такі системи, а в особливості, автоматизовані ультразвукові системи терапії з контролем параметрів біологічної тканини необхідні в сучасній медичної практики [7].

Основною задачею розробки такої системи ультразвукової терапії з контролем параметрів біосередовища є суттєве розширення функціональних можливостей за рахунок використання системи температурного контролю, накопичення та зняття необхідної для діагностики інформації, за допомогою

різних датчиків. Забезпечення допустимого рівня безпеки та ефективного використання терапевтичних процедур .

Спроектовану нами автоматизовану систему ультразвукової терапії біологічних тканин (БТ) з діагностикою температур і тиску можна умовно поділити на дві основні частини:

1) контур генератора, до якого входять – блок фіксованих частот, варіатор частоти і фази, блок сигналів для електростимуляції, блоки керування, контролю і індикації, комутації, низькочастотних коливань і підсилювач потужності;

2) вимірювальні датчики і випромінювачі – вимірювачі коливань, напруги, ультразвуковий випромінювач, два п'єзоелектричних ультразвукових випромінювача, три тензодатчика і три датчика тиску.

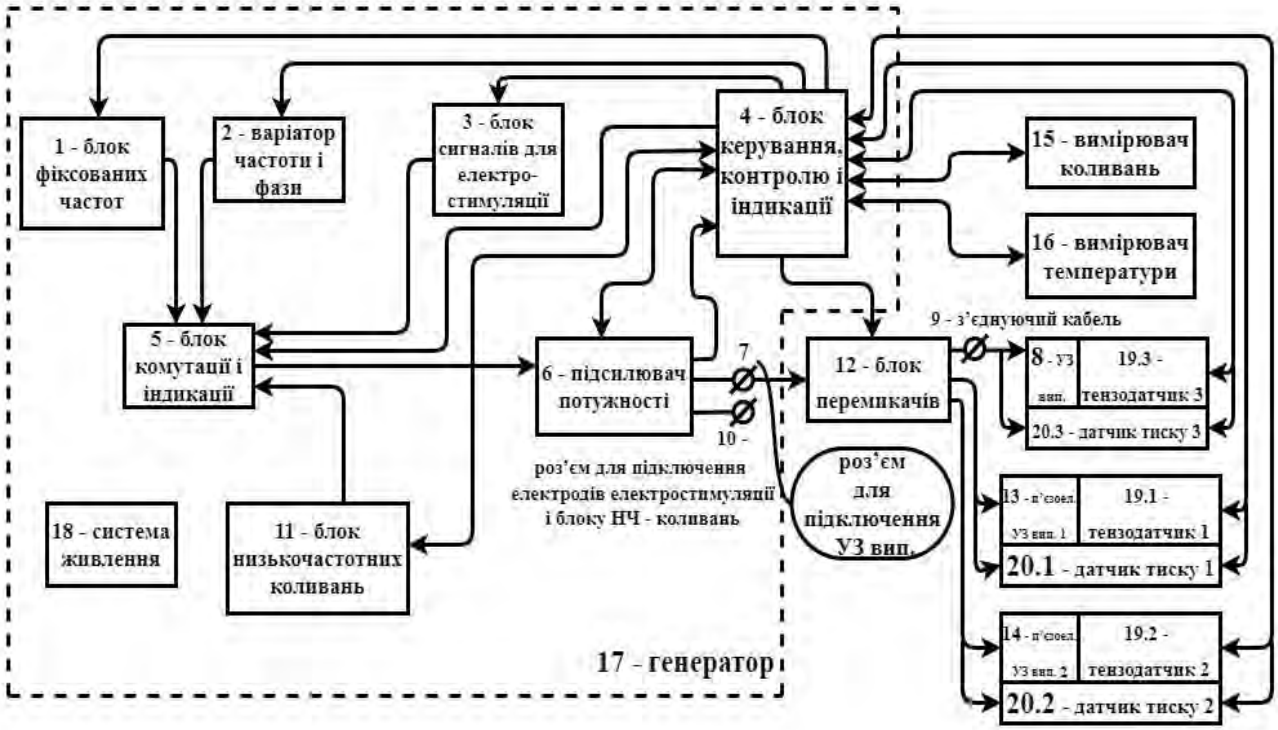


Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи ультразвукової терапії

В АСУТ суттєво зменшений головний недолік попередніх апаратів, а саме низька точність, і майже відсутній людський фактор при проведенні процедури, так як система має зворотній зв'язок з тензодатчиків, датчиків температури і тиску, який автоматично підлаштовує вплив без участі фізіотерапевта.

На рис. 2 представлена структурна схема автоматизованої системи ультразвукової терапії. Всі функціональні елементи з'єднані з блоком керування, контролю й індикації, а елементи зчитування інформації мають з ним зворотній зв'язок. Цей блок є основою складовою автоматизації даної системи, так як всі дані оброблюються ним, і саме цей блок встановлює параметри впливу на пацієнта.

Основною перевагою розробленої системи АСУТ є застосування більшої кількості різноманітних вимірювачів: тензодатчиків, датчики тиску, реєстраторів температури, пульсу та параметрів серцево-судинної системи. Всі

вимірювальні перетворювачі, знаходяться на робочій поверхні ультразвукових (УЗ) випромінювачів, що в свою чергу мають контакт з поверхнею тіла пацієнта.

ВИСНОВКИ

Розроблена автоматизована система ультразвукової терапії біологічних тканин (БТ) з контролем температури є ефективною адаптивною системою, бо майже виключає людський вплив на хід процедури та підвищує точність проведення процедури із забезпеченням біотропного зворотнього зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] 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. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589

[2] 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

[3] М. Ф. Терещенко, А. Ю. Кравченко, М. В. Чухраєв, А. Ю. Курлянцева, "Вплив ультразвуку терапевтичних інтенсивностей на кластерну структуру дистильованої води", Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування, №51(1), с. 126-131, 2016.

[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. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467

[5] Дорощук, І. А. Автоматизована система стимуляції і діагностики біологічних тканин / Дорощук І. А., Терещенко М. Ф. // 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. 344–347.

[6] A. V. Kyrylova, M. F. Tereshchenko, H. S. Tymchyk, V. Yu. Rudyk, «Alhorytm avtomatyzovanoho otsiniuvannia vplyvu ultrazvuku na biolohichnu tkanynu», Visnyk of NTUU «KPI». Series Instrument Making, vol. 5, pp. 98-102, 2013

[7] 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.

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.

УДК 615.47

А.Г. Карпушева, студент гр. ПБ-92мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЇ МЕДИЦИНИ

Анотація. Проаналізовано дію лазерного випромінювання в терапевтичному діапазоні, а саме при малій потужності випромінювача. Досліджені тенденції розвитку галузі створення нових апаратів та приведена їх класифікація. Розглянуто переваги використання лазерних апаратів в терапії в порівнянні з іншими апаратами. Розроблено покращену структурну схему автоматизованого системи лазерної медицини (АСЛМ).

Ключові слова: лазерне випромінювання, лазерна терапія, автоматизовані терапевтичні апарати.

ВСТУП

Автоматизовані системи і апарати для лазерної терапії належать до числа нових в медицині пристроїв, поява яких пов'язана з технологічними розробками в області автоматизації, оптичної фізики, біоінженерії та фізіології. Будучи результатом інтеграції декількох сфер науки, лазерні апарати показують високу ефективність в лікуванні декількох сотень захворювань.

У боротьбі з інфекційними захворюваннями, хворобами серця і судин, органами дихання, травлення, ендокринних і сечостатевих систем досягаються позитивні результати завдяки комплексному впливу світла, тепла, резонансного зворотного зв'язку в тандемі з гнучкістю оздоровчих програм і точним доступам до внутрішніх органів. На сьогоднішній день всі галузі медицини освоюють можливості лазерного впливу на організм [1].

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

На відміну від інших терапевтичних апаратів, автоматизовані апарати для лазерної медицини відрізняється унікальним поєднанням глибини проникнення, потужності і площі покриття, а також впливають точковим чином на уражені зони завдяки направленому, вузькому променю. Лікування лазером абсолютно безпечно і унікальне за своєю природою. Світло, яке поглинається, при впливі низькими потужностями(терапевтичний діапазон, не завдає жодної шкоди клітинам, викликаючи їх біохімічну стимуляцію, в результаті природні сили організму мобілізуються і включаються механізми саморегуляції. Лазерний промінь не порушує поверхню шкіри, а сама процедура є безболісною [2].

Основна перевага приладів цього класу полягає в потужній резонансно-стимулюючій дії на клітинний імунітет, периферійне кровопостачання і тонус біологічних тканин, тепловому і бактерицидному ефектах. Дана категорія автоматизованих систем досить різноманітна і представлена десятками приладів та систем, що генерують різні типи випромінювання в декількох десятків довжин хвиль спектра [3].

Розвиток напрямку автоматизації, в свою чергу, мінімізує 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 неналежними медичним втручанням

Автоматизовані апарати та системи можна поділити по характеру використання інформації, методу управління, числу управляючих величин та за зміною по часу

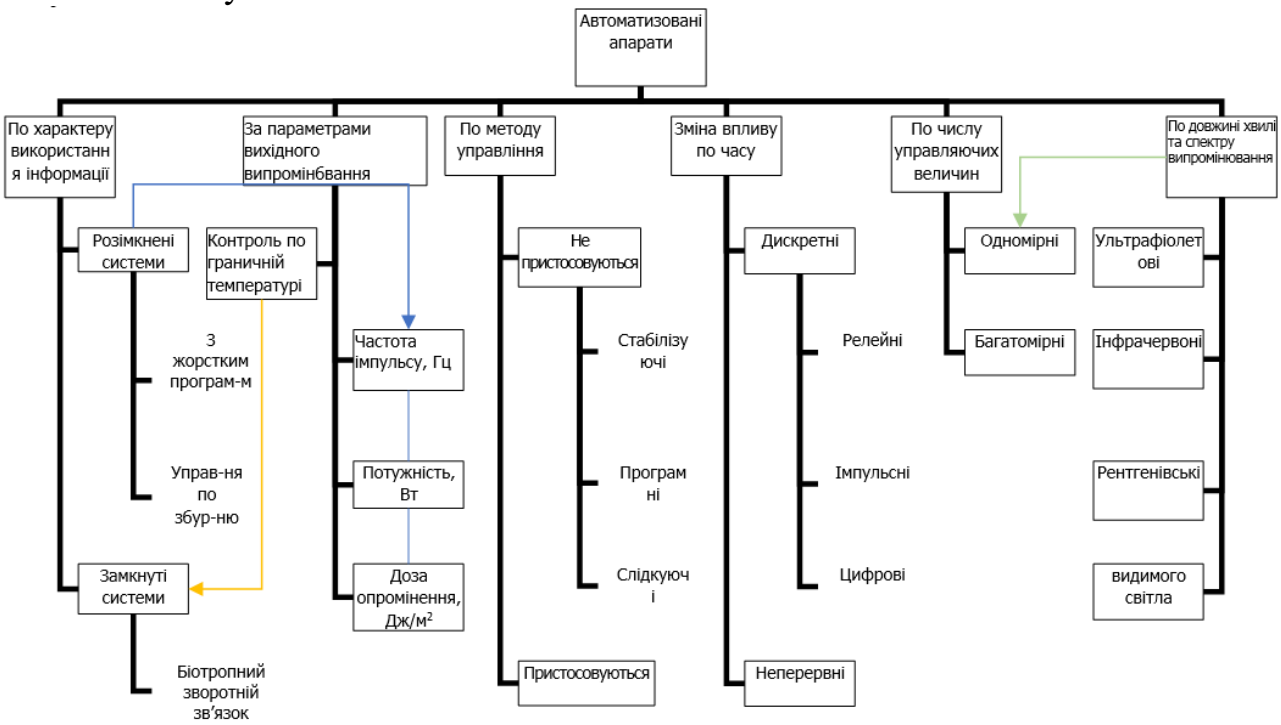


Рисунок 1. Класифікація автоматизованих апаратів та систем лазерної медицини

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА АСЛТ

Нами спільно з підприємством «Фотоніка плюс» була досліджена та випробувані робочі режими структурної схеми АСЛТ(рис.2).

Серед переліку переваг системи варто звернути увагу на автоматизацію через підтримання нормованих значень потужності лазерного променя протягом терапевтичного процесу, а також автоматичну стоп-систему, що за умови фіксування понаднормових показників потужності корегує останні [6].

Даний варіант реалізації, що був розглянутий мною в попередніх працях являє собою автоматизовану систему лазерної терапії, матеріальною базою для якої є мікроконтролери з додатковим контролем по оптичній потужності та температурі та потужні фабричні лазерні діоди [7].

Програмування відбувається шляхом запису команд, що управляють функціонуванням мікроконтролера до накопичувача Flash-пам'яті. Функцію зберігання даних під час процесу безпосередньо-виконання команд (наприклад, налаштування потужності випромінювання). Елементом живлення виступає внутрішній генератор з зовнішнім кварцовим резонатором.

Описані вище компоненти в поєднанні спричиняють синергетичний ефект, що полягає у стабільній роботі приладу з встановленими значеннями потужності лазерного випромінювання та контролі параметрів оптичного волокна протягом всієї процедури. Такая стабілізація і є основною перевагою описаного приладу, оскільки в разі коливань потужності за межами нормованих показників відбувається її юстирування.

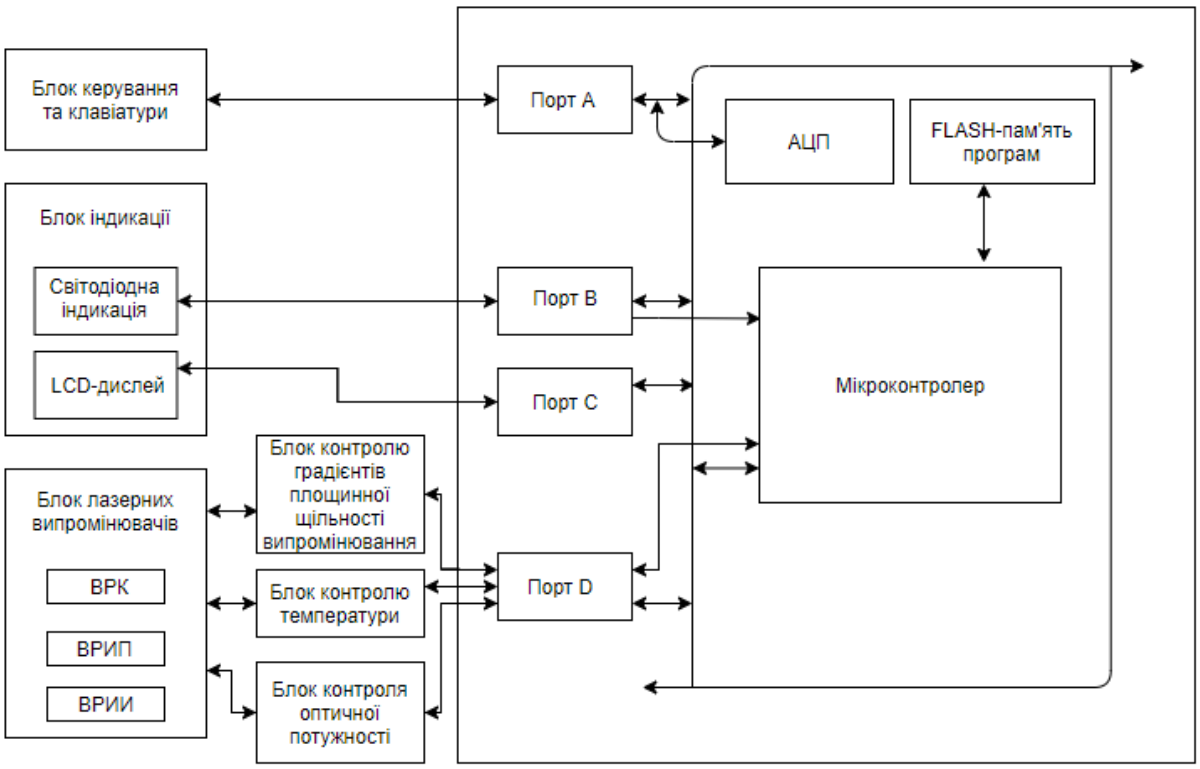


Рис.2 Структурна схема автоматизованої системи лазерної терапії

Алгоритм роботи приладу наступний:

Блок живлення створює тактовий сигнал, на основі якого формуються другорядні сигнали, які слугують для тактування всіх модулів і блоків мікроконтролеру. Сигнали з широко-імпульсною модуляцією використані для регуляції потужності випромінювання та модуляції, в той час як контроль дози лазерного випромінювання забезпечується зміною потужності. Генерація лазерного випромінювання здійснюється за допомогою напівпровідникових лазерних модулів розміщених в змінних рукоятках типу «ВРВ 50» з можливістю генерації 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 [6].

ВИСНОВОК

З метою вирішення проблем надмірного оперативного втручання в медичні процедури, а такою задля зменшення статистичної похибки на “людський фактор”, через автоматизацію значного спектру медичних процедур (зокрема в лазерній терапії та хірургії) – був розроблений альтернативний принцип та структурна схема автоматизованої системи лазерної терапії. Основною перевагою схеми, та реалізацією автоматизації є блоки контролю температури, градієнта площинної щільності випромінювання та оптичної потужності, що дає змогу статистично зменшити долю людського фактору в переліку можливих помилок під час медичних процедур, завдяки обладнанню системи оптичними датчиками та блоками скринінгу температур [7]. Виходячи з останнього, додатковою перевагою є наявність контролю температурних

параметрів зони впливу лазерного випромінювання. Найбільш ефективними, з нашої точки зору, є АСЛТ універсальної дії з можливістю комплексного використання діючих факторів та полів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена // *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування.* - 2014. - Вип. 47. - С. 156-162.

[2] 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 Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування.* - 2015. - Вип. 49. - С. 153-158.

[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. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227

[4] 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.

[5] Шмендель, О. Г. Процеси змін градієнтів температур в біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання / О. Г. Шмендель, І. А. Данилюк, М. Ф. Терещенко // *XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*, 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 337–340. Режим доступу: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28142/

[6] 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.

[7] Карпушева, А. Г. Автоматизована система лазерної терапії / А. Г. Карпушева, М. Ф. Терещенко // *XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*, 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 196–199.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

УДК 616-71

А.Д. Комарова, студентка гр. ПБз-92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

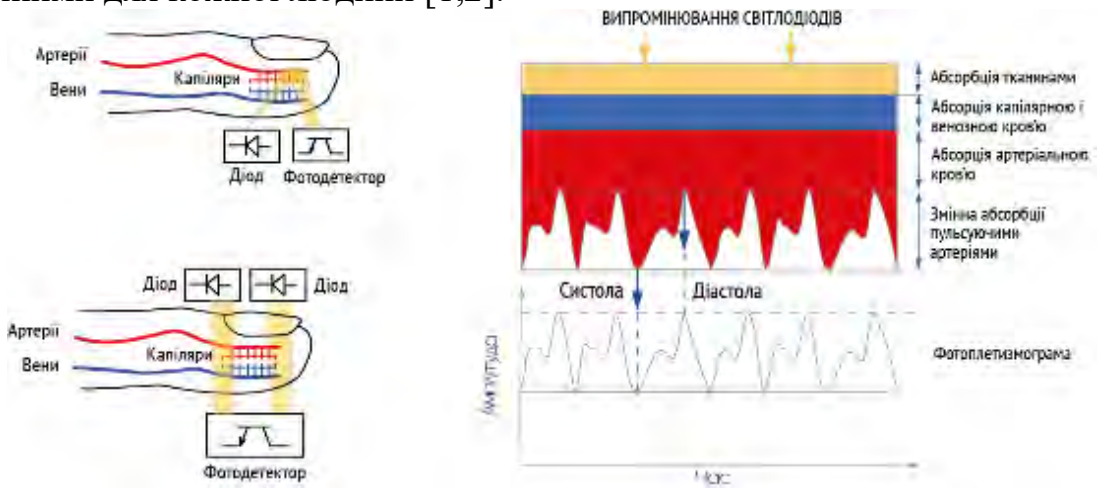
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ КРОВІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

Анотація. На сьогоднішній день жодне комплексне дослідження не проходить без аналізу крові. Існуючі методи взяття та дослідження крові потребують медичного персоналу, що призводить до затрат часу, а також ризик виникнення умисних та випадкових помилок викликаних людським фактором на всіх етапах дослідження. Виникає питання про створення автоматизованої системи для забору та аналізу крові, що максимально виключити вплив медичного персоналу на процес дослідження. Забезпечити надійність можливо за допомогою біометричної ідентифікації людини за фотоплетизмограмою, що представляє вимірювання характеристик і параметрів кровообігу (пульсової кривої, тиску крові, ступеня насичення артеріальної крові киснем та ін), шляхом реєстрації інтенсивності потоків електромагнітного випромінювання спектра оптичного діапазону після їх взаємодії з тканинами живого організму.

Ключові слова: ФПГ, машинне навчання, біометрична ідентифікація, аналіз крові, людський фактор

ВСТУП

Фотоплетизмографія (ФПГ) відноситься до неінвазивних фотометричних методів дослідження біологічних об'єктів (рис.1), у яких вимірювання характеристик і параметрів кровообігу (пульсової кривої, тиску крові, ступеня насичення артеріальної крові киснем та ін), що не змінюються з часом і є постійними для кожної людини [1,2].



а) б)

Рисунок 1. Принцип реєстрації ФПГ: а) варіанти розміщення діоду і фотодетектора для реєстрації ФПГ в режимі пропускання та відбиття; б) поглинання та ослаблення світлових потоків біологічними тканинами

Для реєстрації ФПГ використовують світлодіоди, що працюють в межах 660 нм і 940 нм та фотодетектор (рис.1, а), який змінює опір в залежності від кількості поглиненого світла, що пройшло чи відбилось відповідно режиму (пропускання чи відбиття). Чим більше кров'яний потік, тим більше світла поглинається еритроцитами в біологічних тканинах, відповідно менше світла приходить на фотодетектор. Оцінка судинних реакцій і обмінних процесів виконуються шляхом реєстрації інтенсивності потоків електромагнітного випромінювання спектра оптичного діапазону від 0,4 мкм до 1 мкм після взаємодії з біологічними тканинами (рис 1,б). Також ФПГ реєструє і повільні

зміни кровонаповнення, зумовлені впливом різних фізіологічних факторів, де частотний спектр коливань знаходиться в межах 0,01 ... 2 Гц [2]. ФПГ відображає особливості гемодинаміки та серцево-судинної системи для кожної людини [1] та складається з безліч циклів (ітерацій), що повторюються та містять основні точки (кодуючі) сигналу B1, B2, B3, B4, B5 (рис.2), за допомогою яких визначаються параметри пульсової хвилі [2].

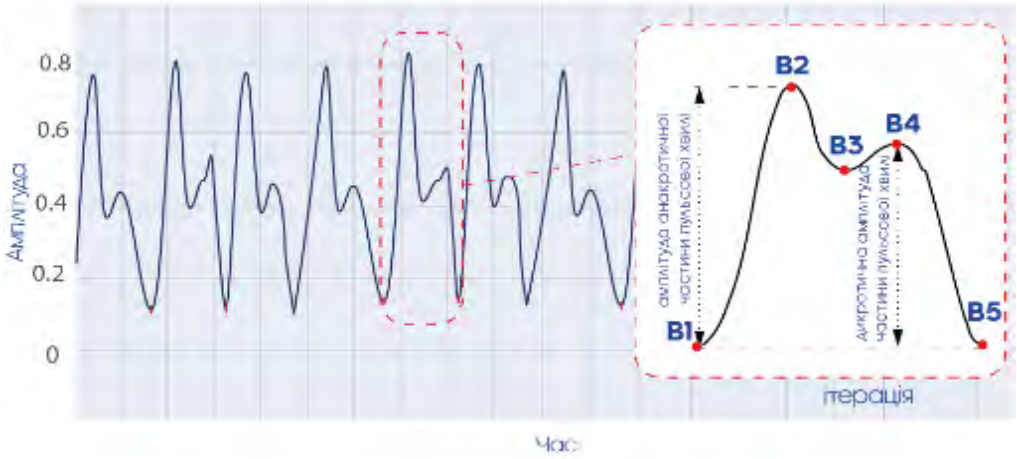


Рисунок 2. Характеристики та основні точки ФПГ однієї ітерації: B1 – початок систолічної фази, B2 – анакротична фаза, B3 - інцизура, B4 – дикротична фаза, B5 – завершення діастолічної фази [2]

Існує безліч підходів для аналізу ФПГ, заснованих на реперних точках, де функції розраховуються з систолічних піків, діастолічних піків, дикротичний виїмок, міжімпульсних інтервалів, амплітудних піків [3,4], та мають головний недолік це чутливість до шуму і низьку надійність.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для збору даних в роботі використовувався пульсоксиметр ЮТАСОКСІ 200, який має світлодіоди, що комутуються з частотою близько 1000 Гц і фотоприймач, що перетворює інтенсивність ослабленого тканинами "червоного" і "інфрачервоного" випромінювання в електричний сигнал. Датчик був встановлений на вказівний палець правої руки для кожної людини (чоловік 22 роки та жінка 35 років) та відбувалась реєстрація ФПГ в один і той же час (10:00 та 14:00) протягом двох місяців, що дозволило отримати масив статистичних даних. Реєстрація даних проводилась за допомогою програмного забезпечення UtasOxi в реальному часі та після завершення вимірювань зберігалось в файлах таблиць Excel. Для визначення ітерацій пульсових хвиль ФПГ був створений алгоритм порівняння різних ітерацій між собою і виділення загальних характеристик пульсової хвилі у кожного пацієнта індивідуально [5,6], що дозволяє підвищити якість обробки сигналу. Якщо попереднє і наступне значення амплітуди сигналу більше поточного, то система вважає поточне значення мінімальним і відокремлює від усього масиву значень вимірювання, ті значення, які були попередньо представлені в ньому, і записує їх як окрему ітерацію. У першому дослідженні ідентифікації людини за допомогою біосигналів ФПГ для порівняння однорідності показників

проходження пульсової хвилі, було використано інтервальні параметрами амплітуди і часу з подальшим застосуванням дискримінантного аналізу.

Амплітуда пульсової хвилі (АПХ) або "амплітуда анакротичної фази", що вимірюється у відносних одиницях обчислюється за формулою [2]:

$$АПХ = B2 - B1 \quad (1)$$

Амплітуда дикротичної хвилі (АДХ), що вимірюється у відносних одиницях становить АПХ/2 обчислюється за формулою:

$$АДХ = B4 - B5 \quad (2)$$

Висота інцизури (ВІ), становить (2·АПХ)/3 вимірюється у відносних одиницях:

$$ВІ = B3 - B5 \quad (3)$$

Індекс дикротичної хвилі (ІДХ) вимірюється в процентах:

$$ІДВ = (B3 - B5) / (B2 - B1) \cdot 100 \quad (4)$$

Результати середніх значень інтервальних параметрів амплітуди і часу показано в таблиці 1. Було створено базу даних для подальшого дискримінантного аналізу було проведено навчання, в якому 62 спостережень було присвоєно «ідентифікованій» людині (чоловіча стать), а решта (жіноча стать) – сторонній людині і навпаки. За допомогою дискримінантного аналізу можливо визначити відмінності між двома група та спроектувати класифікатор груп.

Таблиця 1. Результати середніх значень інтервальних параметрів амплітуди і часу

Стать	***Статус ідентифікації***	***Інтервальні параметрами амплітуди***	***Середнє значення параметра***	***Стандартне відхилення***
Чоловіча	Ні	АПХ	2,6351	1,15201
		АДХ	1,3256	0,82349
		ВІ	1,6402	0,94321
	Так	АПХ	0,2278	0,04567
		АДХ	0,6521	0,04123
		ВІ	0,3123	0,04233
Жіноча	Ні	АПХ	0,2278	0,04567
		АДХ	0,6521	0,04123
		ВІ	0,3123	0,04233
	Так	АПХ	2,6351	1,15201
		АДХ	1,3256	0,82349
		ВІ	1,6402	0,94321

Виходячи з середніх значення та середньо квадратичних відхилень інтервальних параметрів амплітуди і часу, встановлено, що середні значення для ідентифікованої особи відрізняються від середніх значень сторонніх людей.

Дискримінантний аналіз використовував два підходи вводу незалежних змінних, таких як примусове включення та кроковий відбір. В результаті примусового включення всіх даних вибірки інтервальних характеристик отримали, що із 62 вимірювань, були поодинокі випадки які не відповідали ідентифікованій людині, де загальний відсоток достовірності ї класифікації по

інтервальним параметрам чоловіча стать – 97,5%, жіноча – 96,9 %. Результат проведення методом, що включає до розрахунку кожне спостереження покроковим методом, помилково ідентифікував та авторизував лише 2 вимірі (чоловіча стать), та 4 виміри (жіноча стать) та склав відповідно загальний відсоток достовірності 98,76 та 97,5%.

ВИСНОВОК

З проведених досліджень можна зробити висновок, що використання сигналу ФПГ для автоматичних систем забору та аналізу крові з біометричною ідентифікацією дозволить мінімізувати медичній персонал та забезпечити високий ступінь захисту від людського фактору. В роботі було проведено дослідження та аналіз даних сигналу ФПГ різними підходами з подальшою розробкою алгоритмів машинного навчання системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Яковенко І. О., Рудий О. Д., Турчина М. О. «Улучшение надежности анализа электрокардиограмм для биометрической личной идентификации». Перспективные технологические и прилади. № 15, с. 125-130, 2019 DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-18

[2] Яковенко І. О., Мартиненко В. І. «Биометрическая идентификация на основе фотоплетизмограмм для автоматизированных медицинских систем». Перспективные технологические и прилади № 15, с. 120-124, 2019 DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-17

[3] Reşit Kavsaoğlu, A., Polat, K., & Recep Bozkurt, M. (2014). A novel feature ranking algorithm for biometric recognition with PPG signals. Computers in Biology and Medicine, 49, 1–14. doi:10.1016/j.compbiomed.2014.03.005

[4] І.О. Яковенко, К.П Вонсевич, І.Є. Гребень "Метод виділення ітерацій пульсових хвиль фотоплетизмограми для біометричної ідентифікації", Наукові вісті КПІ : міжнародний науковотехнічний журнал, № 3(2020), С. 73–78, 2020. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209881

[5] 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. doi: 10.20535/1810-0546.2018.1.115941

[6] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко, Біофізика: підручник. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589

Науковий керівник – асистент Яковенко І.О.

УДК 57.087: 531.768

М.О. Костіцький, студент гр. ПБ-92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ КІНЦІВКИ ПАЦІЄНТА

Анотація. У даній статті наведено огляд методів визначення положення верхньої кінцівки людини і їх вплив на класифікацію жестів кисті руки, в результаті якого запропоновано впровадження у вимірювальну систему трьохосьового гіроскопа.

Ключові слова: поверхнева електроміографія, акселерометр, гіроскоп, визначення положення руки, визначення жестів руки.

ВСТУП

Сучасні інтерфейси типу «людина-машина» це системи, які дозволяють поєднати керування комп'ютером та периферійними системами із біологічними сигналами людського організму. Одним із основних методів вимірювання таких сигналів є метод поверхневої електроміографії (пЕМГ). По суті своїй, пЕМГ – це біопотенціали, що генеруються в процесі скорочення м’язів у процесі виконання фізіологічних дій, та які можна використовувати для інтуїтивного, природного зв’язку з електронними технологіями. Поєднання пЕМГ та інтерфейсів «людина-машина» широко застосовується для управління протезами. При цьому, існує дві основні стратегії такого управління, а саме: схеми управління без розпізнавання патернів та з їх розпізнаванням. За допомогою розпізнавання патернів забезпечується рухоме протезування верхніх кінцівок, що робить протези багатофункціональними. Перша схема управління на основі розпізнавання образів була розроблена ще на початку 1970-х років. З розвитком електронних технологій та вбудованих систем, практичне застосування таких схем лише підвищувалось. Хоча високої точності класифікації (> 90%) можна досягти за наявності 10 типів рухів кисті [1], все ще існує велика різниця між практичним використанням подібних систем та їх тестуванням в ідеальних умовах лабораторії. Основними факторами, що знижують точність розпізнавання міоелектричного сигналу, є зсув електродів внаслідок їх знімання та одягання, мінливість характеристик ЕМГ з часом, втомлюваність м’язів і зміна положеннях кінцівки у просторі [2].

Метою цієї роботи є аналіз існуючих систем визначенням положення кінцівок пацієнта для підвищення точності класифікації жестів.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Дослідження щодо впливу положення кінцівки на точність класифікації рухів, що базується на розпізнаванні образів, розпочалися ще з 2010 року. Зокрема, досить низькі показники точності класифікації була отримано, в результаті порівняння тренувальних і тестувальних даних при різних положеннях кінцівки. Для того, щоб вирішити це завдання, дослідниками [1] було запропоновано вимірювання сигналів при розміщенні акселерометрів над плечовою кісткою і передпліччям пацієнта. Як наслідок, похибка точності класифікації різко зменшилася порівняно із однокомплектним методом класифікації, без використання просторової складової.

Xu Zhang та Xiang Chen у роботі [3] представили систему розпізнавання жестів руки на основі поєднання інформації з тривісного акселерометра та декількох ЕМГ-каналів. У цьому дослідженні, початкові та кінцеві точки значущих сегментів жестів визначаються автоматично, за інтенсивністю ЕМГ-сигналів, а дані з акселерометра використовувались для фіксації переміщень. Для отримання кінцевих результатів використовувалась класифікація за методом дерев рішень та багатопотокові приховані моделі Маркова. При цьому, експериментальні результати щодо класифікації 72 слів китайської мови жестів показали точність розпізнавання вище 95%, а включення додаткових датчиків акселерометра демонструють підвищують загальну ефективність та точність цілої системи.

В той же час Yang Yu та Xinjun Sheng у роботі [4] провели дослідження впливу зміни положення кінцівки на класифікацію рухів за допомогою розпізнавання шаблонів методом лінійного дискримінаційного аналізу (ЛДА). Експерименти проводились у п’яти різних положеннях кінцівки та семи типах рухів рук для кожного положення. В даній роботі було застосовано класифікатор ЛДА, який поєднував параметри ЛДА і для інших позицій кінцівки. Результати показали, що класифікатор із змішаними параметрами ЛДА показав себе краще, ніж класифікатор з одним набором параметрів, без використання даних про просторове положення. Отримана точність класифікації 93,6% для п’яти положень руки свідчить про те, що використання інформації про зміни положення кінцівки може бути перспективним способом ослаблення окремих дестабілізуючих впливів.

У статті [5] за мету роботи ставилось дослідження того, чи доповнюють дані з двохосьового акселерометра систему класифікації на основі пЕМГ при розпізнавання жестів руки. Експериментальну частину дослідження було розроблено таким чином, щоб зібрати максимальну кількість даних про жести за допомогою обох методів вимірювання та порівняти їх ефективність при виконанні набору жестів зап'ястя та пальців. Тести на розпізнавання проводились із використанням різних підмножин інформації: даних акселерометра та пЕМГ окремо, а також при комбінованому використанні даних із датчиків. Експериментальні результати показали, що поєднання датчиків пЕМГ та акселерометрів дозволило на 5-10% покращити точність розпізнавання жестів рук порівняно з тією, що отримана виключно за допомогою датчиків пЕМГ. Варто зазначити, що у випадку рухів зап'ястя дані прискорення та поверхневої ЕМГ ефективно класифікують жести, проте для рухів пальців датчики прискорення не несуть високої інформативності.

У роботі [6] Xinjun Sheng та Weichao Guo за рахунок поєднання сигналів ЕМГ зап'ястя та акселерометрів реалізували схему розпізнавання рухів пальців при двох рівнях сили дотику до поверхонь. При цьому, аналіз сигналів проводився за допомогою дискретних Фур'є-характеристик, а оцінювання проводилось результатів проводилось для восьми здорових суб'єктів при ідентифікації п'яти жестів пальців, що виконувались з однаковою силою у двох площинах. Експериментальні результати показують, що поєднання параметрів ЕМГ-сигналу та акселерометрії дозволяє покращити результати розпізнавання

(до показника 85,77%) для жестів пальців із двома рівнями сили натискання на поверхню, порівняно із розрахунками отриманими виключно для параметрів ЕМГ (80,65%) чи сигналу акселерометру (56,86%).

Jie Yang та Roman Kusche у роботі [7] оцінили ефективність трьохосьового акселерометра, як джерело додаткової інформації для класифікації жестів руки на основі сигналів ЕМГ. Сигнал акселерометра був відфільтрований і підсилений, а експерименти проводились з використанням обох видів сигналів сумісно із алгоритмом машинної класифікації на основі методу опорних векторів. Класифікація рухів (згинання зап'ястя, розгинання зап'ястя, згинання ліктьового суглобу та захоплення кисті), була проведена із різними показниками точності: для експериментів за допомогою лише трьохосьового акселерометра – 91,81 ± 2,76%, тоді точність для сигналів акселерометра у поєднанні з сигналами ЕМГ становила 96,06 ± 2,42%.

Отже, згідно з розглянутою інформацією, поєднання сигналів, які свідчать про просторове положення кінцівки сумісно з ЕМГ-сигналами є ефективним рішенням для підвищення точності класифікації жестів у галузі протезування.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

У вищезазначених дослідженнях для вирішення завдання підвищення точності класифікації жестів та визначення просторового положення кінцівки використовується або додавання нових видів датчиків до існуючої системи, або реєстрація більшої кількості даних з декількох позицій кінцівки. Як показують практичні результати, це позитивно впливає на точність розпізнавання жестів руки, підвищуючи її показники, в середньому на 5-10%. Тому, можна припустити, що включення такого типу даних до загальної системи протезного пристрою, повинне призвести до додаткового підвищення ефективності розпізнавання жестів. У якості таких даних пропонується використовувати сигнали трьохосьового гіроскопа, який буде детектувати орієнтацію руки в просторі і тим самим збільшить кількість інформації про її положення. У подальших дослідженнях автором планується порівняння результатів класифікації жестів руки у системах без інформації про орієнтацію руки в просторі (з гіроскопа) та із її впровадженням у алгоритм машинного навчання. В результаті цього можна буде встановити доцільність використання гіроскопів у сучасних системах керування біонічних протезах рук та ніг, а також обмеження і особливості їх застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Yanjuan Geng, Liang Chen, Lan Tian, and Guanglin Li. «Comparison of Electromyography and Mechanomyogram in Control of Prosthetic System in Multiple Lim b Positions». *International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2012) Hong Kong and Shenzhen, 2-7 Jan 2012*: p. 788 – 791

[2] Vonsevych, K. (2017). Information-measuring system of myograph of bionic limb prosthesis. *Perspektyvni Tekhnolohii ta Prilady*, 10(1), 32-37.

[3] Xu Zhang, Xiang Chen, Associate Member, Yun Li, Vuokko Lantz, Kongqiao Wang, and Jihai Yang. «A Framework for Hand Gesture Recognition Based on

Accelerometer and EMG Sensors». *IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics —part A: systems and human, vol. 41, no. 6, November 2011*: p. 1064 – 1076

[4] Yang Yu, Xinjun Sheng, Weichao Guo and Xiangyang Zhu. «Attenuating the Impact of Limb Position on Surface EMG Pattern Recognition Using a Mixed-LDA Classifier». *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics December 5-8, 2017, Macau SAR*: 1497 – 1502

[5] Xiang Chen, Xu Zhang, Zhang-Yan Zhao, Ji-Hai Yang. «Hand Gesture Recognition Research Based on Surface EMG Sensors and 2D-accelerometers». *11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 11 - 13 Oct.* 2007, Boston.

[6] Xinjun Sheng, Weichao Guo, Xiangyang Zhu, and Han Ding. «Towards Finger Gestures and Force Recognition Based on Wrist Electromyography and Accelerometers». *International Conference on Intelligent Robotics and Applications*, *Wuhan, August 2017*: n.p., 2017. Web

[7] Jie Yang, Roman Kusche, Martin Ryschka, Chunming Xia. «Wrist Movement Detection for Prosthesis Control using Surface EMG and Triaxial Accelerometer». *10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI 2017)*: n.p., 2017. Web.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

УДК 615.84

А. Г. Лєсніков, студент гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОАГУЛЯЦІЇ, СТИМУЛЯЦІЇ ТА ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Анотація. Автоматизована система коагуляції, стимуляції та діагностики біологічних тканин (БТ) полягає у електростимуляції БТ струмами різної величини з активним контролем температури в зоні впливу електрокоагулятора. Достовірність результатів обумовлена автоматизованим моніторингом та коригуванням установлених параметрів коагуляції. Дана автоматизована система коагуляції, що призначена для забезпечення ефективного розтину (розрізу) і коагуляції біологічних тканин, включає себе: діагностику уражених тканин, електростимуляцію, електрохірургічне втручання, а також автоматичне регулювання параметрів імпедансу, автоматичний контроль температури та параметрів вище перерахованих процесів у будь-який момент часу.

Ключові слова: електрохірургія, електростимуляція, коагуляція біологічних тканин, діагностика, автоматизована система, температура, імпеданс

ВСТУП

Зі стрімким розвитком сучасної медицини розвиваються нові методи, засоби та комплексні системи електрохірургії, що роблять її безпечною для проведення операцій, успішною та швидкою. Одним із прикладів є система малотравматичної коагуляції різного роду біологічних тканин, адже вона уже набула досить широкого застосування, як один із найефективніших видів сучасного електрохірургічного втручання, що використовується практично при кожній операції для проведення надрізів та коагуляції, зварювання біологічних тканин без крововиливів та температурних уражень.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В сучасній електрохірургії досить широко застосовуються мультифункціональні системи для проведення коагуляції [1]. Однак вони мають суттєві недоліки, що в певній мірі впливають на отриманий результат. Серед розглянутих медичних апаратів, таких як: «BOWA ARC 250», «НАДІЯ-4», «ITC-400D», «ЕК-300М», не було виявлено діагностичного каналу оцінки стану термічного впливу на зону хірургічного втручання, тобто це надає неповну інформацію про стан тканин та перебіг процесів електрохірургічного втручання в будь-який момент часу [2].

Тому за мету дослідження було поставлено задачу досягнення ефективного процесу коагуляції та розробка автоматизованої системи з вбудованою експрес-діагностикою.

СИСТЕМА МАЛОТРАВМАТИЧНОЇ КОАГУЛЯЦІЇ

В процесі дослідження було розроблено автоматизовану систему стимуляції, коагуляції та експрес-діагностики біологічних тканин. Така система використовує комплексний спосіб електрокоагуляції пацієнта імпульсним струмом, заданим за певним законом. Можна виділити три основні типи імпульсів: прямокутні, трикутні та діадинамічні. Для таких імпульсів задають відповідні значення параметрів сили струму, тривалості та частоти імпульсів [3].

Автоматизація запропонованої системи полягає в наступному:

- створення системи зворотного зв'язку з постійному вимірюванні багатьох параметрів, серед яких: величина сили струму, температури, тривалості дії процесу на робочій ділянці БТ;

- порівнянні значень з установленими, підтриманні та, у разі необхідності, їх коригування;

- створення бази даних, накопичення діагностичної інформації, її передачі та синхронізації [4].

Для стимуляції значення частоти струму встановлюють від 1 до 100 Гц., а інтервал імпульсів - від 0,1 мс до 10 мс. При цьому вимірювання градієнтів температури виконують за допомогою спеціального датчика, який контактує з поверхнею тіла [5].

На рис. 1 зображено структурну схему автоматизованої системи коагуляції та електростимуляції біологічних тканин.

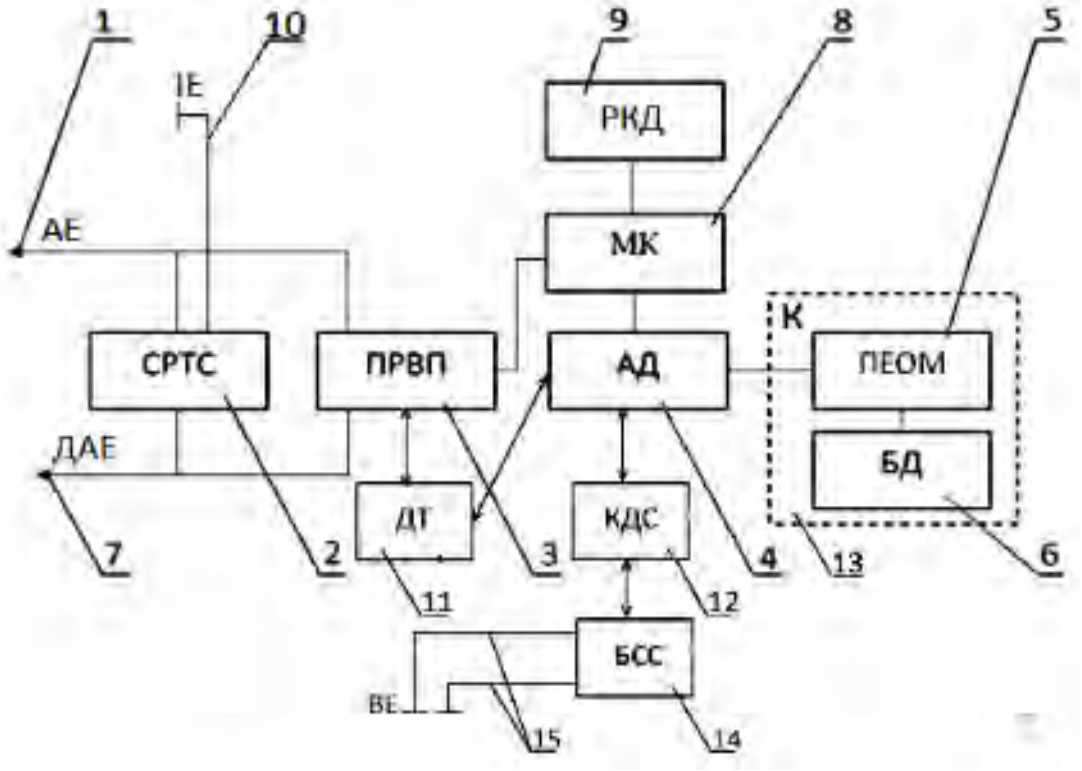


Рис. 1. Автоматизований пристрій діагностики, електростимуляції та коагуляції біологічних тканин людини, де 1 – активний електрод; 2 – блок стабілізації тестуючого сигналу; 3 – прилад реєстрації вимірюваного параметра; 4 – адаптер; 5 –персональних електронних обчислювальних машин; 6 – блок з базою даних; 7 – додатковий активний електрод; 8 – мікроконтролер; 9 – рідкокристалічний дисплей; 10 – індиферентний електрод; 11 – датчик температури; 12 – кероване джерело струму; 13 – комп'ютер; 14 – блоку стабілізації струму; 15 – виносні електроди

Електрокоагуляцію застосовують з метою зменшення побічних уражень здорових тканин та прискорення процесу одужання пацієнта шляхом зменшення тривалості після операційного періоду. Безпечність та ефективність використання процедури електрокоагуляції наведено в [6].

Процес електрозварювання показано на рис. 2 [6].

Рис. 2. Електрозварювання апаратом ЕК 300М1: а) етап холецистотомії; б) фіксація тканин для зварювання в) результат зварювання

Алгоритм проведення електрокоагуляції в спроектований автоматизованій системі коагуляції БТ, стимуляції та діагностики наступний: активні електроди, індиферентний електрод та датчик температури розміщують в конкретній ділянці БТ та проводиться замір температури.

Завантажується програма місцевого - локального біоімпедансного та температурного досліджень або органічного - глобального дослідження. Програма глобального дослідження підбирає лікар-фахівець з бібліотеки стандартних програм глобальних досліджень. Локальна програма встановлює протокол впливу на біооб'єкт зондуючим струмом.

Після того, як завершено завантаження локальної програми, подальше керування процесом дослідження здійснюється під управлінням глобальної програми, яка реалізує взаємодію між пацієнтом і ПК.

Початок дослідження відбувається наступним чином: встановлюються координати анатомічної області, в яку необхідно встановити активні електроди та виконується локальна програма з активним вимірюванням температури в зоні дії електродів.

Фіксуються параметри комплексного значення $Z(R,Xc)$ активного R та реактивного Xc опору БТ та формулюється діагностичний висновок.

При обраних зафіксованих параметрах та в електрокоагулуючому режимі здійснюєтся лікарем-фахівцем(хірургом) виконується оперативне втручання відповідно до плану хірургічної операції рис. 2 [6].

Процеси електростимуляції, електрокоагуляції та корегування електричного поля зони дослідження відбувається автоматизовано згідно заданої програми [7].

Отже, дана система коагуляції, стимуляції та діагностики БТ є ефективною завдяки розширеним можливостям та автоматизованим процесом, що дозволяють максимально якісно провести електрокоагуляцію

ВИСНОВКИ

Розроблено автоматизовану систему коагуляції біологічних тканин, стимуляції та діагностики з контролем температури в зоні впливу електрокоагуляції, що дозволяє розширити функціональні можливості за рахунок автоматизованого регулювання потужності та часу впливу відносно

температури суттєво зменшити травматичність процедури та пришвидшити час відновлення людини в післяопераційному періоді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Автоматизовані магнітотерапевтичні апарати: монографія / М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик та ін. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. - 272 с. ISBN 978-966-900-010-4 Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37587

[2] Малий О.А., Лєсніков А.Г., Терещенко М.Ф., Яковенко І.О. Дія магнітного поля на параметри глибини проникнення фармацевтичних препаратів // *Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»* 10-11 грудня 2019 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2019.- 546 с. — С. 358-361

[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 Режим доступу: 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 Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467

[5] Високоточні джерела змінних магнітних полів: монографія / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.- 156 с. ISBN 978-966-990-006-7 Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35984

[6] Бабий А.М. Опыт применения отечественной высокочастотной электросваривающей технологии в хирургическом лечении больных с абдоминальной патологией / Бабий А.М. Шевченко Б.Ф., Ратчик В.М. // *"GASTROENTEROLOGY"* 2 (52) 2014 Режим доступа: http://www.mif-ua.com/archive/article/38622

[7] Дорощук, І. А. Система стимуляції біологічних тканин з діагностикою / І.А. Дорощук, М. Ф. Терещенко // *XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*, 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 305–308. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28132

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.

УДК 615.847.8

О.А. Малий, студент гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНА СИСТЕМА

Анотація. Автоматизована система магнітотерапії (АСМ), часто використовує дію магнітного поля на біологічні тканин (БТ) , як з лікувальною метою для покращення метаболізму людини в зоні дії магнітного поля, так з метою стимуляційного впливу на ліки і БТ для проникнення фармацевтичних речовин (ФР) в середину біологічної тканини. 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. Магнітотерапія за своєю природою майже не має протипоказання. В якості діючого фактору використовуються постійні та змінні магнітні поля. Магнітотерапевтичні апарати (МТА) використовують в якості джерела магнітного поля і постійні магніти і індуктори з котушками. Найбільш перспективно використовувать автоматизовані системи відтворення високоточного магнітного поля в індукторах та систему зворотного зв'язку під час дії поля на біологічну тканину.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСІДЖЕННЯ

Мета дослідження – використання автоматизованих магнітотерапевтичних систем для дослідження змін температурних параметрів біосередовищ при дії магнітного поля.

В рамках поставленої мети проведено:

аналіз та огляд методів і засобів відтворення магнітного поля; запропонована класифікація автоматизованих магнітотерапевтичних систем; розроблена математична модель взаємодії магнітного поля з біологічною тканиною; та проведені експериментальні дослідження по оцінці параметрів магнітного поля автоматизованих магнітотерапевтичних систем (АМТС) на температурних показників біосередовища.

В результаті досліджень була запропонована та опробувана математична модель опису проникнення потоку ліків в біосередовище під дією енергії Е ≈ Ф магнітного поля

$$J_s = \frac{K_m \cdot Д_m}{-\frac{\tau}{t} \cdot \ln(1 - \exp(\frac{-Ф \cdot F}{R \cdot (T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}))} \cdot \Delta C_s , \qquad (1)$$

де J_s –значення притоку лікувальної речовини;

K_m –параметри коефіцієнта розподілу ліків між розчинником і мембраною;

$Д_{mi}$ –константи дифузії для ліків в мембрані;

ΔC_s –значення різниці концентрації по протилежним сторонам мембрани;

τ – стала часу відновлення мембрани;

t –час дифузії в мембрані , яка пропорційна часу дії магнітного поля),

Φ- потік магнітного поля,

F – стала Фарадея,

R – універсальна газова стала,

$T(\tau)$ – температура,

$u_{Na\,i}$ u_k –потенціали концентрації іонів натрію і калію.

Отримана модель описує процес проникнення фармацевтичного препарату в біосередовище, що дозволяє прогнозувати час досягнення ушкодженої зони , та час дії даного препарату.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

В процесі експерименту оцінювався вплив магнітних полів створених автоматизованою магнітотерапевтичною системою на термічні процеси в біосередовищі та отримані значення глибини проникнення ліків під дією магнітного поля. Розроблення експериментальної установки в складі АМТС , та виконання досліджень з послідовним моделюванням, аналізом отриманих результатів та математичними розрахунками.

На біологічну тканину наносився фармацевтичний препарат, і діяло змінне магніте поле амплітудою по індукцієї від 1,0 мТл до 50 мТл та частотою (1-100,0) Гц.

На рис.1. приведена експериментальна установка в якій, як джерело магнітного поля, використовувалася автоматизована магнітотерапевтична система

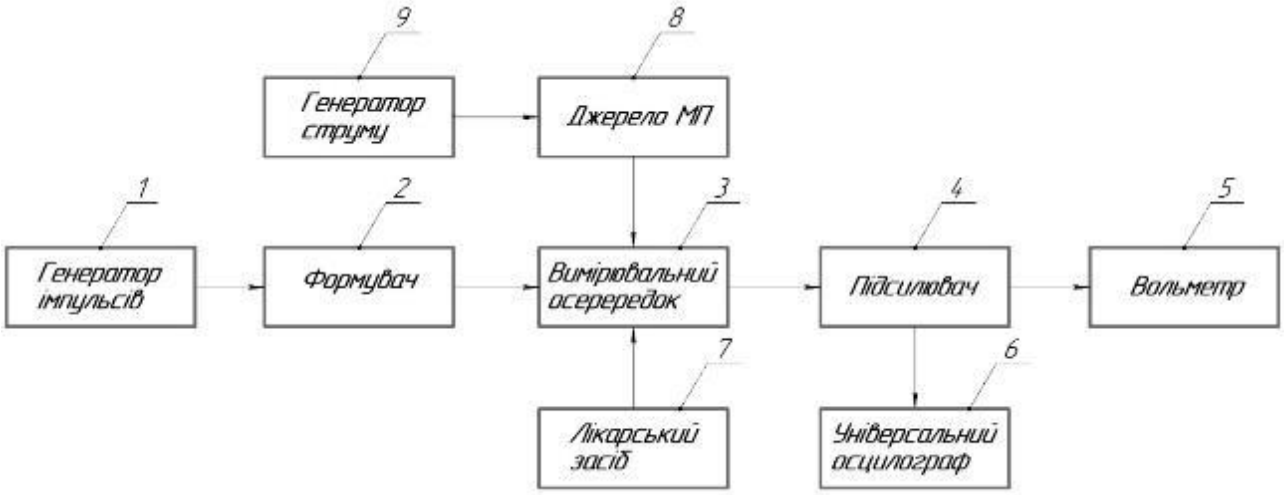


Рис.1 Експериментальна установка в складі автоматизованої магнітотерапевтичної системи

де 1 –багатофункціональний генератор сигналів;

2 –прецизійний формувач сигналу з комбінованими електродами;

3 –вимірювальна зона для біосередовища;

4 - підсилювач,

5 – вольтметр;

6 – універсальний осцилограф;

7 – лікарський засіб;
8 - автоматизована магнітотерапевтична система в якості джерела магнітного поля;
9 – генератор струму.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

В ході виконання замірів у роботі, була надана оцінка, щодо ефективності дії змінного магнітного поля з індукцією в 30 мТл на глибину проникнення лікарських засобів, протягом заданого часу - 15 хвилин.

Отриманні результати полягають у наступному:

а) глибина проникнення ФР під дією змінного магнітного поля(ЗМП) в 30 мТл прямопропорційна терміну впливу ЗМП (рис.2);

б) максимальна глибина проникнення розчинів йоду (I) до 4 см та брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) до 3.5 см.

в) розрахунок теоретичної глибини проникнення h в біологічну тканину від значення індукції магнітного поля B виконаємо по, отриманій нами , емпіричній формулі

$$h = B \cdot t \cdot Js \cdot \Delta Cs \cdot Дm/(R \cdot F \cdot \Delta u \cdot T(\tau)) \quad (2)$$

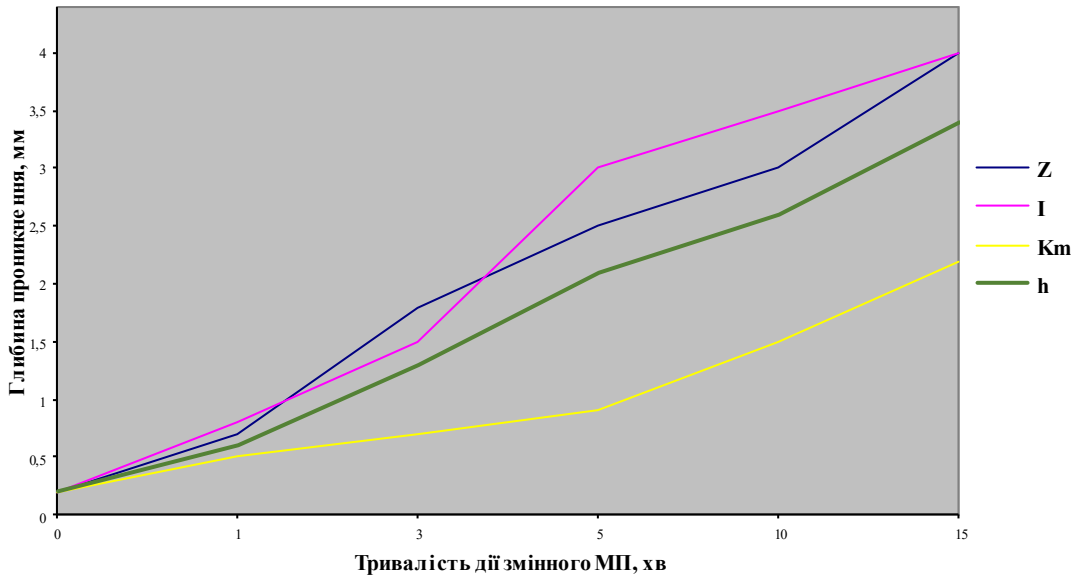


Рис.2. Глибина проникнення фармацевтичних речовин дії змінного магнітного поляза час *t* хв.

ВИСНОВКИ

Таким чином, була розроблена автоматизована магнітотерапевтична система та експериментально отримані залежність глибини проникнення лікарських речовини від індукції та тривалості дії змінного МП.

Зростання часу дії та значень індукції змінного МП призводить до збільшення глибини проникнення ФР. При цьому для досліджуваних сполук ФР швидкість зростання суттєво різниця.

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] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик, Високоточні джерела змінних магнітних полів: монографія. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.- 156 с. ISBN 978-966-990-006-7 https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35984

[3] Малий О.А., Лєсніков А.Г.,Терещенко М.Ф., Яковенко І.О. Дія магнітного поля на параметри глибини проникнення фармацевтичних препаратів // Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні » 10--11 грудня 2019 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2019.- 546 с. — С. 358-361

[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] О.А. Малий, М.Ф. Терещенко Автоматизована система магнітотерапії в трансдермальні доставці фармацевтичних речовин //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. – С.218-221

[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] 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.

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.

УДК 612.014.422

В.І. Мартиненко, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БІОІМПЕДАНСОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИН

Анотація. У роботі розглядають основні електромагнітні властивості біологічних тканин, за допомогою яких існує можливість діагностики їх функціонального стану. З огляду на те, що більшість подібних методів є громіздкими та мають дороге устаткування, запропоновано діагностичну систему, що базується на принципах біоімпедансних аналізаторів, які більш економічно вигідні. Діагностична система будується на основі схемотехнічного рішення AD5941, що дозволяє генерувати сигнал змінного електричного струму з плаваючою частотою до 250 кГц та швидкодіючим 12-бітовим ЦАП.

Ключові слова: біоімпедансний аналіз, система біомпедансної діагностики, дисперсійні характеристики тканин.

ВСТУП

Існуючі сьогодні методи та засоби діагностики стану біологічних тканин, а саме рівня їх спроможності до нормального функціонування базуються на вартісних та трудомістких діагностичних комплексів. В той же час, медичні установки вимірювання рівню електропровідності мають можливість, сформовану в силу біофізичних особливостей будови біологічних об’єктів, досліджувати якісні показники обміну речовин.

Біологічна імпедансометрія представляє собою метод вимірювання опору, що формується біологічними тканинами, а саме функціональним станом мембранного та клітинного середовища [1].

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ

За структурою клітини – складні утворення, що складаються з багатьох елементів, що знаходяться в білковій субстанції, обмеженою клітинними мембранами (рис. 1).

Електромагнітні властивості клітин спостерігаються під час вимірювання імпедансу біологічних тканин при відповідних частотних змінах змінного електричного струму, що підводиться до тканини електродами площею S, на взаємній відстані l [2].

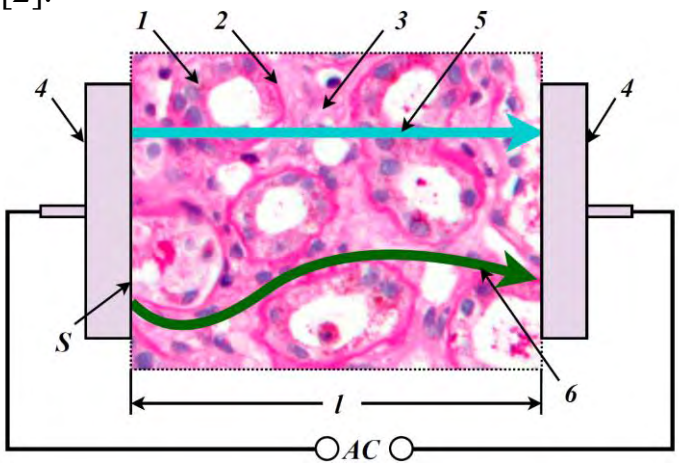


Рис. 1. Склад біологічної тканини, що підключається до системи подачі змінного електричного струму; 1 – органічна клітина, 2 – клітинна мембрана, 3 – міжклітинна речовина, 4 – електроди, 5 – напрям руху струму високих частот (від 500 кГц), 6 – напрям руху струму низьких частот (до 500 кГц)

Будь-яка клітина організму сформована здебільшого водневим розчином електроліту, який є високопровідним середовищем, та мембранними структурами, які в силу своєї діелектричної особливості формують ємнісний заряд на своїй поверхні. При проходженні електричного струму на межі вимірювальних електродів та тканини виникає подвійний електричний шар, що має високий вплив на ємнісну складову середовища. Цей вплив особливо чітко спостерігається при малих значеннях частоти, саме в низькому частотному діапазоні існує найбільша похибка вимірювання значень сигналу, пропорційного імпедансу цього середовища. Зі збільшенням частоти, вплив подвійного електричного шару зменшується. Саме з метою зменшення величини впливу даного шару у біоімпедансних системах широко застосовуються тетраполярні схеми вимірювання значень імпедансу.

АНАЛІЗ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНІСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ

Діелектрична проникність тканин ε містить у собі декілька частотних діапазонів, відповідно до яких спостерігаються різні властивості біологічних об’єктів (рис. 2).

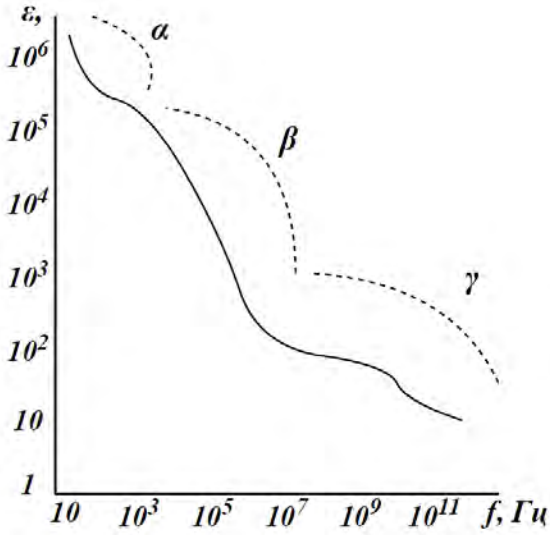


Рис. 2. Залежність значень діелектричної проникності від частоти струму [2]

Досліджувані діапазони не мають чітких частотних меж, оскільки для різних типів біологічних тканин вони різні. Діапазони класифікуються:

- α-діапазон ($f < 10^3$ Гц) – протікання струму по міжклітинному середовищу, коли опір клітин для струму низької частоти є досить великим, а діелектрична проникність обумовлена поляризацією внутріклітинних структур;
- β-діапазон (10^3 Гц $< f < 10^8$ Гц) – протікання струму по міжклітинному середовищу і частині клітинних мембран. Вважається найбільш інформативним та детермінованим до похибок діапазоном. Така залежить відображає безпосередній стан внутрішнього середовища клітини та його білкових структур;
- γ-діапазон: ($f > 10^8$ Гц) – поява явища резонансу та поляризації молекул води у міжклітинній речовині.

ВСТАНОВЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИНИ

В силу дисперсійних особливостей біологічної тканини існує можливість діагностики їх поточного стану. При вимірюванні опору на змінному електричному струму високої частоти явище поляризації тканин зменшується. При чому частина заряджених частинок, здатних до руху чи орієнтації в залежності від частоти, встигає повернутися або переміститись, тим самим приводячи струм і накоплюючи у собі заряди.

Співвідношення опорів K низької $R_{(10^4)}$ та високої частоти струму $R_{(10^6)}$ чітко описує поляризаційні властивості тканини і може бути використаним в якості інструменту для діагностики рівню життєздатності тканини (1).

$$K = \frac{R_{(10^4)}}{R_{(10^6)}} \tag{1}$$

При відмиранні тканин поляризація зникає, коефіцієнт співвідношення прямує до одиниці. За допомогою варіацій даного коефіцієнту існує можливість оцінки ступені оборотних і необоротних (патологічних) порушень в організмі.

БІОІМПЕДАНСОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТКАНИНИ

Система вимірювання рівню життєздатності тканини базується на основних принципах побудови біоімпедансних аналізаторів. Ключовою задачею для проектування подібної системи є чітке розуміння рівню інформативності на різних частотних діапазонах та типу досліджуваної тканини.

Вимірювальна система базується на основі схемотехнічної мікросхеми AD5941, що має можливість сигнального аналізу з частотою від 0,25 Гц до 250 кГц (рис. 3).

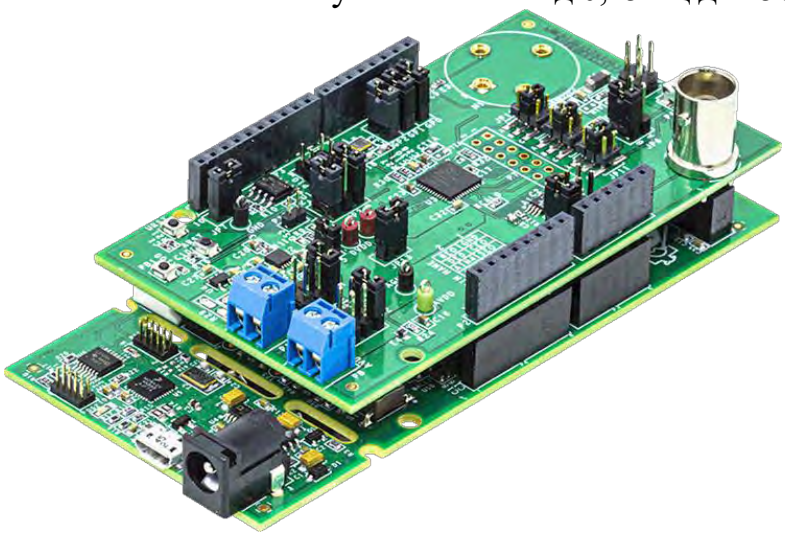


Рис. 3. Вимірювальна система біоімпедансної діагностики на мікросхемі AD5941

Блок-схема вимірювальної системи (рис. 4) включає в себе фільтр високих частот для захисту транскондуктивного підсилювача, що необхідний для створення різного рівня початкових напруг на парі вимірювальних електродів. Інструментальний підсилювач використовується в якості засобу з високим коефіцієнтом підсилення, може бути представлений схемотехнічними рішеннями мікросхеми типу INA118P.

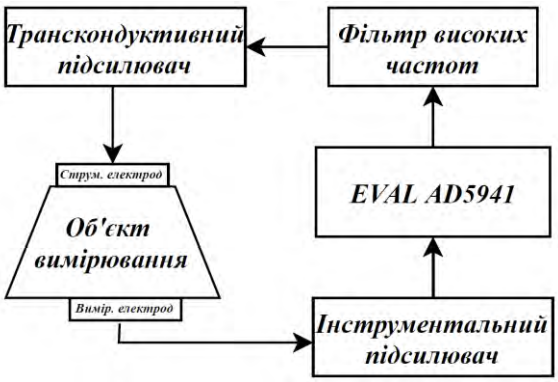


Рис. 4. Блок-схема вимірювальної системи біоімпедансної діагностики

Система використовує тетраполярну схему вимірювання, що мінімізує вплив подвійного електричного шару та підвищує ступінь достовірності контролю досліджуваних меж.

ВИСНОВКИ

В силу своїх структурних та електричних особливостей, дисперсійні характеристики біологічної тканини можуть слугувати інструментом для оцінки її функціонального стану. Запропонована сучасна біоімпедансна система контролю життєздатності, що базується на основоположних принципах побудови імпедансних аналізаторів біологічних об’єктів з можливістю установки плаваючої частоти вимірювання. Такі системи мають підвищену точність, економічну доцільність, оскільки їх вартість в десятки разів менша, аніж аналогічні системи діагностики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Dean, D. A., Ramanathan, T., Machado, D., «Electrical impedance spectroscopy study of biological tissues», *Journal of Electrostatics*, 66(3-4), с.165–177, 2016.

[2] Krivtsun, Igor & Pentegov, Igor «A Technique for Experimental Data Processing at Modeling the Dispersion of the Biological Tissue Impedance Using the Fricke Equivalent Circuit» *Electrical Engineering & Electromechanics*. с.27-37, 2017.

[3] Голев И. М., Коротков Л. Н. «Дисперсия электрического сопротивления биологических объектов» // *Вестник ВГТУ №4* . 2013.

[4] В.І. Мартиненко, М.Ф. Терещенко «Біоімпедансний аналіз біосередовища та системний біоімпедансний аналізатор», *Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського*. – 2020. – с.222-225

[5] 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.

[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.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 617.58-77

Б.І. Микитка, студентка гр. ПБ-з92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІМПЛАНТІВ ГОМІЛКОВОСТОПНОГО СУГЛОБА

Анотація. У дослідженні були створені математичні моделі трьох типів імплантів гомілковостопного суглоба. Метою було розробити алгоритм програмного забезпечення, яке спрямоване на підбір параметрів імплантів для кожного пацієнта індивідуально. На основі результатів моделювання імплантів різних розмірів та застосування їх для одного і того ж суглоба, визначено їх допустимі межі розміру. Показано переваги та недоліки різних типів імплантів. Проведені розрахунки навантажень із запропонованих матеріалів показали допустимі результати.

Ключові слова: гомілковостопний суглоб, протезування, 3d друк, КТ, МРТ.

ВСТУП

Дегенеративні захворювання опорно-рухового апарату є доволі поширеним явищем не тільки серед людей старшого віку, але, останнім часом, і серед дітей та підлітків. Дегенеративно-дистрофічні та запальні захворювання є найпоширенішими причинами протезування гомілковостопного суглоба [1]. У хірургії використовуються багато програм для діагностики хвороб суглобів за допомогою магнітно-резонансної томографії (МРТ) та комп'ютерної томографії (КТ). Багато лікарень почали переходити від використання медичних зображень, в першу чергу для діагностичних цілей, до їх інтеграції в конкретне планування хірургічного лікування.

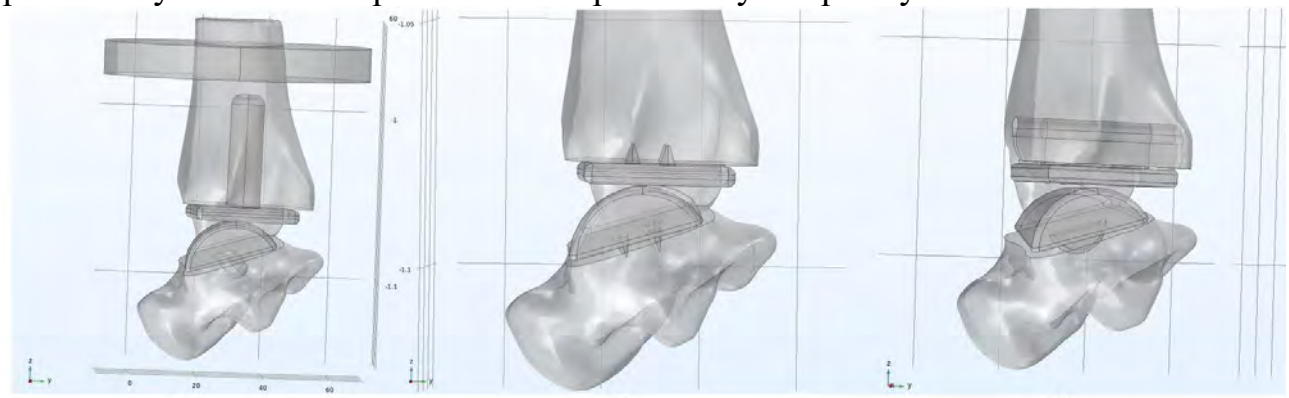
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У сучасній ортопедії та травматології для планування операцій використовуються такі програми як «mediCAD Classic», «AccuPlan app», «TraumaCad Mobile», «Zimmer Biomet ONE Planner», «Orthoview», «Vesalius3D» та інші [2-4]. Це дає величезні переваги для лікарів і їхніх пацієнтів. Проте більшість цих програм спрямовані на планування операцій з використанням конкретного бренду, що дещо звужує пошук необхідних параметрів імплантів.

В моделі гомілковостопного суглоба з імплантами проведено аналіз деформацій імплантів та кісток контактних поверхонь. Порівнювалися такі поширені для ортопедичної хірургії матеріали: титановий сплав Ti_6Al_4V, титановий сплав 1-го класу нелегований, тантал, сплав титану і танталу, нітинол. В якості проставки між імплантами надвисокомолекулярний поліетилен високої щільності [5, 1]. Ці матеріали при заданих умовах показують однаково відмінні результати. Тиск на дотичну кісткову поверхню однаковий та є в межах норми, а саме до 98066500 паскаль [6].

Існують 3 типи імплантів гомілковостопного суглоба: зі стрижнем тібіального імпланта, імпланти з брускоподібними елементами, плоскі імпланти зі штирями (дивись рис. 1) [1]. Моделювання суглоба, імплантованого компонентом зі стрижнем, показало доцільність використання для пацієнтів зі значними дефектами у внутрішніх областях кісткових тканин, наприклад, остепорозом, що характеризується високими крихкістю кісток та ризиком їх переломів. Плоскі імпланти зі штирями характеризуються меншою

інвазивністю щодо кісткових тканин в порівнянні із іншими типами, що дає можливість скоротити час реабілітації. Імпланти з брускоподібними елементами можуть мати підвищену довговічність використання при варусних і вальгусних деформаціях стопи, оскільки брускоподібні елементи зазвичай розташовуються в антеріально-постеріальному напрямку.



а) б) в)

Рисунок 1. Типи імплантів гомілковостопного суглоба, латеральний вид: а) зі стрижнем, б) зі штирями, в) з брускоподібними елементами

Деформація кісток залежить від розміру основи імпланта (контактної поверхні). Також основа імпланту не повинна виходити за межі контакту з кісткою більш, ніж на 2-3мм, для уникнення регулярного пошкодження м’яких тканин. Розрахунок індивідуальних імплантів проводиться окремо для кожного з компонентів.

Для отримання оригінальних параметрів кістки може використовуватися зображення як МРТ, так й КТ. Хірург може використовувати такі популярні програми: «ITK-SNAP», «3D Slicer», «OsiriX», «Mimics», «InVesalius» та інші.

Оптимальна ширина основи тібіального імпланта становить менше довжини між внутрішніми частинами медіальної та латеральної малеоль суглоба, а довжина основи – дещо більше антеріально-постеріальної довжини внутрішньої поверхні медіальної малеолі; до 90% контактної поверхні. Для збереження мінімальних деформацій зміна розрахованого розміру імпланта можлива до 5%.

Оптимальна ширина основи імпланта талуса становить довжину середини суглобової поверхні, довжина медіальної та латеральної сторін – дещо менше відповідних країв суглобової поверхні; до 93% контактної поверхні. Для збереження мінімальних деформацій зміна розрахованого розміру імпланта можлива також до 5%.

В даній роботі розроблено алгоритм, що використовує дані, отримані за допомогою математичного моделювання в програмі COMSOL Multiphysics, а саме такі параметри як тиск та деформацію. Таким чином згідно алгоритму необхідно задати такі дані: необхідні параметри кісток, кожен з яких додатково вказаний у програмі; ступінь ожиріння пацієнта; наявність значних дефектів кісткової тканини вглиб кістки; бажаний матеріал для імпланта. Ожиріння 2-3 ступеня виключає можливість вибору імпланту зі штирями. При значних пошкодженнях кістки можна вибрати лише тип імплантів зі стрижнем для уникнення подальшого пошкодження.

3D друк дозволяє безпосередньо виготовляти складні деталі кінцевого використання та полегшує оснащення традиційних технологій виробництва, зменшуючи витрати та час виконання. Це дає можливість створювати складні індивідуальні імплантати, які не тільки покращують результати лікування пацієнтів, а й підвищити економічну доцільність і потенційний рівень доступності.

ВИСНОВКИ

Аналізуючи отримані дані моделей можна підвести підсумок, що найменші деформації спричинятиме тип імпланта зі стрижнем, а найбільші, але не спричиняти потенційних пошкоджень, – імпланти зі штирями. Досліджені допустимі межі розмірів основ імплантів. Визначено переваги та недоліки кожного з типів імплантів. Алгоритм підбору індивідуальних параметрів імплантів розроблений на висновку з досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Total Ankle Replacement. Indications, Implant Designs, and Results [Electronic resource] / Alexej Barg, Matthias D Wimmer, Martin Wiewiorski, Dieter C Wirtz, Geert I Pagenstert, Victor Valderrabano // Deutsches Ärzteblatt International. – 2015 March 13. – Режим доступу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4390826/ – 18.11.2020 р.

[2] Preoperative planning of total hip replacement using the TraumaCad™ system [Electronic resource] / Ely Liviu Steinberg, Nadav Shasha, Aharon Menahem, Shmuel Dekel // Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery. – 2010. – Режим доступу: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00402-010-1046-y – 20.11.2020 р.

[3] Computer-Assisted Planning and Navigation of Total Hip Arthroplasty Using the Navitrack and mediCAD System [Electronic resource] / J. Babisch, F. Layher, R.A. Venbrocks // Navigation and Robotics in Total Joint and Spine Surgery. – 2004. – Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59290-4_10 – 20.11.2020 р.

[4] Monitoring Active Volcanos Using Aerial Images and the Orthoview Tool [Electronic resource] / Marsella, M.; Nardinocchi, C.; Proietti, C.; Daga, L.; Coltelli, M. // Remote Sens. – 2014. – Режим доступу: https://www.mdpi.com/2072-4292/6/12/12166 – 20.11.2020 р.

[5] Implantable Materials Update [Electronic resource] / Katherine E Dux // Clinics in Podiatric Medicine and Surgery. – 27 July 2019. – Режим доступу: https://europepmc.org/article/med/31466565 – 23.11.2020 р.

[6] Анатомія опорно-рухового апарату [Електронний ресурс] : лекція на тему «Загальна характеристика опорно-рухового апарату. Будова скелетної системи» / уклад. викл. Купріненко О.В. — Л. : ЛДУФК, 2015. — 5 с. Режим доступу: http://repository.ldufk.edu.ua/bitstream/34606048/6887/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86_%D1%8F1.pdf

Наук. керівник –доц. Безугла Н.В.

УДК 535.243.25

М.Р. Мікаелян, студент гр. ПБ-з92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБҐРУНТУВАННЯ СВІТЛОПРИЙМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНОГО ФОТОМЕТРУ

Анотація. В даній роботі розкрито шляхи вдосконалення світлоприймальної системи біомедичного фотометру. Як результат, запропоновано електричну схему на базі датчика освітленості та контролера на схемі перетворення I2C. В результаті отримано цифровий пристрій, що дає необхідні показники вимірювання, а саме освітленість та потужність біомедичного сигналу.

Ключові слова: спектрофотометрія, фотометр, світлоприймальна система.

ВСТУП

Метод спектрофотометрії є недорогим і досить швидким. Одна з причина, по якій спектрофотометрія набула поширення - можливість застосування методик аналітичної, токсикологічної хімії, клінічної лабораторної діагностики та біохімії. З метою кількісного визначення специфічних білків та ферментів в біологічних середовищах організму застосовують біохімічні спектрофотометричні методики клінічної лабораторної діагностики. Сучасні спектрофотометри надають широкі можливості для визначення різних матеріалів, контролю якості, аналізу станів. Крім реєстрації спектрів в стаціонарному і кінетичному режимі підтримуються також різні можливості математичної обробки спектрів, їх порівняння, побудови за спектрами градуювальних кривих, визначення концентрацій при однокомпонентному і багатокомпонентному аналізі.[1]

Основними компонентами спектрофотометру є джерело випромінювання, монохроматор та приймальна система, а також можуть використовуватись концентратори у вигляді інтегруючої сфери [2] або еліпсоїдального рефлектору [3,4]. Такі елементи використовують як до так і після досліджуваного об’єкту. В першому випадку вони забезпечують концентрацію випромінювання на об’єкті, а в другому – концентрацію випромінювання після взаємодії з БО на фотоприймачі. Найважливішим елементом спектрофотометра медичного застосування є саме фотоприймач, адже завдяки йому частина випромінювання, що пройшла через об’єкт, поглинається та відбивається. Тому далі буде наведена основна інформація про фотоприймачі, які можна використати в світло-приймальній системі.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Метою даної роботи є підвищення ефективності реєстрації слабких оптичних та біомедичних сигналів. Для реєстрації біомедичного сигналу запропоновано використання датчика освітленості на мікросхемі MAX44009 (GY-49). Світловий датчик працює таким чином, що коли на чутливу зону, в нашому випадку це фотоелемент, потрапляє певний рівень світлового випромінювання тоді промені ним фокусуються та йде сигнал на детектор. Аби цей сигнал був створений необхідно, щоб рівень яскравості, який фіксує фотоелемент, був від 0,045 до 188 000 люкс [5].

MAX44009 це датчик, який використовується для замірів рівня освітленості у видимих діапазонах. Працює на базі інтерфейсу I2C, та є цифровим. Даний елемент обраний за рахунок гарних показників, а також тому, що сумісний із використанням портативних приладів. Має вбудований стабілізатор напруги, а для роботи йому необхідно 5В.

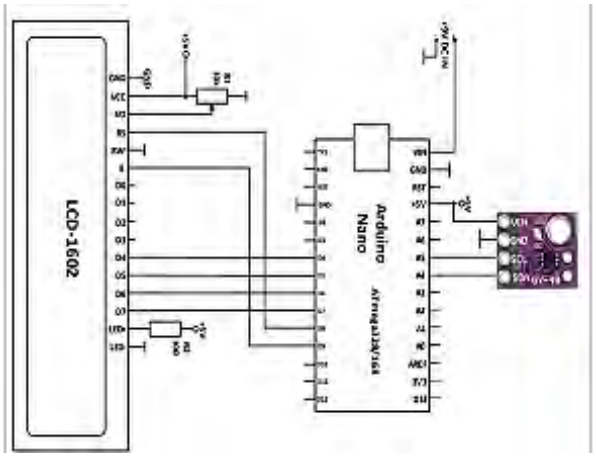
При використанні даного чіпу в умовах штучного освітлення має в своєму арсеналі фільтри інфрачервоного та ультра-фіолетового спектрів, для повної відсутності засвічень при вимірах, за це відповідає також певний модуль адаптивного посилення, що налаштовує необхідний діапазон для збору оптимальних значень. Відкритий сток дозволяє обробляти керуючу логіку із різними напругами живлення [6].

Основні характеристики датчика освітленості GY-49 MAX44009 наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристики датчика освітленості GY-49 MAX44009

Характеристика	***Показник***
Інтерфейс	I2C0
Діапазон освітленості	0.045 - 188000 Люкс
Динамічний діапазон	22 біт
Живлення	3,3 - 5 V
Розмір плати	2 х 1 см

Для забезпечення вихідних даних у вигляді освітленості та потужності обрано контролер Arduino Nano ATmega168 та дисплей LCD-1602. Схема підключення елементів та загальний вигляд розробленого світлоприймального каналу наведені на рисунку 1.



а)

б)

Рисунок 1. Електрична схема (а) та загальний вигляд (б) світлоприймального каналу

Контролер Arduino Nano ATmega168 використовує схему перетворення I2C та має спеціально написану програму, яка дозволяє отримувати дані сигналу та потужності освітленості. LCD дисплей з синьою підсвіткою для

підключення до Arduino. Має два ряди по 16 символів в кожній. Працює зі стандартною бібліотекою LiquidCrystal з поставки Arduino IDE. Розміри 80x36 мм. Інтерфейс HD44780, необхідне живлення 5 V. Пристрій працює на блоці живлення 9 V.

ВИСНОВКИ

Запропонована електрична схема підключення обраного датчика реєстрації оптичного сигналу та розроблена на її основі світлоприймальна система біомедичного фотометру дасть змогу реєструвати слабкі біомедичні сигнали виключаючи шумові.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Використання спектрофотометрії УФ-, видимого и ближнього ІЧ-діапазону у судовій медицині та криміналістиці [Електронний ресурс] https://center-bereg.ru/f1766.html

[2] Тучин В. В. Оптична біомедицинська діагностика / Валерій Вікторович Тучин. – Москва: Фізматліт, 2007. Т.1. С. 560. Т.2. С. 368

[3] "Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method"/ M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych, , Devices and Methods of Measurements, vol.10, no. 2, pp. 160 – 168, 2019

[4] "Control of optical clearing of biological tissue by ellipsoidal reflectors method"/ M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and A.I. Nagornyi, , Microsystems. Electronics and Acoustics, vol.24, no.2, pp. 6 – 13, 2019.

[5] Датчик освітленості. Принцип роботи та класифікація [Електронний ресурс] https://www.smarthof.ru/info/datchikosveshheniya%20/#:~:text=Принцип%20работы%20датчиков%20освещенности%20заключается,реле)%20и%20направляются%20к%20детектору.&text=Требуемая%20освещенность%2C%20при%20которой%20срабатывает,%2C%20составляет%205%20–%2050%20люкс.

[6] Датчик освітлення [Електронний ресурс]GY-49 MAX44009 I2C 3.3В https://arduino.ua/prod2818-datchik-osveshhennosti-gy-49-max44009-i2c-3-3b

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

УДК 535.2

Я.С. Паламарчук, студент гр. ПБ-92мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ДЛЯ ОБРОБКИ ФОТОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. У даній роботі розглядаються методи обробки фотометричних зображень, що базуються на оцінці плями розсіювання. Процес обробки фотометричних зображень потребує значних часових затрат, тому було розроблено програмне забезпечення для автоматизації процесу обробки та зменшення часових затрат. Проведено експериментальні дослідження для демонстрації порівняння часових затрат.

Ключові слова: фотометричне зображення, пляма розсіяння, обробка, програмне забезпечення.

ВСТУП

Обробка фотометричних зображень при початковому аналізі може проводитися шляхом оцінки плями розсіювання випромінювання досліджуваними тканинами, що в свою чергу передбачає оцінку форми, просторового розподілу плями розсіювання та значення інтенсивності.

Результатом проведення аналізу фотометричного зображення за просторовим розподілом є трьох вимірний графік, за допомогою якого можна оцінити яскравість кожної точки. Метод перетинів використовується для аналізу асиметрії осьової анізотропії розсіяння [2,4], полягає в досліджені яскравості в характерних перетинах фотометричного зображення розсіяння на зразку, а саме в перетинах, де пляма розсіяння має характерні відмінності розподілу яскравості [1]. Результатом аналізу методом перетину є двовимірний графік.

Значення інтенсивності може бути визначене за допомогою методу зонного аналізу. Для проведення аналізу використовується програмне середовище Iris, що працює на основі апертурної ПЗЗ-фотометрії, засноване на розрахунку суми значень інтенсивності пікселів в середині певної обраної області [3].

Проблема полягає в тому, що проведення такого типу досліджень потребують використання кількох програмних забезпечень, таких як Microsoft Word, Excel, BMP to TXT, Блокнот, Gnuplot, Iris та значних часових затрат.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи підвищення ефективності аналізу фотометричних зображень шляхом створення алгоритмів та програмного забезпечення для графічного та кількісного аналізу фотометричних зображень плями розсіяння.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ

Для демонстрації роботи розробленого програмного забезпечення на рисунку 1 представлено узагальнений алгоритм роботи програмного забезпечення.

Розроблене програмне забезпечення передбачає роботу з текстовими файлами. Після відкриття файлу (ів) передбачено виконання наступних операцій: оцінка всього зображення в цілому, або за характерними перетинами, додавання, віднімання, добуток та ділення для двох файлів.

Рисунок 1. Узагальнений алгоритм роботи програмного забезпечення

Результатом операцій є відображенням результуючого графіку просторового розподілу яскравості, з відповідним загальним значенням інтенсивності, та збереження графіків або результуючих текстових файлів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наведемо результати порівняння затраченого часу при проведені аналізу фотометричного зображення вручну і за допомогою розробленої автоматизованої системи. Буде приведено порівняння при проведені наступних операцій: розрахунок часу для отримання плями розсіяння у вигляді тривимірного зображення, оцінка фотометричного зображення з використанням методу перетинів для одного та кількох фотометричних зображень та отримання значень інтенсивності.

Проведемо графічний аналіз фотометричного зображення оцінюючи пляму розсіювання в результаті якого отримаємо тривимірне зображення, де відображається яскравість пікселя у кожній точці простору.

Спочатку проведемо аналіз вручну. Першим кроком є конвертація зображення формату «.bmp» у формат «.txt» за допомогою програмного забезпечення «BMP to TXT», далі у програмному забезпечені «Gnuplot»

пропишемо запит, результатом якого є побудований графік тривимірного розподілу фотометричного зображення. Схема перетворення фотометричного зображення в графік тривимірного розподілу представлена на рисунку 2. Для проведення описаних вище операцій необхідно приблизно 3 хвилини 30 секунд часу.

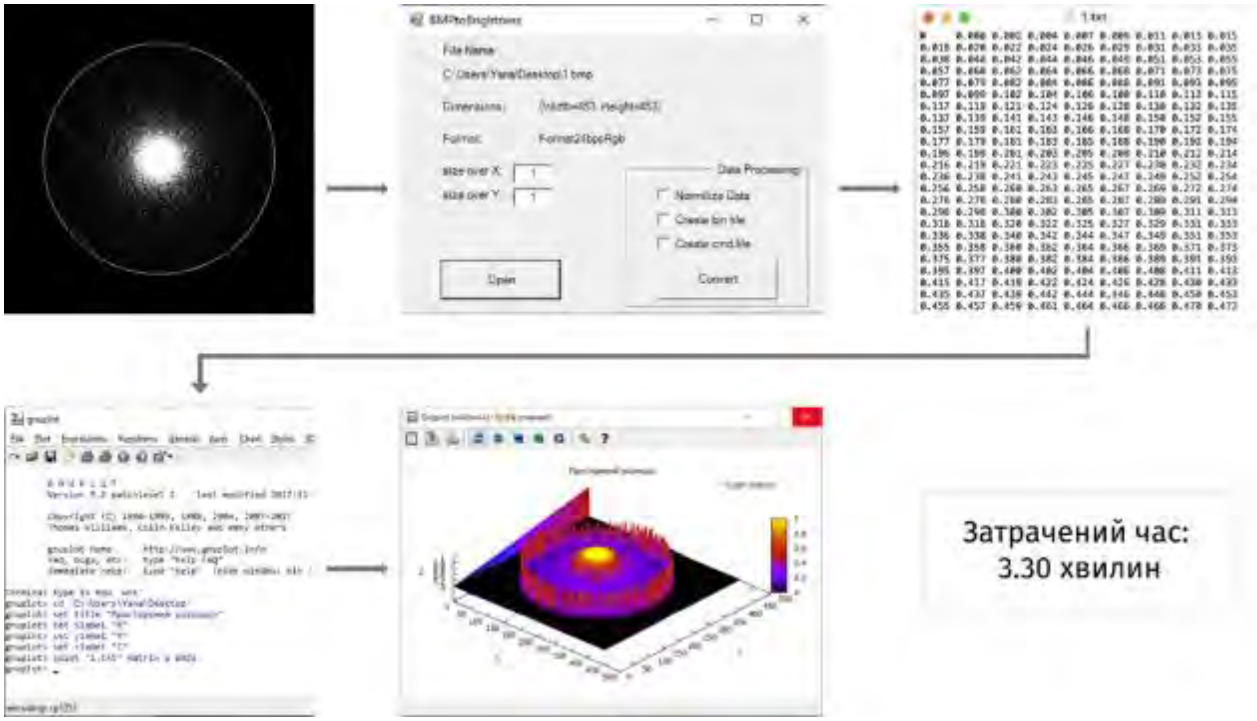


Рисунок 2. Етапи перетворення фотометричного зображення в графік тривимірного розподілу

Далі продемонструємо проведення аналогічної операції з використанням розробленого ПЗ. Вхідними даними є попередньо конвертований текстовий файл. Наступним кроком є завантаження файлу у розроблене ПЗ, та обрано операцію «Аналіз», в результаті отримано графік тривимірного розподілу. Схематичне перетворення фотометричного зображення в графік тривимірного розподілу з використанням розробленого ПЗ відображено на рисунку 3. Для проведення описаних операцій з використанням розробленого ПЗ було витрачено 45 секунд часу.

Отже, при проведені графічного аналізу фотометричного зображення, результатом якого є тривимірний розподіл з використанням розробленого ПЗ затрачений час скоротився в 4 рази.

При проведені порівняльної оцінки фотометричних зображень з застосуванням методу перетинів для одного та чотирьох фотометричних зображень час на обробку скоротився приблизно у 5 та 10 разів відповідно.

При проведені порівняного аналізу знаходження значення інтенсивності використовуючи ПЗ Iris та ПЗ власної розробки швидкість обробки зменшилась

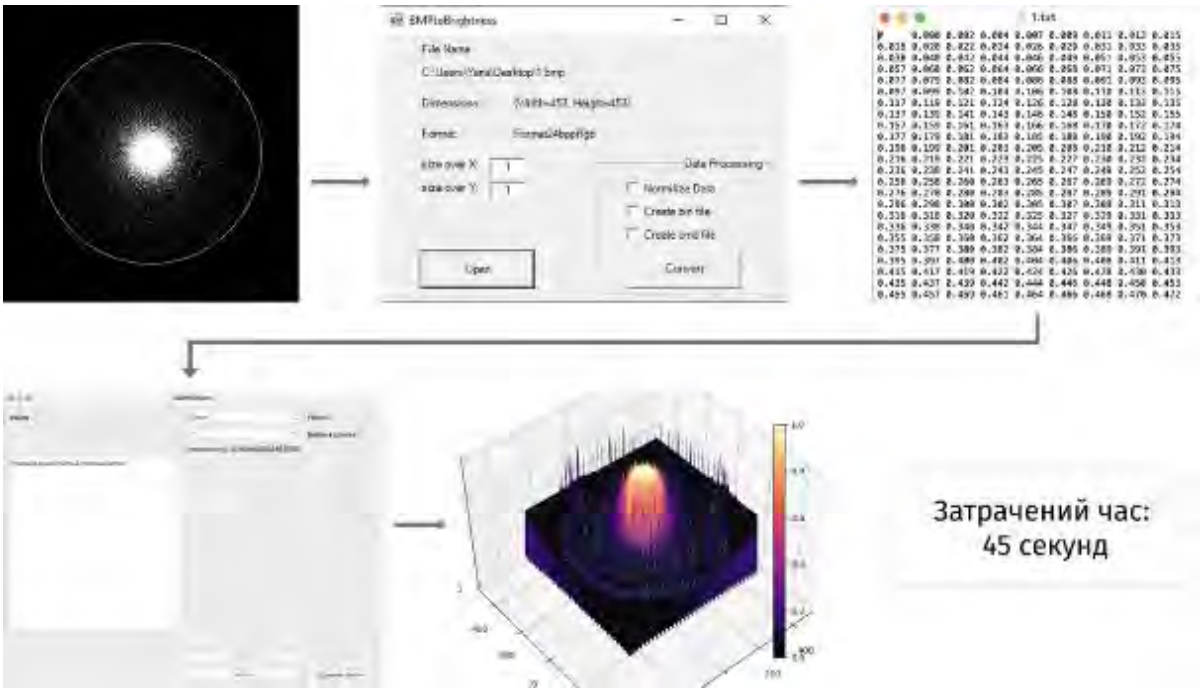


Рисунок 3. Етапи перетворення фотометричного зображення в графік тривимірного розподілу з використанням розробленого ПЗ

в 1.5 рази, і відповідно до отриманих результатів значень інтенсивності можна зробити висновок про відношення результатів як $2{,}06 \cdot 10^{-8}$.

ВИСНОВКИ

Розроблена система обробки фотометричних зображень дає змогу пришвидшити обробку та аналіз фотометричних зображень плями розсіяння. Як показали результати досліджень час обробки скоротився в 1.5, 4, 5 та 10 разів відповідно до обраного методу обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Безугла Н. В. Особливості анізотропії світлорозсіяння волокнистими біологічними тканинами / Н. В. Безугла, М. О. Безуглий, Г. С. Тимчик. // Вісник НТУУ «КПІ» серія приладобудування. – 2015. – №50.

[2] Безугла Н. В. Просторова фотометрія біологічних середовищ : дис. канд. техн. наук : 05.11.17 / Безугла Наталія Василівна – Київ, 2016. – 136 с

[3] М.А. Безуглый, Н.В. Безуглая, и А.Б. Самиляк, "Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии", Приборы и методы измерений, т. 7, №1, с. 67– 76, 2016.

[4] Н. В. Безугла, М.О. Безуглий, Г.С. Тимчик, та В.А. Шаргородський, "Просторова фотометрія біологічних середовищ", Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, т.30, №2, с. 40 – 49, 2016.

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

УДК 535.2:616-71

С.О. Полуектов, студент гр.БП-71.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА СВІТЛОРОЗСІЯННЯ ЕПІДЕРМІСОМ ПРИ ФОТОМЕТРІЇ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ

Анотація. У роботі представлені результати модельного дослідження впливу фактору анізотропії на світлорозсіяння епідермісом людини на довжині хвилі лазерного випромінювання 632.8 нм. Дослідження проводилися за допомогою програмного забезпечення для симуляції роботи фотометричної системи з дзеркальними еліпсоїдами обертанням на основі методу Монте-Карло з метою визначення оптичних властивостей біологічних тканин.

Ключові слова: фактор анізотропії розсіяння, еліпсоїдальний рефлектор, епідермі, фотометричне зображення.

ВСТУП

Біологічні тканини є сильно розсіювальними об'єктами, поширення світла через які може вважатися дифузним процесом. Шкіра людини є багатошаровою біологічною тканиною з сильними поглинальними властивостями [1]. Епідерміс – це верхній шар шкіри, максимальна товщина якого складає приблизно 73 мкм [2].

Спектри поглинання біологічних тканин визначаються наявністю пов'язаного подвійного зв'язку (хромофорів шкіри) та вмістом в тканині води. Оптичне випромінювання, поширюючись через шкіру, спочатку проходить шар епідермісу, де найбільший коефіцієнт поглинання має меланін. Тому оптичні властивості епідермісу вважаються тотожними властивостям меланіну, що важливо при виявленні новоутворень. Окрім поглинання, тканина шкіри характеризується значним світлорозсіянням, оскільки складається з великого числа випадково розподілених в об'ємі розсіювальних центрів [3]. Важливою властивістю світлорозсіяння тканини є анізотропія, яка визначається величиною фактору анізотропії розсіяння g – середній косинус кута розсіяння в фазовій функції Хені-Грінштайна.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити залежність зміни оптичних параметрів епідермісу від величини фактору анізотропії розсіяння при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами на довжині хвилі 632.8 нм.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання фотометричних засобів з дзеркальними еліпсоїдами обертання для дослідження розсіювальних властивостей біологічних тканин є можливим і доцільним при оптичній біомедичній діагностиці [2, 4]. Тому для дослідження процесів світлорозсіяння епідермісом обране програмне забезпечення «BT_mod», яке моделює роботу біомедичного фотометру з еліпсоїдальними рефлекторами [2, 5]. Симуляція при цьому включає запуск 20 млн фотонів у лазерному пучку діаметром 1.4 мм.

Епідерміс людини для довжини хвилі 632.8 нм має такі оптичні властивості: коефіцієнти розсіяння μ_s=45 см$^{-1}$ та поглинання μ_a=0.15 см$^{-1}$,

показник заломлення n=1.34 [2, 6] і фактор анізотропії розсіяння g, який може змінюватись у діапазоні від 0.79 до 0.89 [6].

Моделювання здійснено для трьох зразків епідермісу товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм, які характеризують різні місця розташування ділянки шкіри на тілі людини. У результаті отримані фотометричні зображення другої фокальної площини верхнього та нижнього еліпсоїдального рефлектора (рис.1).

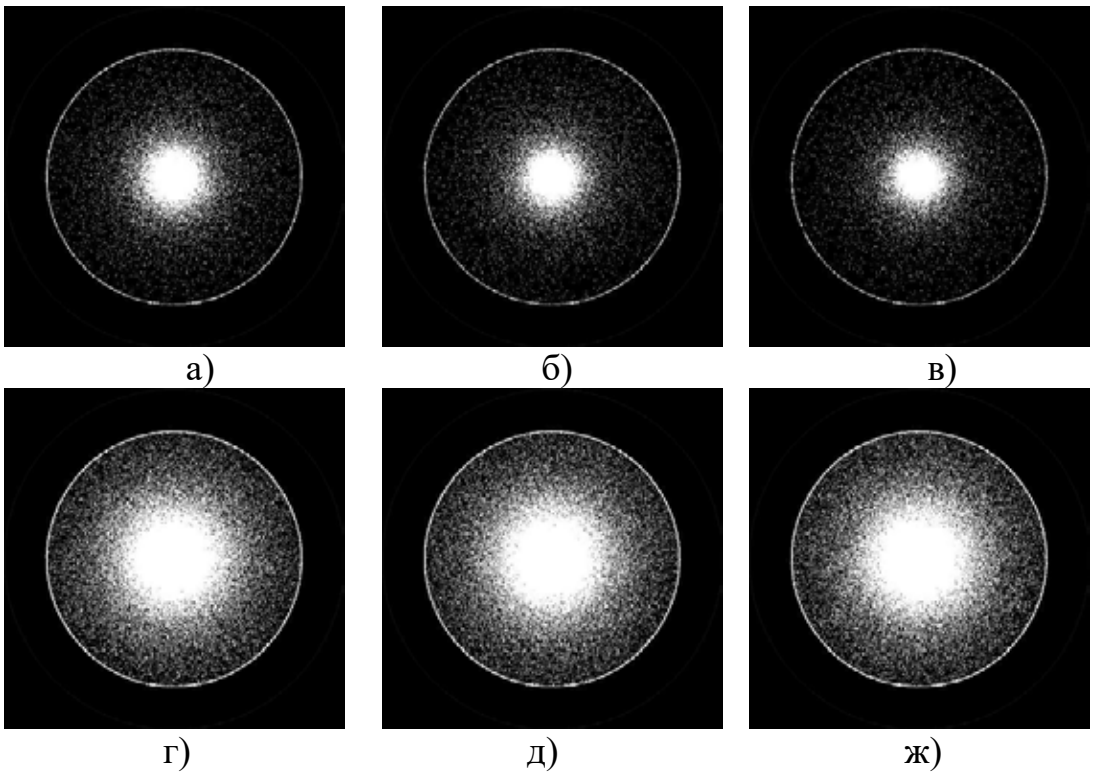


Рисунок 1. Фотометричні зображення другої фокальної площини верхнього та нижнього рефлектора для величин фактору анізотропії 0.79 (а, г), 0.84 (б, д); 0.89 (в, ж) відповідно для зразка епідермісу товщиною 38 мкм

Числовими результатами моделювання є наступні оптичні параметри: коефіцієнти дзеркального Rs і дифузного Rd відбиття, коефіцієнт поглинання A та коефіцієнт пропускання T (рис 2 – рис. 4).

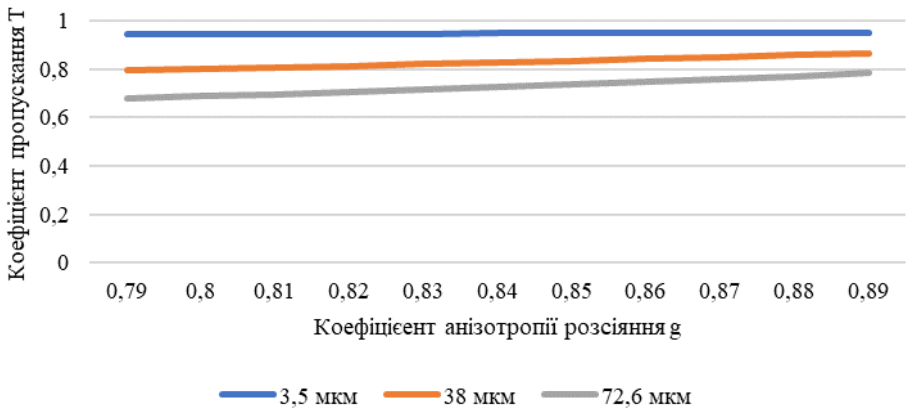


Рисунок 2. Залежність коефіцієнта пропускання T від величини фактору анізотропії розсіяння для зразків епідермісу товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм

Коефіцієнт пропускання T характеризує кількість випромінювання, що пройшло крізь тканину. З рис. 2 видно, що коефіцієнт пропускання при зміні фактору анізотропії розсіяння тканини для товщини 3.5 мкм сталий (±1%), а для зразків 38 мкм і 72.6 мкм плинно зростає. Чим менша товщина зразка, тим менший кут нахилу зростання прямої.

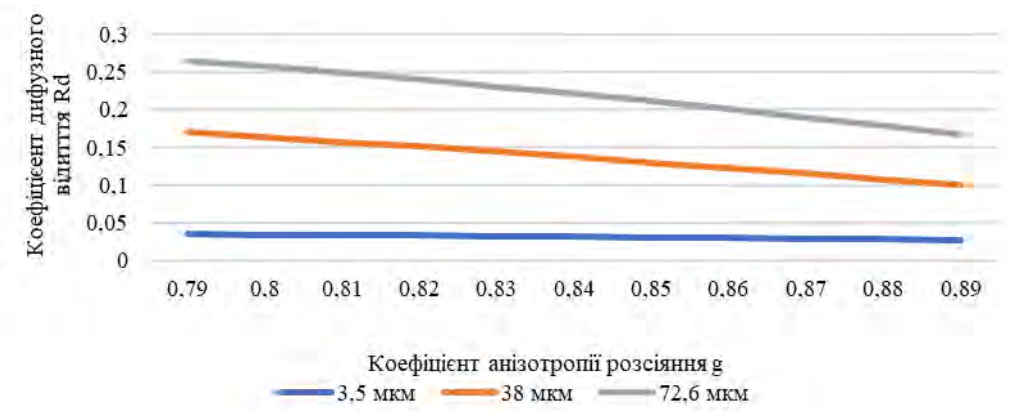


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта дифузного відбиття Rd від величини фактору анізотропії розсіяння для зразків епідермісу товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм

Коефіцієнт дифузного відбиття Rd характеризує здатність оптично мутного біологічного середовища (епідермісу) дифузно розсіювати падаюче на нього випромінювання. Коефіцієнт дифузного відбиття Rd при зростанні фактору анізотропії g для всіх товщини зразків 3.5 мкм, 38 мкм і 72.6 мкм плинно спадає. Аналізуючи рис. 3 можна помітити, що чим більша товщина зразка, тим більший кут нахилу прямої.

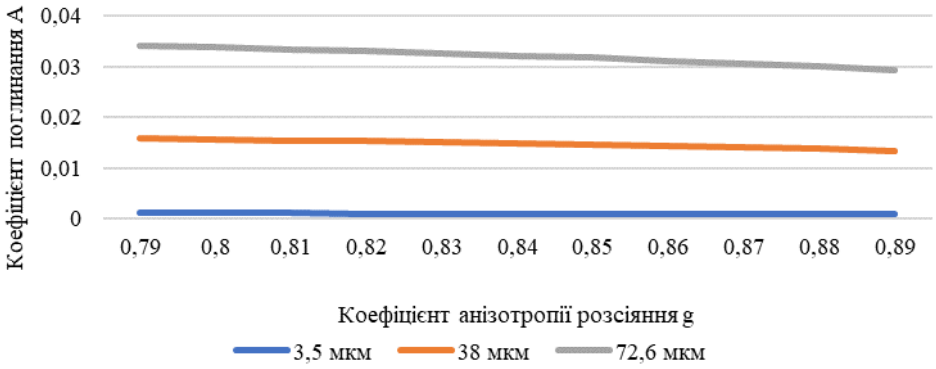


Рисунок 4. Залежність коефіцієнта поглинання A від величини фактору анізотропії розсіяння для зразків епідермісу товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм

Коефіцієнт поглинання A характеризує здатність тканини поглинати падаюче на неї випромінювання оптичного діапазону. При зміні фактору анізотропії g, коефіцієнт поглинання A плинно зменшується для товщини зразків 3.5 мкм, 38 мкм і 72.6 мкм. Чим менше товщина зразка, тим менше кут нахилу прямої.

Отриманні у ході модельного експерименту коефіцієнти залежать від довжини хвилі та показують характеристичну залежність процесів

світлорозсіяння епідермісом при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами. Представлені значення доволі вдало корелюють с аналогічними оптичними параметрами інших біологічних середовищ [1 – 3, 6] і тому можуть вважатись прийнятними для подальшого аналізу.

ВИСНОВОК

У даній роботі було здійснено моделювання поширення оптичного випромінювання у фотометричній системі з еліпсоїдальними рефлекторами для трьох зразків епідермісу різної товщини. У ході симуляції були отримані фотометричні зображення другої фокальної площини верхнього та нижнього еліпсоїдального рефлектора при зміні фактору анізотропії та сталих оптичних властивостях тканини (коефіцієнтів розсіяння та поглинання, а також показника заломлення). У подальшому планується дослідження залежності рівня освітленості у фотометричних зображеннях від величини фактору анізотропії розсіяння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Королевич А.Н., Олейник Е.В., Севковский Я.И., Хайруллина А.Я. Особенности спектра диффузного отражения и пропускания нормальных и опухолевых тканей // Журнал прикладной спектроскопии. - 1993. - Т. 58. - 5-6. - С. 555-559.

[2] Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії світлорозсіяння біологічними середовищами: монографія / М.О. Безуглий, Н.В. Безугла. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 308 с.

[3] Пилипенко Е.А. Отражательная и флуоресцентная спектроскопия кожи человека in vivo: - Саратов: СГУ, 1998.

[4] M.A. 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.

[5] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019..

[6] Тучин В.В., Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях, - Саратов.-1998.-с.20-22.

Науковий керівник – д.т.н., доцент Безуглий М.О.

УДК 615.847.8

Р. А. Рогожніков, студент гр. ПБ-82, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНІ АПАРАТИ МАГНІТОТЕРАПІЇ

Анотація. Автоматизовані апарати магнітотерапії (ААМ), використовують дію магнітного поля для лікувального впливу на біологічні тканин (БТ). Розглядається новий принцип побудови автоматизованого апарату магнітотерапії, що контролює процес проведення магнітотерапії має біологічний зворотній зв'язок та можливості управління параметрами магнітного поля (градієнта температури, частоти, форми імпульсу). Були проведенні дослідження з вимірювання еквіпотенціальних кривих на модернізованих індукторах апарату «МІТ-11А». На основі експериментальних і теоретичних досліджень запропоновано дієву структурну схему автоматизованого магнітотерапевтичного апарату із залежністю від біотропних параметрів, а саме з біологічним температурним зворотнім зв'язком.

Ключові слова: автоматизований магнітотерапевтичний апарат, управління параметрами магнітного поля.

ВСТУП

Серед величезного спектра фізіотерапевтичних методів лікування є напрямок, що ґрунтується на впливі низькочастотного магнітного поля на зону захворювання або на весь організм в цілому, а саме магнітотерапія. При цьому тканини організму не має залишкового намагнічування, а магнітні властивості передаються окремим складовим організму. Магнітне поле (МП) стимулює відновлення роботи нервової системи, поліпшує загальне самопочуття, підвищує місцевий і загальний імунітет, нормалізує травлення, стимулює тонус, налагоджує роботу органів дихання [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В сучасних діючих магнітотерапевтичних апаратах (МТА) місцевої (локальної) дії є багато недоліків, що обмежують терапевтичні функції МТА. Актуальним є питання побудову автоматизованого магнітотерапевтичного апарату (АМТА), при якому контролюється процес проведення магнітотерапії та синхронізуються значення параметрів МП з реакцією організму людини на даний фізіотерапевтичний метод, що дає змогу підтримувати або корегувати його вплив. Так як варіація дії МП повністю залежить від біотропних параметрів, а саме: індукції, градієнта, вектора, частоти, форми імпульсу, експозиції, локалізації та ін [2].

АВТОМАТИЗОВАНІ АПАРАТИ МАГНІТОТЕРАПІЇ

Нами запропонована класифікація автоматизованих магнітотерапевтичних апаратів наведена на рис. 1. Основними класифікаційними напрямами вибрані – призначення апаратів, зона впливу, мобільність, тип індуктора, зоною впливу, за видом сформованого сигналу струму та за типом керованого параметра зворотного зв'язку.

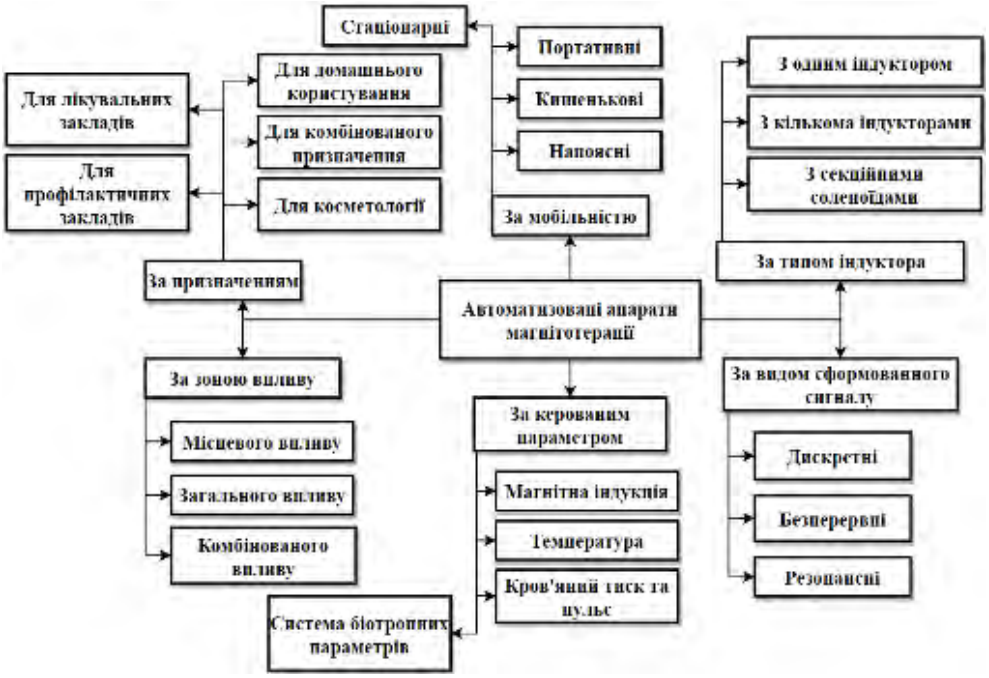


Рис. 1 Класифікація автоматизованих апаратів магнітотерапії.

Задачею розробки такої автоматизованої системи магнітотерапії біологічних тканин (БТ) є терапія в поєднанні з діагностикою, що розширює функціональні можливості таких апаратів, за рахунок впровадження систем температурного контролю, контролю пульсу, параметрів артеріального тиску з автоматизацією процесу накопичення та зняття діагностичної інформації, впровадження гарантованої безпеки, під час процедури та підвищення ефективності використання фізіотерапевтичних процедур[3].

Так модернізований апарат «МІТ-11А» має більш ефективну структуру, автоматизовано алгоритм роботи та систему підтримки реальних значень постійної та змінної складових магнітної індукції в індукторі та їх прогнозовану залежність від частоти. Основним методом контролю впливу магнітного поля на тканини, був взятий інтегральний метод контроль температурних градієнтів.

На основі дослідження був розроблений спільно з фірмою «Медінтех» автоматизований апарат магнітотерапії біологічних тканин (БТ) «МІТ-11ААТ» з діагностикою температур. В структурі апарату використовується блок датчиків градієнта температур та датчиків температури тіла, що гарантує безпечну, ефективну та надійну роботу автоматизованого апарату магнітотерапії та забезпечує повну автоматизацію та синхронізацію з параметрами дії магнітного поля і температурною реакцією пацієнта. Датчики температури індуктора контролюють його температурні характеристики, гарантуючи безпечну роботу індуктора і стан пацієнта [3].

Процес ефективності впливу імпульсним магнітним полем на пацієнта контролюють через заміри значень магнітної індукції на ділянці тіла пацієнта в зоні дії поля та значень часового і поверхневого градієнтів температури в цій же зоні в часовий період з початку процедури впливу і її закінчення [4].

Спроєктований автоматизований апарат магнітотерапії, структурну схему якого представлено на рис. 2, працює як в ручному, так і в автоматизованих режимах – з синхронним реагуванням, з асинхронною реакцією та

комбінованому комплексному режимі [5]. При роботі в ручному режимі всі налагодження та виміри з контролем параметрів магнітного поля та стану пацієнта під час фізіотерапевтичної процедури виконуються послідовно з індикацією значень на панелі керування з фіксацією значень магнітного поля, тривалості процедури, стану пацієнта. При виходу за задані межі формується сигнал тривоги, відбувається налагодження заданих параметрів і відновлюється робота апарату. При роботі в автоматизованому режимі — першого синхронному режиму параметри магнітного поля синхронізовані безпосередньо з вихідними сигналами блоку датчиків (датчики кров'яного тиску, пульсу, градієнтів температури, датчиків температури зон тіла, на які діє магнітне поле і датчиків температури індуктора, по значенню якого судять як безпечно й оптимально працює індуктор) та датчиків Холла і по їх значеннях налаштовує режими дії магнітного поля в фізіопроцедурі. При другому асинхронному режимі такий зв'язок відсутній, хоча інформація про стан пацієнта та значення параметрів температурних градієнтів зон впливу магнітного поля на тіло пацієнта в зоні індукторів в наявності. В третьому комбінованому комплексному режимі стан контролю чередується від синхронного до асинхронного та не періодичного в якому контроль параметрів апарату і стану пацієнта проводять з потреби. В цих режимах блок керування 1 з частотою, що визначає швидкість переміщення магнітного поля, видає код, який ділиться на дві частини. Перша частина коду (сукупність сигналів) визначає номер ключа в розподільнику, який повинен включатися і пропускати струм через певну секцію скафандра [6].

Друга частина коду визначає значення цього струму. Створене струмом магнітне поле, індукція, якого пропорційна значенню струму, що протікає в секціях індуктора [7].

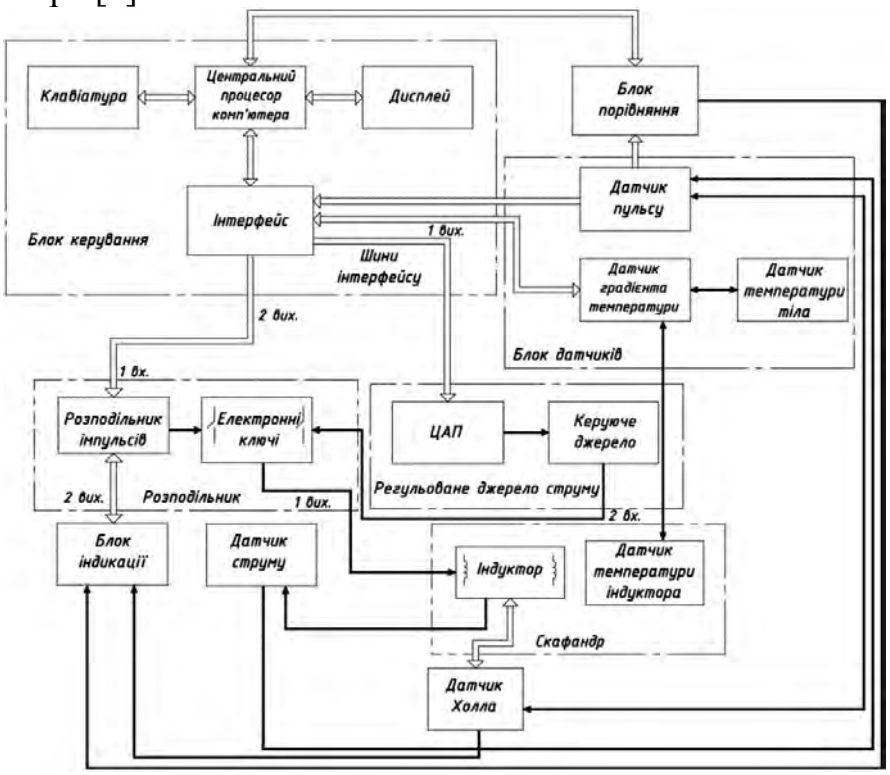


Рис 2. Структурна схема автоматизованого магнітотерапевтичного апарату

ВИСНОВОК

На базі теоретичного та практичного дослідження модифікованого апарата “МІТ-11ААТ” було запропоновано та розроблено автоматизована система магнітотерапії біологічних тканин (БТ) у якому базовим методом контролю впливу магнітного поля на тканини, був взятий контроль температурних градієнтів, що гарантує безпечну експлуатацію, розширені функціональні можливості та адаптацією до індивідуальних властивостей пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Високоточні джерела змінних магнітних полів: монографія / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, В.Ю. Рудик, Т.О. Рудик. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020.- 156 с. ISBN 978-966-990-006-7 https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35984

[2] 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

[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] 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. 139–144.

[6] Tymchik G.S., Tereshchenko M.F., Soroka S.O., Tereshchenko M.M. Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object/ XIII International PhD Workshop OWD 2011, 22–25 October 2011 - с. 295-299

[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 615. 471.03

О.Д. Рудий, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОНІТОРИНГ ЕКСПОЗИЦІЙНИХ ДОЗ ТА ЇХ РІВНЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. В статті розглядається проблеми визначення еквівалентних поглинених доз для працівників медичних закладів та їх пацієнтів, що проходять рентгенодіагностику або терапію. Відпрацьовується методика досліджень та проаналізовані значення експозиційних доз для внутрішніх органів людини на різній висоті та місцезнаходженні у діагностичному кабінеті.

Ключові слова: Моніторинг доз опромінення, дозиметрія, методика визначення експозиційної дози.

ВСТУП

Оцінка опромінення робітників медичних закладів є значущою та актуальною проблемою на сьогоднішній день. Ефективність захисту лаборантів суттєво залежить від розповсюджується гамма промені, їх інтенсивність та вплив на системи органів [1]. Поле розповсюдження можна описати такими основними фізичними величинами, як флюенс часток та енергетичним спектром. Зокрема , з точки зору, фізичного впливу треба враховувати особистості отримання опромінення біологічними тканинами [2]. Еквівалентна доза, для будь-якого органу, окремо, та ефективна доза були введені, в цілях управління ризиками, а також для встановлення меж річних доз [3].

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕВИЩЕННЯ РІВНЯ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ

Дослідження показують, що розробка більш складних і тривалих процедур в поєднанні з великою кількістю пацієнтів неминуче призводить до збільшення опромінення персоналу лікарні. Більшість процедур вимагають, щоб персонал залишався поруч з пацієнтом під час процедур з візуалізацією. Дослідження показують, що понад 50% з них отримують дозу, що перевищує дозволений річний ліміт в 20 мЗв, іноді доходячи до щомісячних доз вище 20 мЗв [4]. Це означає, що важливо розробити точну програму дозиметричного нагляду, щоб уникнути недооцінки дози для працівників. Знання спектру опромінення, якому піддається медичний персонал, дозволило б більш точно розрахувати дозу, але також дозволило б ретроспективно дізнатися дозу, отриману органом, і це незважаючи на зміну в часі, робочих величин для зовнішнього опромінення. Адаптація детектора до звичайного застосування дозиметрії має на увазі, що пристрій можна використовувати незалежно від поля випромінювання, колімації або положення в поле випромінювання.

АЛГОРИТМ ВИМІРЮВАННЯ РЕАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ДОЗИ

Виміри проводились у кабінеті з максимальним радіусом $R_{\max}$ навколо рентген трубки $R_{\max}$ = 3 м, та на чотирьох висотах h_n. Ці висоти були підібрані таким чином щоб відповідати частинам тіла: кришталик ока – h_1 = 170 см, грудини – h_2 = 135 см, поясу – h_3 = 96 см та коліна h_4 = 53 см. Дані види замірів були проведені три рази - зі швидкістю отримання зображення – 3 кадри за секунду, напругою на аноді трубки U_a = 74 кВ та струму I_a =12 мА.

Перший тип заміру проводився для заміру значень випромінювання у стандартних положеннях для лаборантів. Було обрано чотири найбільш розповсюдженіших місць, де перебувають працівники (Рис. 1).

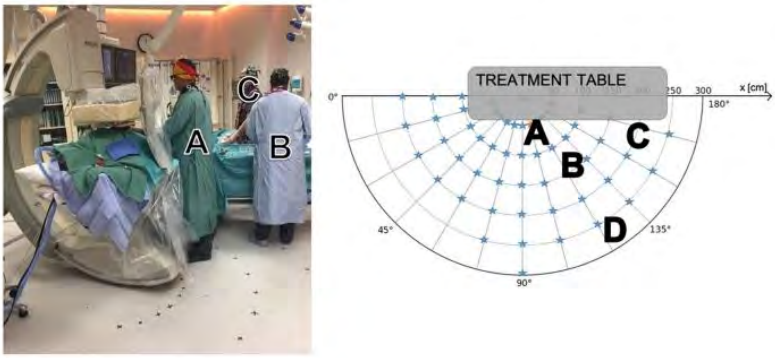


Рис. 1 - Чотири найбільш розповсюджених місць [4]

Друга серія вимірювань полягала в вимірюванні енергетичних спектрів навколо кушетки пацієнта. Знімки проводилися кожні 15 °, 180 ° навколо антропоморфного фантома, кожні 50 см.

На рис.1 справа, кожен перетин дуги і лінії є положення вимірювання. Зони вимірювання позначені синіми зірочками.

Дані були скориговані для спільного використання пікселів і ефективності виявлення. Кожен отриманий спектр був сегментований на осередки енергії, кожна з яких множилася на ваговий коефіцієнт, що залежить від енергії. Значення, представлені на карті, інтерполюються лінійною функцією між точками вимірювання.

На рис. 2 і 3 показані енергетичний спектр, який вимірюється у людини, що тримає дозиметр на чотирьох висотах у чотирьох стандартних положеннях тіла медичного персоналу. На обох рисунках представлений один і той же набір даних по-різному. На рис. 2 представлений спектр, який вимірюється для зростання у кожного співробітника. На рис. 3 шкали адаптовані для полегшення порівняння.

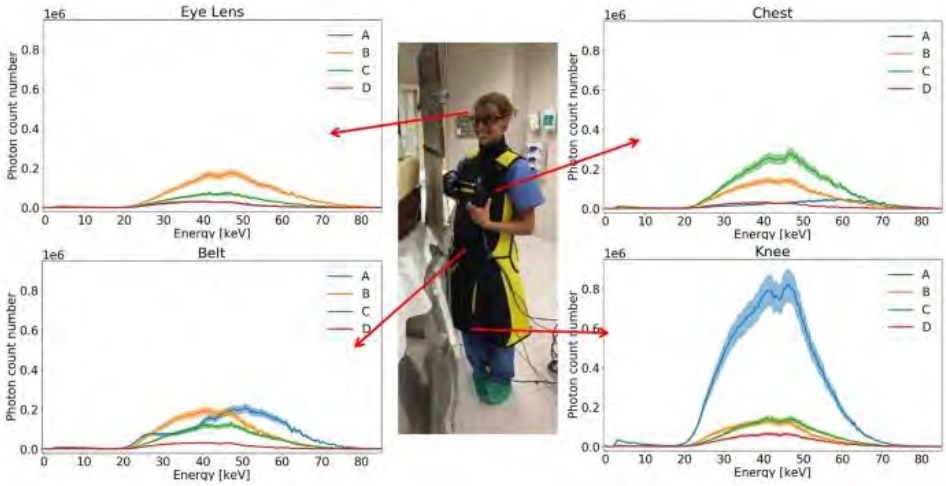


Рис. 2 - Енергетичні спектри для кожної із зон опромінення з врахуванням засобів захисту [4]

На рис. 3 показаний енергетичний спектр, який вимірюється на чотирьох місцях розташування співробітника. [1]

Після отримання значень параметрів іонізуючого випромінювання необхідно оцінити результати та зробити висновки щодо вихідних радіаційних характеристик рентгенодіагностичної або терапевтичної апаратури.

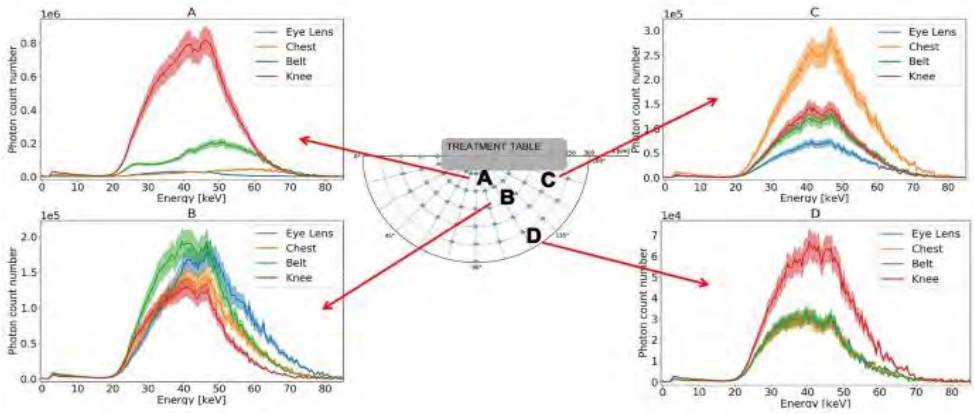


Рис. 3 - Енергетичні спектри в абсолютних значеннях фотонів опромінення для кожного із місць розташування людини. [4]

Так основна радіаційна характеристика - інтенсивність випромінювання J_n, що пройшла через об'єкт дослідження , визначається із співвідношення

$$Jn = F/\Delta S = Km \cdot Una\ Ia, \quad (1)$$

де F – потік енергії випромінювання, що пройшов через досліджуємий об'єкт за одиницю часу, ΔS – площа досліджуємого об'єкта , K_m- коефіцієнт пропорційності, що залежить від матеріалу аноду та властивостей поглинавача, n- коефіцієнт, що залежить від властивостей поглинавача (для радіодіагностики і терапії біологічних тканин $n=5$); U_a , I_a - анодні напруга та струм джерела рентгенівського випромінювання.

Як при рентгенодіагностиці так і при рентгенотерапії важливими радіаційними характеристиками є поглинена доза D_n випромінювання

$$Dn = W/(V \cdot m), \quad (2)$$

де W– енергія випромінювання, що поглинена в V- об'ємі речовини з m– масою.

Потужність P такої поглиненої дози визначається , як відношення поглиненої D_n дози в одиницю часу t

$$P = D_n/t \quad (3)$$

Тоді значення узагальненої інтегральної $D_{інт}$ поглиненої дози відповідає повній кількості поглиненої енергії фотонів в даній m масі за час t

$$D_{інт} = P \cdot m \cdot t. \quad (4)$$

Для практичної оцінки впливу на організм чи його частину використовують еквівалентну дозу

$$D_{екв} = D_n \cdot K_T, \quad (5)$$

де K_T – коефіцієнт якості даного виду випромінювання та конкретної біологічної тканини.

Таким чином, вимірюючи значення енергетичних параметрів: анодної напруги U_a та струму I_a та радіаційних: інтенсивності випромінювання J_n, поглиненої дози D_n, та її потужності P, інтегральної поглиненої дози $D_{інт}$, еквівалентну дозу $D_{екв}$ і підтримуючи їх стабільність в допустимих межах забезпечується необхідний рівня безпеки досліджуваних біологічних тканин [5,6].

Принцип радіаційної безпеки встановлює для персоналу та населення межі допустимих доз на рівні порогу радіаційних ефектів приведених у таблиці 1. [5]

Таблиця 1 – Межі доз іонізуючого випромінювання [5]

Нормована величина	***Ліміт дози, мЗв***		
	персонал (категорія А)	***персонал (категорія Б)***	***особи з населення (категорія В)***
Ефективна доза	20 мЗв за рік у середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв за рік	2 мЗв за рік	1 мЗв за рік
Еквівалентна доза за рік для:			
кришталика	50	15	15
для шкіри	500	50	50
для кистей та стоп	500	50	-

ВИСНОВКИ

Технічний прогрес в технологіях систем візуалізації вимагає точніше оптимізувати рівня дози отримувану пацієнтами та персоналом. Це призводить до переоцінки річних меж доз опромінення. Поля випромінювання які отримують лаборанти суттєво залежать від їх місцезнаходження. Розробляємий метод визначення випромінювання, на сьогодні, найбільш інформативний.

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 информационо-энергетичние 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 «КПИ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.* - 2012. - № 43. - С. 80-87.

[3] О.Д. Рудий , М.Ф. Терещенко Принципи моніторингу рівня експозиційної дози в рентгенодіагностиці // 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. – С.230-234.

[4] Characterisation and mapping of scattered radiation fields in interventional radiology theatres. // Scientific Reports. – 2020. – №18754.

[5] Про затвердження Державних санітарних правил і норм "Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур". // Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 4 червня 2007 року N 294 / – Україна: МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ, 2017.

[6] 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

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 616-036.3

А.В. Савченко, студент групи ПБ-з92мп, С.П. Вислоух к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ В ІНКУБАТОРІ ДЛЯ НОВОНАРОДЖЕНИХ

Анотація. В статті розглянуто систему контролю температури в інкубаторі для новонароджених, а також досліджено відхилення середньої температури в інкубаторі. Наведено відповідні розрахункові формули та наведена методика регулювання температури є необхідними при калібруванні, обслуговуванні, модифікації та проектуванні нових інкубаторів.

Ключові слова: інкубатор для новонароджених, моніторинг фізіологічних параметрів, система контролю температури в інкубаторі, розрахунок відхилення середньої температури.

ВСТУП

Інкубатор для новонароджених є незамінним апаратом для ізольованого догляду й успішного лікування недоношених і хворих немовлят у родильних будинках та у лікарнях у післяпологовий період. Апарат забезпечує оптимальні кліматичні умови, що необхідні для умов життя, зменшує небезпеку інфекції, сприяє лікуванню й швидкому розвитку дитини. Кювез забезпечує необхідну для дитини постійну температуру, вологість повітря й концентрацію кисню в необхідних межах

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Враховуючи особливості догляду за дитиною у інкубаторі та вплив на життєздатність дитини факторів внутрішнього середовища, що створюється у інкубаторі, а також особливості конструкції інкубаторів для новонароджених, найважливішою з характеристик вважається температура середовища в інкубаторі. Тому при сертифікаційних випробуваннях найважливішою з показників безпеки, яка підлягає дослідженню та визначенню, є температура.

Зважаючи на це, вважаю за потрібне детально розглянути систему контролю температури в інкубаторі для новонароджених, а також виконати дослідження відхилення середньої температури в інкубаторі.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основою апарата є шафа, що пересувається на 4-х колесах, і яка оснащена ручкою для переміщення.

На одній стороні шафи розміщено змінний блок керування приладу, а на протилежній стороні - блок зволожувача. У висувному блоці керування приладу розміщені блоки: терморегулятор; блок сигналізації небезпеки; інфрачервоний нагрівач, що забезпечує нагрів повітря і вентилятор для повітрообміну. Вмикання й вимикання нагрівання, а тим самим і підтримування сталості температури повітря, необхідної для дитини, забезпечується автоматично електронною системою регулювання температури. Регулювання вологості повітря та концентрації кисню здійснюється за допомогою мікроконтролеру системи керування.

Блок зволожувача виконує дві функції: підтримує сталість відносної вологості та сталість необхідної концентрації кисню в просторі кабіни як в автоматичному режимі. так і в ручному.

У відповідності до вимог стандартів нормується стабільність та рівномірність температурного поля всередині інкубатора. Для визначення стабільності та рівномірності температури повітря у дитячому відсіку інкубаторів на висоті 10 см від поверхні матраца встановлюють п'ять датчиків температури у різних точках інкубатора, як це показано на рис. 1.

Рис. 1. Розташування датчиків усередині інкубатора.

Еквівалентна схема розташування датчиків наведена на рис. 2. Контрольна точка А повинна перебувати над центром матраца, а інші точки B, C, D, E – над центром чотирьох площин, що утворені лініями, які ділять матрац навпіл по ширині та по довжині. [1]

За умови сталого температурного режиму температура інкубатора не повинна відрізнятися від середньої температури інкубатора більш ніж на 0,5 °C.

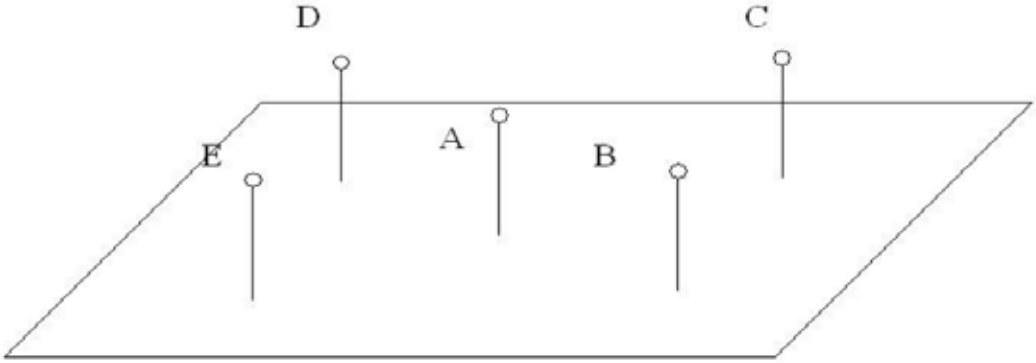


Рис. 2. Еквівалентна схема розташування датчиків.

Після підключення датчиків температури до вимірювального приладу на інкубаторі встановлюється температура у двох режимах регулювання 36 °C і 32 °C, При цьому використовується режим нагрівання з регулюванням по температурі повітря. Похибка приладу вимірювання температури не має перевищувати 0,1°C. Вимірювання виконуються після досягнення інкубатором

стаціонарного температурного режиму роботи інкубатора – режиму, у якому середня температура в точці А змінюється не більш ніж на 1 °С протягом однієї години. [2]

З метою оцінки точності робочої характеристики інкубатора спочатку виконується аналіз відхилення середньої температури від температури інкубатора. Для цього відповідно до вимог ГОСТ 30324.19-98 порівнюється середня температура інкубатора за період вимірювання протягом однієї години та будь-яке виміряне значення температури в точці А за той же період часу за формулою (1). При цьому максимальне відхилення не має перевищувати 0,5 °С.

$$\mathrm{T_I} = T_{i(\text{ср})-\mathrm{T}_i}, \qquad (1)$$

де T_I – відхилення середньої температури від температури інкубатора; T_i – температура інкубатора – виміряне значення температури в точці А; $T_{i(ср)}$ – середня температури інкубатора, яка визначається в точці А за такою формулою:[3]

$$T_{i(ср)} = \frac{T_{(i)\text{макс}} + T_{(i)\text{мін}}}{2}, \qquad (2)$$

де $T_{(i)макс}$ та $T_{(i)мін}$ – відповідно максимальне та мінімальне виміряне значення температури в точці А за період вимірювання протягом однієї години.

Після аналізу відхилення середньої температури від температури інкубатора виконується аналіз відхилення середньої температури в контрольних точках B, C, D, E від середньої температури інкубатора. Порівнюється середня температура в контрольних точках B, C, D, E за період вимірювання протягом однієї години та середня температура інкубатора відповідно до формули (2) за той же період часу. Максимальне відхилення не має перевищувати значення 0,8°С при нормальному розташуванні матраца, а при його нахилі – 1°С.

$$T_2 = T_{(i)\text{ср}} - T_{(\text{к})\text{ср}} \qquad (3)$$

де T_2 – відхилення середньої температури інкубатора від середньої температури в контрольній точці; $T_{(i)ср}$ – середня температура інкубатора, що визначається за формулою (2); $T_{(к)ср}$ – середня температура в контрольній точці, що визначається за формулою:

$$T_{(\text{к})\text{ср}} = \frac{T_{(\text{к})\text{макс}} + T_{(\text{к})\text{мін}}}{2} \qquad (4)$$

де $T_{(к)макс}$ та $T_{(к)мін}$ – відповідно максимальне та мінімальне виміряне значення в одній з контрольних точок B, C, D, E за період вимірювання протягом однієї години.[4]

Далі виконується аналіз відхилення середньої температури від встановленої температури інкубатора. Для цього середня температура інкубатора $T_{(i)ср}$ порівнюється із встановленою температурою регулювання (36 °С), при цьому максимальне відхилення не повинне перевищувати значення 1,5°С.

Аналіз відхилення показання приладу для вимірювання температури інкубатора від виміряного значення температури виконується шляхом порівняння показань власного приладу вимірювання температури, який є частиною інкубатора, та значенням температури в контрольній точці А. Вимірювання виконуються протягом однієї години. Максимальне відхилення не має перевищувати значення 0,8°С.[5]

Для визначення відхилення температури інкубатора від встановленого значення в режимі регулювання за датчиком температури шкіри інкубатор переводять у режим регулювання за датчиком температури шкіри з температурою регулювання 36°С. Вимірювання виконують після досягнення інкубатором стаціонарного режиму. Порівнюється температура, що виміряна за допомогою датчика температури шкіри, та температура, що встановлена засобами управління інкубатора. Величина відхилення не має перевищувати 0,7°С.

ВИСНОВКИ

Представлена методика регулювання температури в інкубаторі для новонароджених та надані розрахункові формули дозволяють підтримувати сталу температуру за допомогою системи керування. Наведена в статті інформація є незамінною для калібрування, обслуговування, модифікації та проектування нових інкубаторів для новонароджених.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] IEC 60513. Fundamental aspects of safety standards for medical electrical equipment. −1994. −125с.
[2] ISO 13485. Medical devices – Quality management systems-System requirements for regulatory purpose. – 2003. – 48 с.
[3] IEC 62353. Medical electrical equipment. Recurrent test and test after repair of medical electrical equipment. −2007. −50 с.
[4] ДСТУ 3798 - 98 Вироби медичні електричні. Частина 1. Загальні вимоги безпеки: (IEC 601–88) – Чинний від 2000 –01–01. – К.: Держстандарт України 1999. – 166 с.
[5] ГОСТ 12.2.025-76 Изделия медицинской техники. Электробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний: − Введен 1977.01.01. – М.: Изд-во. стандартов. – 1977. – 29 с.
[6] ГОСТ 30324.19-95 Изделия медицинские электрические Часть 2. Частные требования безопасности к детским инкубаторам:– Введен 2002 –01–01. – К.: Госстандарт Украины. – 2001.–50 с.

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

УДК 616.71-007.234

А.С. Смолка, студентка гр. ПБ-з92мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ОРГАНІЗМУ

Анотація. У роботі обгрунтовано актуальність вибраної теми, розглянуто основні методи денситометрії, що найбільш використані в клінічній практиці, на основі яких було визначено напрямок дослідження щодо щільності кісткової тканини. Ультразвуковий метод діагностики кісткової тканини дозволяє виявити остеопороз на нульовій стадії, а також є найбільш безпечним для використання.

Ключові слова: остеопороз, ультразвукова діагностика, денситометрія, мінеральна щільність кісткової тканини.

ВСТУП

Патологія кісткової тканини, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), посідає четверте місце серед основних медико-соціальних проблем як в Україні, так і у всьому світі, після захворювань серцево-судинної системи, онкології та цукрового діабету. Насамперед, обумовлюють таку актуальність проблеми: її висока розповсюдженість, великий процент травматизму та інвалідність, як наслідки несвоєчасної діагностики та лікування.

Остеопороз (ОП) – системне метаболічне захворювання скелету, яке прогресує з віком, характеризується зменшенням кісткової маси тканини, порушенням мікроструктури кістки, що, як наслідок, призводить до підвищення крихкості кісток та збільшення ризику переломів [1]. У наших кістках містяться мінеральні речовини, зокрема кальцій і фосфор, які надають їм твердості та щільності. Остеопороз характеризується зменшенням вмісту цих мінеральних речовин у всіх кістках скелета.

Низька мінеральна щільність кісткової тканини (МЩКТ) є основним кількісним показником ОП, на основі ступеня зниження якого і діагностують захворювання. Наразі використовується єдиний універсальний діагностичний показник для усіх методик денситометрії – Т-критерій, котрий визначається як відношення фактичної кісткової маси пацієнта до вищого показника кісткової маси молодих здорових людей тієї ж статі, що розраховується у відсотках та стандартних відхиленнях [2]. Значення Т – критерію роз’яснюється наступним чином: від 3,0 до –1,0 – норма; від –1,0 до –2,5 – доклінічна стадія ОП - остеопенія; від –2,5 до –5,0 – ОП [3].

ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗУ

Найбільш поширеними методами неінвазійної діагностики є ультразвукова кісткова денситометрія, двох-енергетична рентгенівська денситометрія (абсорбціометрія), рентгенівська периферична кісткова денситометрія, двох-фотонна абсорбціометрія та кількісна комп’ютерна денситометрія. Рідше застосовують оптичний метод денситометрії, який полягає в аналізі оптичного випромінювання, що розповсюджується в біологічних тканинах, але цей метод ще тільки удосконалюється. Всі методи мають свої як переваги, так і недоліки.

Ультразвукова денситометрія заснована на вимірі швидкості поширення ультразвукової хвилі по поверхні кістки, а також на вимірі розсіювання хвилі в досліджуваній кістці. Вимірювані параметри можуть відображати еластичність,

щільність і твердість кісткової тканини [4]. Далі отримані результати аналізуються приладом, у порівнянні з нормативними значеннями, і видаються на монітор у вигляді графіка. Діагноз може бути встановлений відразу. Такий вид діагностики є найбільш поширеним та пріоритетним для початкової діагностики, адже можна виявити остеопороз на нульовій стадії з максимальною безпекою для пацієнтів, навіть для вагітних та новонароджених.

Двох-енергетична рентгенівська денситометрія (абсорбціометрія) – це найбільш точний спосіб виміру щільності кісткової тканини. За використанням двох різних рентгенівських променів проводиться оцінка щільності кістки в хребті та у стегновій кістці. Чим щільніше кісткова тканина, тим менший рентгенівський промінь через неї проходить. Зіставлення результатів абсорбції двох рентгенівських променів, що враховують поглинання кістковою тканиною й м'якими тканинами, дозволяє більш точно діагностувати зниження показника МЩКТ. За допомогою цього методу можна вимірювати від 2% втрати кісткової маси за рік [3]. Процедура займає мало часу, а дози радіаційного опромінення дуже низькі і практично дорівнюють величині натурального і безпечного радіологічного фону. Завдяки такому рівню опромінення, при необхідності, можна безпечно проводити діагностику всього скелета людини.

Рентгенівська периферична кісткова денситометрія має аналогічний двох-енергетичній денситометрії принцип одержання інформації та дозволяє вимірювати щільність кісткової тканини у таких зонах, як зап'ястя або п'яти. Периферичні денситометри – це портативне обладнання, яке зазвичай використовують для скринінгових досліджень та контролю лікування, адже для діагностики вони є не дуже ефективними.

Двох-фотонна абсорбціометрія, як метод дослідження, використовує радіоактивні ізотопи. Це дозволяє вимірювати щільність кісткової тканини в таких важкодоступних місцях, як стегнова кістка та хребет, але вимагає набагато більше часу для одержання результатів дослідження. Незважаючи на дуже низькі дози радіації, не є дуже поширеним у використанні методом.

Кількісна комп'ютерна денситометрія є різновидом томографії, який використовує рентгенівські промені для одержання дійсної картини й структури кісткової тканини в об'ємному зображенні. Метод комп'ютерної денситометрії дозволяє кількісно аналізувати ступінь поглинання рентгенівського випромінювання різними тканинами, в ньому відсутнє проекційне накладення прилеглих кісткових структур і оточуючих тканин. Недоліками комп'ютерної денситометрії є більш висока доза опромінення, в порівнянні з іншими методами, вартість дослідження, а також складності при дослідженні периферичних зон.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метод кількісної ультразвукової кісткової денситометрії заснований на вимірюванні швидкості поширення ультразвукової хвилі вздовж або поперек кістки. Вимірюється швидкість проходження звуку, яка вказує на щільність кісткової тканини. Знаходження щільності кісткової тканини методом кількісної ультразвукової діагностики випливає з законів поширення

ультразвуку в різних середовищах (табл. 1). Чим вище щільність середовища, тим більше швидкість ультразвуку [5].

Тіньовий метод представляє собою поширення ультразвуку вздовж поверхні кістки. Використання даного режиму осьової передачі підходить для діагностики довгих кісток (велика гомілкова або променева кістка). При цьому джерело і приймач ультразвукових сигналів знаходяться на одній стороні кістки. Другий метод заснований на поширенні ультразвуку поперек кістки, тобто режим поперечної передачі. Даний метод дозволяє виміряти швидкість ультразвуку в кістки при оцінці стану губчастих кісток (п'яткова кістка), виміряти товщину кістки. Датчики прийому і передачі ультразвукових хвиль розташовані на протилежних сторонах діагностується кістки.

Таблиця 1. Наближені значення швидкості ультразвуку в різних середовищах при температурі 36 °C

Середовище	***Щільність кг/м³***	***Швидкість ультразвуку м/с***
Повітря	1,3	330
Вода	1000	1430
Кров	1060	1570
Мозок	1025	1510
Жирова тканина	952	1450
М’язи	1075	1580
М’які тканини	1060	1540
Кістки (межі вимірювань)	1400-1900	4080

В результаті досліджень, у приладах даного типу ультразвукової денситометрії, передбачено усунення впливу шарів м'яких тканин, які можуть значно впливати на результат вимірювання параметрів кістки (а саме швидкості поширення ультразвуку). Включаючи в свій принцип роботи закони поширення ультразвукової хвилі під критичним кутом, та одночасно враховуючи вплив м'яких тканин, які можуть значно знизити точність вимірювання, даний метод визначення щільності кісткової тканини є найбільш ефективним для нашого дослідження. Запропонований перетворювач завдяки формі активного елементу перетворювача, що фокусує випромінювання на поверхні тканини, яку досліджують, забезпечує точне розташування діагностичного маніпулятора автоматизованої системи.

ВИСНОВКИ

Ехо-метод найбільш ефективно усуває вплив шарів м'яких тканин, тим самим підвищує точність визначення щільності кісткової тканини організму. Запропонований діагностичний маніпулятор завдяки параметрам формотворення підвищує ефективність застосування при визначенні втрати

щільності кісткової тканини. Завдяки цьому методу дослідження можливо підвищити економічну ефективність використання медичних приладів, що в свою чергу, підвищує шанси і надає можливість пацієнтам вчасно проходити діагностику. Вчасна автоматизована діагностика щільності кісткової тканини спільно з профілактичними методиками запобігання остеопорозу допоможе знизити медико-соціальні наслідки в нашій країні, що має значну економічну значущість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Генант Г.К., Купер С., Пур Г. и др. Рекомендации рабочей группы ВОЗ по обследованию и лечению больных остеопорозом // Остеопороз и остеопатии. –1999. – №4. – С. 206.

[2] Глухов А. В. и др. Остеопороз и хроническое обструктивное заболевание лёгких // Медичний журнал «Новости медицины и фармации». – 2010. – 318: 28–32.

[3] Kanis J. A. и др. Європейські рекомендації з діагностики та ведення остеопорозу у жінок в постменопаузальному періоді // Український ревматологічний журнал. – 2008. – 4 (34). – С. 10–15.

[4] Тимчик Г.С., Скицюк В.І., и Клочко Т.Р. Інформаційні технології діагностики стану біотехнічних об’єктів : монографія. – Київ: НТУУ"КПІ", ВПК "Політехніка", 2017. – 344 с., іл.

[5] Физические основы использования ультразвука в медицине : учебн. пособ. / И. И. Резников, В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов, А.Р. Зубарев та др. – Київ : УДК, 2015. – 13 с.

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

УДК 57.087: 617.57

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ У БІОНІЧНОМУ ПРОТЕЗУВАННІ КІНЦІВОК

Анотація. У роботі проведено аналіз систем розпізнавання рухів у біонічному протезуванні та методів дослідження природних сигналів тіла людини, які використовуються при створенні подібної апаратури. Наведено принципову схему системи розпізнавання рухів та описано принципи її функціонування. Проаналізовано ефективність застосування таких пристроїв для вирішення практичних завдань.

Ключові слова:. біонічне протезування, штучні кінцівки, розпізнавання рухів, методи вимірювання біологічних сигналів.

ВСТУП

Основна мета біонічного протезування полягає у створенні штучних частин тіла, які могли б відтворити функціонал здорових систем людського організму із найбільш можливою точністю. Водночас, одним із найбільш важливих завдань сучасного протезування кінцівок є підвищення точності розпізнавання біологічних сигналів тіла пацієнта. Враховуючи нестаціонарну природу таких сигналів і наявність різноманітних шумів та завад, що виникають підчас вимірювання необхідних показників при активній фізіологічній діяльності пацієнта, навіть новітні спеціалізовані системи не можуть забезпечити ідеальну точність відтворення значного набору функціональних рухів.

На фінальне рішення системи, яка повинна забезпечити розпізнавання певних рухів, впливає багато факторів. Наприклад: обраний метод дослідження біологічних сигналів, кількість вимірювальних каналів, точність позиціонування вимірювальних сенсорів, вид та кількість характеристик сигналу, по яким буде проведено оцінювання, обраний метод машинного навчання за допомогою якого проводиться класифікація і його проміжні параметри.

При цьому, серед методів дослідження, що використовуються для розпізнавання сигналів тіла пацієнта у протезуванні можна виділити: електроміографію, електроенцефалографію, електронейрографію, форс-міографію, електрично-імпедансну томографію, ультразвукові дослідження, тощо [1; 2]. Кожен із перерахованих методів має свої обмеження та переваги, але нажаль, за винятком електроміографії, переважна більшість із них все ще застосовується здебільшого у лабораторних умовах, без промислового впровадження.

Метою цієї роботи є огляд основних методів дослідження та аналіз ефективності їх застосування у сучасних системах розпізнавання рухів для біонічного протезування верхніх кінцівок.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Як було зазначено у попередньому розділі, ефективність систем розпізнавання рухів у протезуванні залежить від багатьох факторів. Один із них – це можливості вимірювальної апаратури, що застосовується при реєстрації

біологічних сигналів. Кількість вимірювальних каналів і тип сенсору, що буде застосовано у загальній системі протезу, обирається залежно від методу проведення досліджень, виду біологічного сигналу з яким працюватиме протез та кінцевої мети розробки.

Метод електроміографії передбачає вимірювання природного сигналу шляхом визначення електричної активності нервових закінчень м'язу, або його ступеню провідності [3]. Для таких досліджень зазвичай використовують поверхневі гелеві електроди, які розміщують на шкірі пацієнта над поверхнею певної групи м'язів, що обирається залежно від типу руху, який розпізнається системою або фізіологічних особливостей м'язового апарату пацієнта. Метод електроенцефалографії базується на дослідженні біоелектричних потенціалів мозку людини за допомогою сенсорів, які розміщуються на голові пацієнта [4]. Ці датчики створені для вимірювання найменших електромагнітних імпульсів, що виникають при виконанні рухів з метою подальшого перетворення сигналу на основному обладнанні. Метод форс-міографії базується на реєстрації параметрів тиску м'язів на вимірювальну поверхню сенсору підчас виконання рухів [5]. Зазвичай при проведенні форс-міографії використовується багатоканальні вимірювальні системи, які дозволяють проводити так званий топографічний розподіл прикладеної сили відносно місця розташування сенсорів. Метод електрично-імпедансної томографії полягає у визначенні розподілу питомого електричного опору всередині біологічного середовища у процесі виконання рухів чи жестів кінцівки [6]. Сенсори вимірюють напругу, яка створена завчасно відомим значенням інжектованого струму. На основі цих даних проходиться розрахунок питомого електричного опору або провідності відповідної тканини. Метод ультразвукових досліджень кукси пацієнта полягає у дослідженні акустичного сигналу отриманого внаслідок м'язової активності кінцівки з подальшим перетворенням його у набір зображень для їх розпізнавання і класифікації згідно заданого набору рухів [7]. Однак, як самостійний метод досліджень, ультразвукові вимірювання у біонічному протезуванні кінцівок використовуються не часто, адже вони обмежені дороговизною і габаритністю вимірювальних модулів, а також складністю обробки вихідного сигналу.

Варто зазначити, що вибір методу досліджень для системи біонічного протезу не обов'язково повинен обмежуватись лише одним варіантом та іноді передбачає комбіноване використання декількох видів сенсорів та методів дослідження біологічного сигналу в одній системі. Водночас, загальний принцип побудови системи розпізнавання рухів для біонічного протезу кінцівки є подібним незалежно від обраного методу вимірювання біологічних сигналів та зображений на рис. 1.

Як видно з рис.1 такі системи зазвичай містять у своєму складі: масив сенсорів, різноманітні схеми підсилення та обробки виміряних сигналів, блок передачі інформації та класифікатор, який надсилає інформацію про виконаний рух до системи керування протезу. Класифікатор (програмно-технічний модуль, з впровадженим алгоритмом машинного навчання) призначений для

співставлення вхідних біологічних сигналів із набором визначених категорій рухів здорової кінцівки, які повинна відтворити система керування протезу.

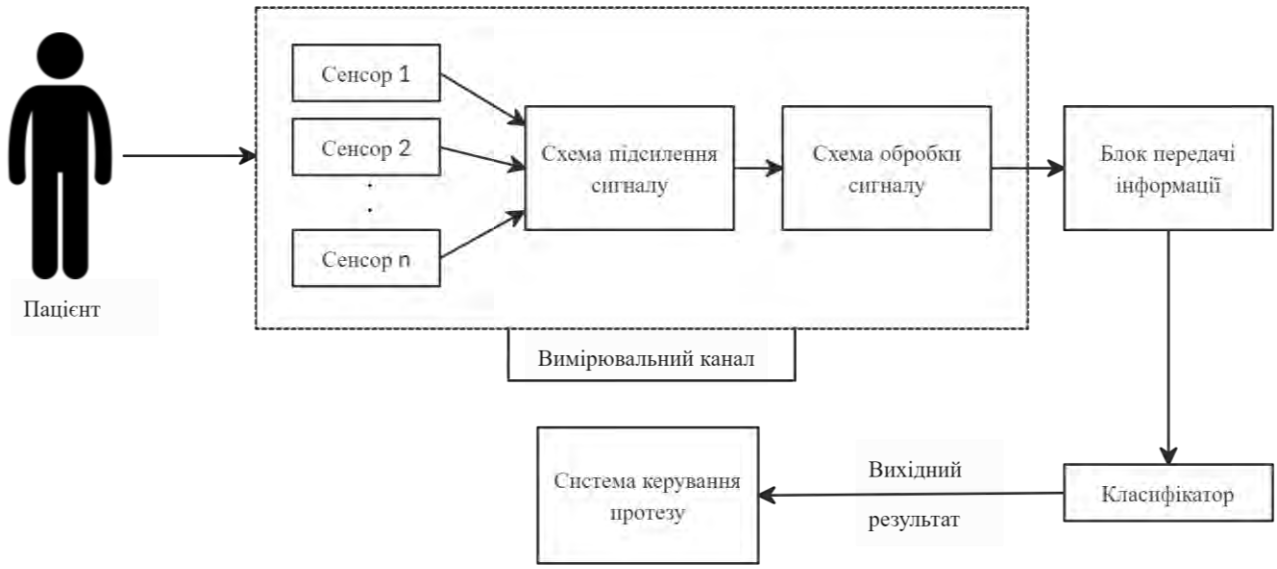


Рисунок 1. Узагальнена принципова схема системи розпізнавання рухів

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Аналізуючи ефективність застосування розглянутих методів вимірювання біологічних сигналів для систем розпізнавання рухів біонічних кінцівок, можна відмітити досить значну різницю у результатах при їх практичному використанні. Наприклад, у роботі [5] застосування 8-ми форс-міографічних каналів для розпізнавання 6-ти видів руху кінцівки дозволило досягти точності у 98,2%. В той час як застосування методу електрично-імпедансної томографії [6] дало результат 94% при класифікації 10 жестів за допомогою 10-ти вимірювальних каналів. Автори дослідження [3] змогли досягти ефективності 97.4% при розпізнаванні елементів корейської мови жестів за допомогою 8-ми електроміографічних каналів. Саме тому, перспективною є розробка системи розпізнавання на основі комбінованого застосування різних методів вимірювання біологічних сигналів, що може бути використана у біонічному протезуванні кінцівок.

У цій статті авторами було проаналізовано основні принципи побудови систем розпізнавання рухів для біонічного протезування. Зокрема, проаналізовано сучасні методи вимірювання біологічних сигналів тіла пацієнта, показано основні складові типової системи, проведено порівняння ефективності практичного застосування окремих методів розпізнавання рухів у біонічному протезуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] 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.

[2] 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.

[3] M. Ariyanto, W. Caesarendra, K. A. Mustaqim, M. Irfan, J. A. Pakpahan, J. D. Setiawan, A. R. Winoto, “Finger movement pattern recognition method using artificial neural network based on electromyography (EMG) sensor, ICACOMIT, 29-30 Oct 2015, Bandung, Indonesia (IEEE, 2015), pp. 12-17.

[4] EEG Mind Controlled Smart Prosthetic Arm – A Comprehensive Study / T. Beyrouthy, S. A. Kork, M. Abouelela, J. A. Korbane. // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2017. – C. 891–899.

[5] X. Jiang, L. Merhi, Z. Xiao and C. Menon, "Exploration of Force Myography and surface Electromyography in hand gesture classification", Medical Engineering & Physics, vol. 41, pp. 63-73, 2017.

[6] Y. Zhang and C. Harrison, "Tomo: Wearable, Low-Cost Electrical Impedance Tomography for Hand Gesture Recognition", in *Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology - UIST '15*, 2015

[7] Rushkevich Y. N. Muscle ultrasound imaging in the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis / Y. N. Rushkevich, G. V. Zabrodets, S. A. Likhachev. // Neuromuscular Diseases. – 2014. – C. 30–36.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Вонсевич К.П.

УДК 617.3

В.В. Цапенко, аспірант, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БАРОПОДОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІКИ СТОПИ

Анотація Проведений аналіз бароподометричного методу дослідження параметрів стопи, який дозволяє об'єктивізувати дослідження біомеханічних параметрів з врахуванням їх статичної та динамічної складових. Положення тіла має чітко визначені вимірювальні параметри в усій повноті, з урахуванням того, що постуральні проблеми пов'язані з нестійким підтриманням рівноваги тіла - виникає необхідність визначення, виміру та моделювання точних шляхів руху в інструментальних дослідженнях та встановлення ефективних методів лікування.

Ключові слова: біомеханіка, стопа, бароподометрія.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку приладобудування актуалізує прикладний аспект аналізу локомоцій людини. Діагностика постави людини не була б повною без вимірювання і оцінки стану опорно-ресорних властивостей стопи. Для об'єктивної оцінки впливу розподілу навантаження по стопі на локомоції необхідні клінічний аналіз руху та постурологічне обстеження (дослідження положення прийнятого тілом) [1]. Стопа є основним органом відчуття і руху людського тіла, її важливість більш очевидна для підтримки, як двоногого положення, так і одноногого під час ходи. Завдяки розташованим на підошовній поверхні шкіри екстерорецепторам, збирає інформацію про коливання маси тіла і направляє його в центральну нервову систему (ЦНС), яка буде координувати постуральну стабільність. Стопа є першою, найбільш навантаженою ланкою опорно-рухового апарату, яка здійснює контакт з опорою, перерозподіляє силу реакції на розташовані вище сегменти опорно-рухового апарату (ОРА)та виконує важливу ресорну функцію, забезпечує стійкість нижньої кінцівки та зчеплення з опорною поверхнею [2].

Переважна більшість інструментальних систем є фізичними, а не лінійними, що ускладнює пошук рішень на елементарній основі і іноді робить його неможливим. І саме в цьому твердженні розвивається, в даний час інструментальний аналіз. Для лінійних систем, мінімальна зміна початкового стану - викликає відповідні зміни, в його кінцевому стані. Інакше, для нелінійних систем, невеликі відмінності в початкових умовах приводять до непередбачуваних відмінностей в кінцевому стані. Наприклад, людина, яка проходить статичний аналіз, невідомо наскільки і яким чином змінить свою рухову поведінку на бароподометричній платформі під час проходження тесту [3].

МЕТА РОБОТИ

Провести оцінку сучасних методів дослідження біомеханічних параметрів стопи та визначити новизну бароподометрії та перспективні шляхи їх розвитку і оціночні параметри.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомий метод бароподометрії, який дозволяє об’єктивізувати дослідження біомеханічних параметрів стопи з врахуванням статичної та динамічної складових. Сучасні методи дослідження біомеханіки стопи виникли на основі вимірювання тиску підошовної поверхні стопи, або точніше - на основі використання електронної бароподометричної системи. Новизна цих методів полягає у розгляді сил, що діють на стопу, як в статиці, так і в динаміці. Це дозволило проводити більш поглиблене дослідження ходьби і виявити певну частоту однакових або подібних між собою зображень тиску, які не повністю відповідають відомій метатарзальній формулі [4]. Ці дані демонструють наявність надлишкового центрального навантаження, при статичній опорі на II, III і IV плеснові голівки, в динаміці - велика частина навантаження припадає на центральні плеснові голівки і майже ніколи не переноситься на I або V.

Бароподометрія статичного положення визначає розподіл зон навантаження, окреслює периметр опорного полігону, фіксує центри положення стопи та проекцію центру тяжіння тіла і його зміщення, розраховує відсоткові співвідношення опорної поверхні та сили тиску, у тому числі перевантаження кінцівки або ротацію тазу. Статичний аналіз розглядається як геометрична модель (рис. 1а), яка пов'язує базові параметри пацієнта, корелюючись як з інформацією, отриманою з морфології підошви (подоконтурометрія), так і з динамічно виявленими відбитками стоп (рис. 1б).

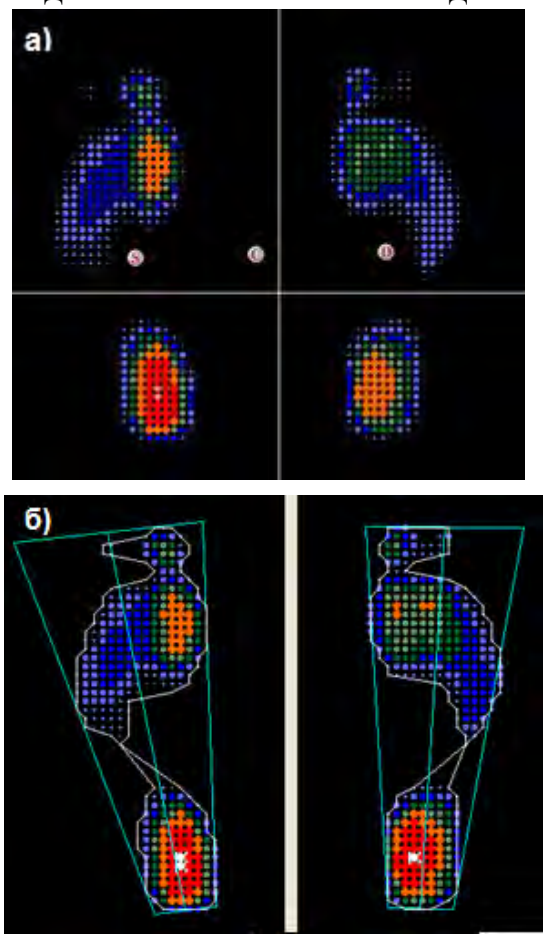


Рисунок 1. Статичний аналіз (а) і відповідна барицентрична геометрія (б)

Кількісні значення величин відбитків тиску, виявлені після дослідження і представлені в розділі статичного аналізу, дозволяють помітити будь-яку можливу асиметрію або відхилення від фізіологічного стану. Найбільш важливі з них поділяються на "значення навантаження" (корелюються в основному з інформацією щодо тиску) і "значення зміщення" (корелюються в основному з просторовою інформацією) - вони взаємопов'язані.

Бароподометрія в динаміці показує як розподіляється тиск при перекаті кожної стопи. Точка приземлення, контакту та поштовху в нормі мають чітку послідовність, швидкість та силу. Траєкторія руху переднього відділу стопи вказує на тазостегновий, а гомілкостопний та підтаранний визначаються на середині відбитку стопи. За графічним відображенням руху можна чітко відслідкувати стабільність суглобів, латеральні чи медіальні відхилення руху. Різниця руху, наприклад, колінного суглобу і напрям руху стопи може спричинити розбалансованість, або травму суглобів. Фіксуються цикли руху з часовими характеристиками моноопори та подвійної опори. Визначаються подовження стопи при динамічній опорі, її розширення в передньому відділі під час руху. Три відбитки аналізують повний кроковий цикл, два - це напівкрок. Наявність повного крокового циклу завжди є більш інформативним від одиночних відбитків (рис. 2).

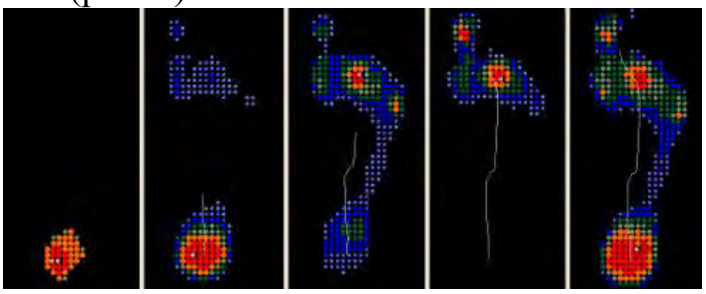


Рис. 2. Окремі фази перекочування і повне зображення стопи (останнє праворуч)

При ходьбі, також, може спостерігатися опорний середньостопний багатокутник (рис. 3), тобто мить, при якому організм переносить навантаження з однієї кінцівки на іншу під час подвійної опори. Цей параметр має вирішальне значення в кінематичній реконструкції порушень стійкості, які можуть бути викликані неправильним контактом, оскільки він дозволяє виявити взаємодію можливих порушень стійкості.

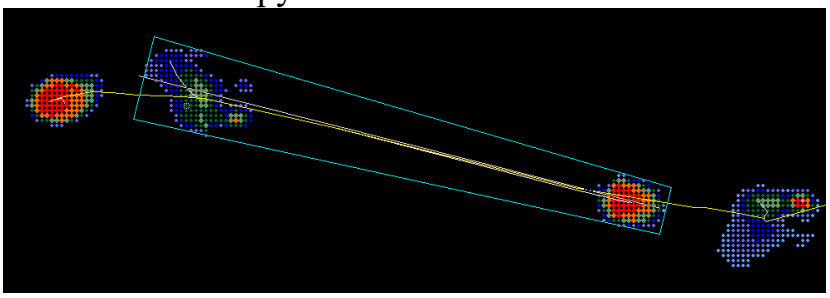


Рис. 3. Окремі фази перекочування і повне зображення стопи (останнє праворуч)

Можливий розвиток зміни схеми кроку в результаті довгострокового, звичного перебування в неправильних позах. З цього випливає втрата м'язового контролю, що може бути основною причиною набуття патологічної ходи. З усього цього видно, що тест на динамічну моторну координацію (ДМК)

дозволяє виявити, крім структурних патологій також і нестійкість, яка виникає внаслідок рефлексів, що відповідають за біль, вплив зорово-вестибулярного апарату і порушення ЦНС [5-6].

При вивченні параметрів ДМК слід виділити будь-які зміни в порівнянні з "базовими параметрами" (параметри статичного аналізу), що дозволяє поглиблено вивчити структурні патології, нестійкість, що виникла в зв'язку з візуально-вестибулярними розладами або розладами ЦНС. Значення середнього тиску, при проведенні випробувань динамічної координації, які виявляють ефективну функцію стопи, повинні змінюватися щодо "базових параметрів". При різних даних про тиск стопи, слід вважати, що присутня патологія.

ВИСНОВКИ

Таким чином, положення тіла має чітко визначені вимірювальні параметри в усій повноті, з урахуванням того, що постуральні проблеми пов'язані з нестійким підтриманням рівноваги тіла, і як наслідок, нестійким положенням на ногах. З цього випливає необхідність визначення, виміру та моделювання точних шляхів руху в інструментальних дослідженнях та встановлення ефективних методів лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Tsapenko V. Analysis of Dynamic Load on Human Foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko and V. Shevchenko // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788

[2] Цапенко В.В. Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2019. – №1. – С. 67–75. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812

[3] Цапенко В.В. Метод дослідження біомеханічних параметрів стопи людини / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2018. – №5. – С. 51–59.

[4] Tsapenko V. Method of study of spatial parameters of the human foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko // XI Int. Sci. Tech.Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, May 22—23, 2018, pp. 157—159.

[5] Цапенко В. В. Анализ влияния разновысокости нижних конечностей на биомеханические параметры походки/ В. В. Цапенко, Н. Ф. Терещенко // Вестник Киевского политехнического института. Серия: Приборостроение. - 2019. - Вып. 57 (1). - С. 102-107. DOI:https://doi.org/10.20535/1970.57(1).2019.172034

[6] Н. Ромакина Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы (обзор) / Н. Ромакина, А. Федонников, С. Киреев // Саратовский научно-медицинский журнал, №3, с. 310-316, 2015.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф

УДК 535.2:616-7

В. О. Чорний, студент гр. БП-71.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА СВІТЛОРОЗСІЯННЯ ДЕРМОЮ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ

Анотація. У даній роботі розглянуто вплив фактору анізотропії на світлорозсіяння дермою людини при моделюванні поширення світла у фотометричній системі з еліпсоїдальними рефлекторами. У результаті отримано характеристичні залежності коефіцієнтів дифузного відбиття, поглинання та пропускання дерми від величини фактору анізотропії розсіяння у значущому фізіологічному діапазоні. Також отриманні модельні фотометричні зображення другої фокальної площини верхнього та нижнього еліпсоїдальних рефлекторів.

Ключові слова: фактор анізотропії розсіяння, еліпсоїдальний рефлектор, дерма, фотометричні зображення.

ВСТУП

Оптичні методи діагностики біологічних середовищ набувають широкого розповсюдження внаслідок неінвазивності та мінімального впливу на організм. При цьому чимало біофізичних факторів впливають на оптичні властивості шкіри. Вона є яскравим прикладом біологічного середовища, яке не так легко піддається опису при побудові різних оптичних моделей. Біологічна структура шкіри та її шарів описується як оптичними, так і геометричними характеристиками. Внутрішня дерма складається з багатьох волокон і відносно бідних клітин сполучної тканини, що є опорою для волосся, нігтів, потових і сальних залоз, судин і нервів. Товщина дерми знаходиться в діапазонах від 0.5 мм до 5 мм. На передпліччі вона не перевищує 1 мм (у жінок) і 1.5 мм (у чоловіків), а в деяких місцях досягає 2.5 мм (шкіра спини у чоловіків) [1]. Базова речовина тканини дерми є аморфною субстанцією, що просочена тканинною рідиною, яка складається з різних, переважно кислих, мукополісахаридів, котрі знаходяться в з'єднанні з білками [2]. Складовим дерми властиві власні оптичні властивості, у результаті чого на пучок лазерного промінню впливають товщина, фактор анізотропії, показник заломлення, коефіцієнти поглинання і коефіцієнт розсіяння.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є аналіз впливу фактору анізотропії на світлорозсіяння дермою людини на довжині хвилі лазерного випромінювання 632.8 нм при модельному дослідженні коефіцієнтів дифузного відбиття, поглинання та пропускання.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для реалізації мети дослідження була використана програмна симуляція поширення оптичного випромінювання в біологічному середовищі дерми людини та біомедичному фотометрі з еліпсоїдальними рефлекторами. Результатами моделювання є числові значення коефіцієнтів дифузного відбиття, поглинання та пропускання світла, а також візуалізація фотоприймальної площини вимірювальної системи. Процес симуляції включає спрямування променя лазеру на біологічний об'єкт, який розсіює світло в

прямому та зворотному напрямку, і реєстрацію за допомогою фотометричної системи з еліпсоїдальними рефлекторами, детально описаний в роботах [3, 4].

При моделюванні було використано 20 млн фотонів з діаметром лазерного пучка 1.4 мм. Оптичні властивості дерми на довжині хвилі 632.8 нм наведено в таблиці 1 [4, 5], де: n – показник заломлення, μa – коефіцієнт поглинання, μs – коефіцієнт розсіяння, g – фактор анізотропії розсіяння з кроком 0.006 та d – товщина шару. Фактор анізотропії розсіяння залежать від неузгодженості показників заломлення між компонентами клітин, такі як плазматична мембрана клітини, мітохондрії, ядро, інші органели, цитоплазма і позаклітинна рідина [2].

Таблиця 1. Оптичні властивості дерми

	n	μ_a	μ_s	***g***	***d, мм***
Дерма	1.39	0.073	20	0.76 … 0.82	0.66, 0.271, 4.76

У результаті моделювання отримана серія фотометричних зображень другої фокальної площини верхнього та нижнього рефлектора, приклади яких наведені на рис. 1.

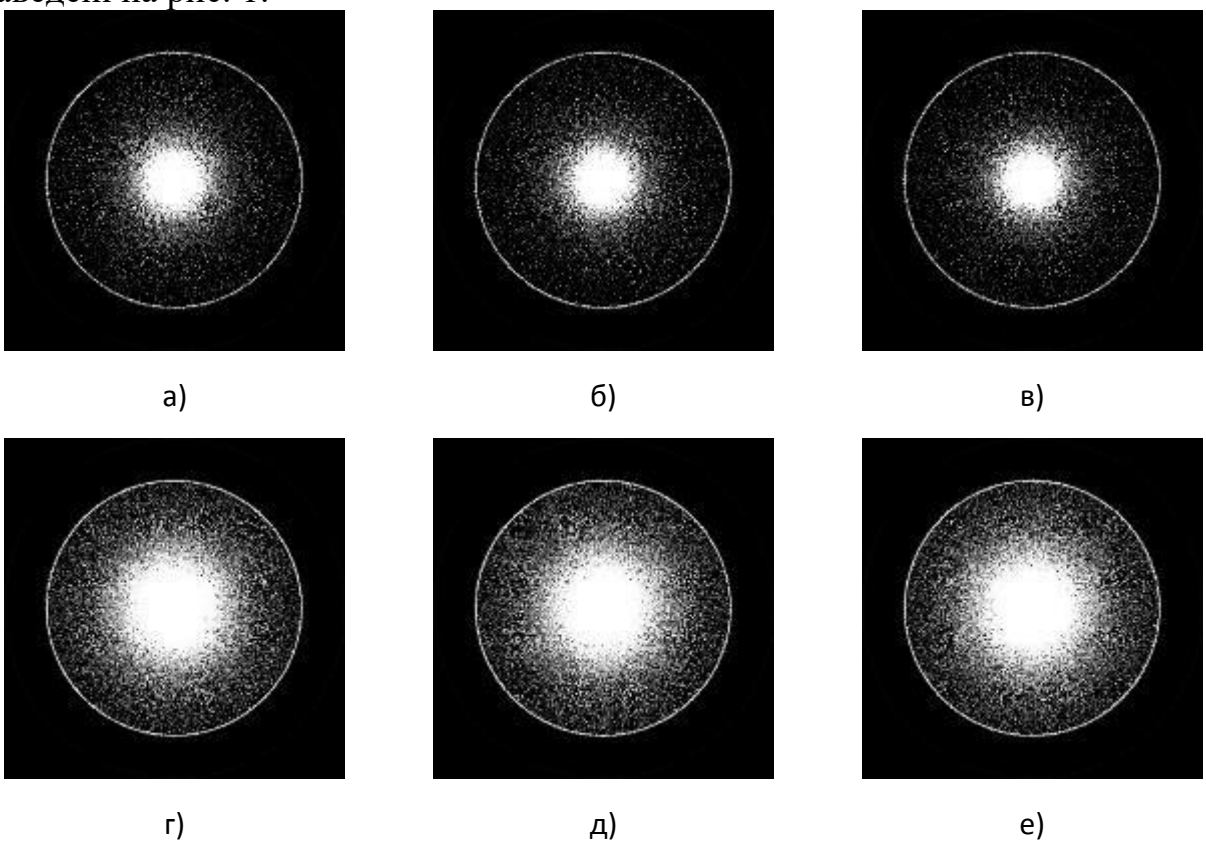


Рисунок 1. Фотометричні зображення другої фокальної площини для верхнього та нижнього рефлекторів з фактором анізотропії розсіяння для товщини

d1=0.66 мм 0.76 (а, г), 0.79 (б, д), 0.82 (в, е) відповідно

На підставі зазначених вхідних даних отримані наступні чотири коефіцієнта: Rs – дзеркального відбиття, так він статичний для трьох товщин (0.0266277), то в подальшому ми його застосовувати не будемо; Rd – дифузного

відбиття; А – поглинання; Т – пропускання дерми. Нижче наведені графіки коефіцієнтів для трьох товщин.

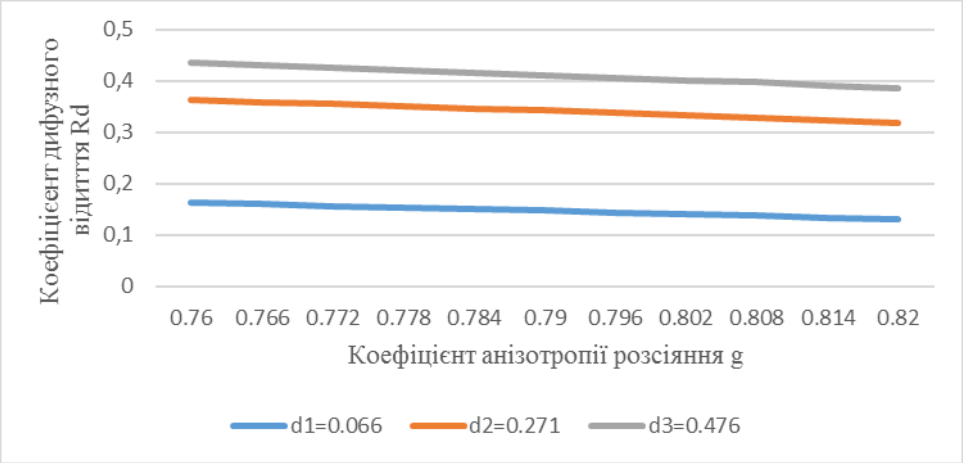


Рисунок 2. Графік залежності значень коефіцієнта дифузного відбиття від фактору анізотропії розсіяння для трьох різних товщин

З рис. 2 видно – чим більша товщина, тим коефіцієнт теж більший, що пояснює посилення явища взаємного проникання при збільшенні товщини, однак при збільшенні фактору анізотропії коефіцієнт знижується.

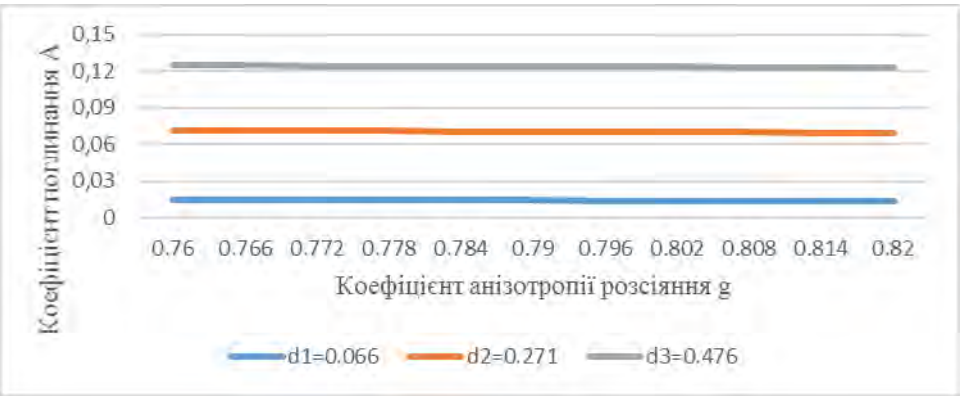


Рисунок 3. Графік залежності значень коефіцієнта поглинання від фактору анізотропії розсіяння для трьох різних товщин

На рис. 3 можна побачити поглинання для трьох товщин, характер якого повільно знижується. Він підтверджує кількісне зменшення інтенсивності при проходження через біологічну тканину.

З рис. 4 спостерігаємо, коли товщина збільшується, пропускання спадає, проте коли фактор анізотропії рухається у більшу сторону, він повільно зростає. Що свідчить про залежність характеристик тіла, кута падіння та поляризації випромінювання.

Для трьох різних товщин за трьома графіками видно, що коли товщина дерми збільшується, то і збільшується пропускання, проте дифузне відбиття та поглинання навпаки зменшується. При цьому коли анізотропія розсіяння дерми буде зростати, то коефіцієнти дифузного відбиття та поглинання спадатимуть, а пропускання зі збільшення анізотропії теж збільшується. Порівняння з

поведінкою оптичних коефіцієнтів різних біологічних тканин [4, 6] показує адекватність обраних вхідних даних для процесу симуляції.

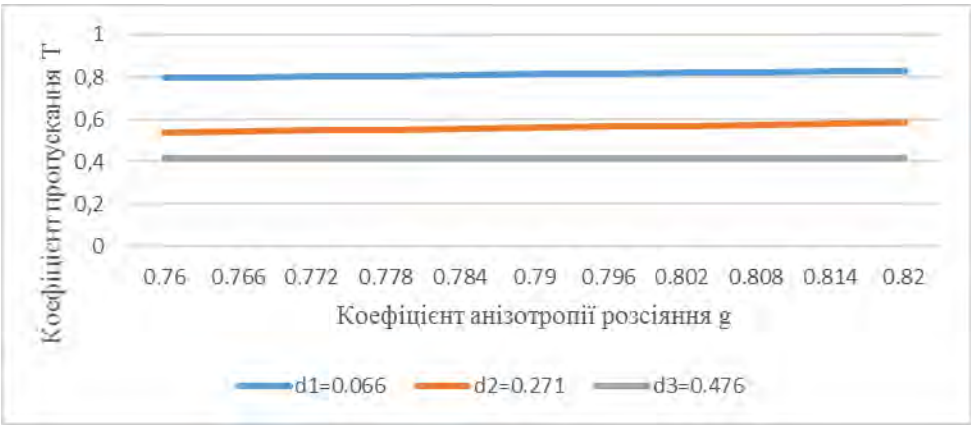


Рисунок 4. Графік залежності значень коефіцієнта пропускання дерми від фактору анізотропії розсіяння для трьох різних товщин

ВИСНОВКИ

У цій роботі було розглянуто дерму у трьох різних товщинах, за допомогою програми моделювання поширення світла фотометричної системи з еліпсоїдальними рефлекторами, де при моделюванні було використано 20 млн фотонів з радіусом лазерного пучка 0.7 мм. Отримані та проаналізовані коефіцієнти дифузного відбиття, поглинання та пропускання від фактору анізотропії розсіяння. За результатами моделювання планується здійснити аналіз освітленості у фотометричному зображенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] РЛС-Пациент: Ежегодный бюллетень: Вып. 3: Пособие для врача. – Издательство «РЛС», 2002. 1052 с.

[2] Башкатов А. Н. Управление оптическими свойствами биотканей при воздействии на них осмотически активными иммерсионными жидкостями : дис. … д-ра физ.-мат. наук и канд. физ.-мат. наук : 03.00.02. Саратов, 2002. 198 с.

[3] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019.

[4] Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії світлорозсіяння біологічними середовищами: монографія / М.О. Безуглий, Н.В. Безугла. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 308 с.

[5] Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов, 1998. 371 с.

[6] N. V. Bezuglaya, M. A. Bezuglyi, and G. S. Tymchik, “Features of anisotropy of light scattering on fibrous biological tissues,” Bull. NTUU “KPI” 50, 169–175 (2015).

Наук. керівник – д.т.н,. доцент Безуглий М.О.

УДК 615.831.7

О.Г. Шмендель, аспірантка гр. ПБ-82ф, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Анотація. На сьогоднішній день існує широкий спектр досліджень застосування лазерів в області медицини. Давно відомо, що низькоінтенсивне лазерне випромінювання (НІЛВ) має знеболюючий та терапевтичний вплив на біологічні тканини саме завдяки процесу поглинання клітинами біологічних тканин (БТ) і відсутності теплового впливу НІЛВ на БТ.

Ключові слова: лазер, терапія, біологічні тканини, шкіра людини, епідерміс, дерма.

ВСТУП

З моменту винаходу рубінового лазера Теодором Майманом у 1960 р., як пристрою, що генерує електромагнітне випромінювання, яке є відносно рівномірним та стабільним за довжиною хвилі, фазою та поляризацією [1], було розроблено множину приладів та систем, що мають досить широкий спектр довжин хвиль та інтенсивності лазерного випромінювання. Відомо, що лазери, які використовуються для хірургії та лазери для терапії, мають параметри, що суттєво відрізняються по основним параметрам. Це параметри довжин хвилі, інтенсивностей, щільностей потужності, частоти. Особливо ефективним та широко впровадженим в медичну практику для лазерної терапії виявилося низькоінтенсивне лазерне випромінювання, яке впливає на БТ не тільки тепловою дією.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

У роботі Постена та співавторів [2] була зроблена класифікація низькоінтенсивних лазерів з наступними параметрами:

- Значення вихідної потужності лазерів 0,001 - 0,1 Вт.
- Довжина хвилі в межах 300 - 10 600 нм.
- Частота імпульсів від 0,0001 Гц, що означає безперервний до 5000 Гц.
- Значення інтенсивності 0,01-10 Вт /см^2 і дози опромінення від 0,01 до 100 Дж/см^2.

Найбільш поширені методи використання низькоінтенсивного лазерного випромінювання включають такі лазери, як рубін (694 нм), Ar (488 та 514 нм), He-Ne (632,8 нм), Криптон (521, 530, 568 та 647 нм), Ga-Al-As (805 або 650 нм), так і Ga-As (904 нм) [3].

Висновками даних робіт була саме оцінка фотохімічного впливу лазерного випромінювання на БТ, тобто поглинання клітинами БТ світла, а не її термічна дія.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У попередніх наших дослідженнях [4, 5, 6] було проведено серію експериментів із деякими типами лазерними терапевтичними апаратами на різних біологічних тканинах:

Експеримент був поділений на 6 етапів [5]:

1. Лазерний фізіотерапевтичний апарат АФЛ-2 – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 630 нм, щільність потужності 1 мВт), III, V

та VI типи шкіри [4,5];

2. Апарат МІТ-МТ з випромінювачем для гінекології – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 460 нм, щільність потужності 1 мВт) – III та VI типи шкіри;

3. Лазерний терапевтичний апарат "Лика-терапевт М" – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 660 нм, щільність потужності 5мВт та 10 мВт) – III тип шкіри;

4. Лазерний терапевтичний апарат "Лика-терапевт М" – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 660 нм, щільність потужності 10 мВт) – ніготь великого пальця руки;

5. Лазерний терапевтичний апарат "Лика-терапевт М" – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 660 нм, щільність потужності 10 мВт) – куряча ніжка;

6. Лазерний терапевтичний апарат "Лика-терапевт М" – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 660 нм, щільність потужності 10 мВт) – шкіра свині.

У одній з попередніх робіт був змодельований процес розподілу теплової енергії під впливом НІЛВ у епідермісі та дермі шкіряного покриву кінцівки руки людини [6]. На основі моделі даного процесу було симульовано процес за допомогою програмного забезпечення RPSMES на базі фізичного факультету Лодзького технічного університету Республіки Польща. Розробка даної симуляції була обгрунтована необхідністю розуміння процесів комплексної взаємодії лазерного променю з структурами БТ вимагає досконально візуалізувати етапи розподілу тепла в поверхневих шарах шкіри.

Серія експериментів допомогла виявити, що реакція БТ на дію лазерного випромінювання супроводжується оптичними та тепловими ефектами з диференціальним виділенням теплової енергії БТ. Тобто НІЛВ має скоріше фотохімічний ефект, а не тепловий або ж аблятивний. Це означає, що світло поглинається і викликає хімічні зміни у БТ. Найбільш вивчене та ефективне поглинання та зміни у БТ відбуваються при довжині хвилі не нижче 630 нм.

Такі параметри як поглинання та розсіювання світла в БТ набагато суттєвіші у синій області спектра, ніж у червоній, оскільки основні тканинні хромофори (гемоглобін та меланін) мають високі смуги поглинання на коротших довжинах хвиль, при цьому світлорозсіювання тканин вище на коротших довжинах хвилі. Рідина, вода, сильно поглинає інфрачервоне світло на довжинах хвиль більше 1100 нм. Тому використовується, як правило, НІЛВ червоного та ближнього інфрачервоного світла (600-1100 нм) при роботі з БТ людей та тварин [1].

Для об’єктивної оцінки результатів виконаного експерименту розроблена та вдосконалена математична модель визначення зміни температури шкіри під впливом лазерного опромінення [4,5]. Та було проведено поглиблене порівняння результатів розрахунків за математичною моделлю та серії експериментів для різних типів шкіри людини, нігтя, шкіри свині та курячої ніжки. Результати даного порівняння збігались з відносною похибкою, що не перевищувала 7,4%.

В результаті досліджень було запропоновано нове технічне рішення апарату лазерної та поліхроматичної терапії. В основу такого технічного рішення поставлена задача суттєвого розширення функціональних можливостей в реабілітації, фізіотерапії та косметології з забезпеченням ефективності процедур за рахунок комбінованої дії лазерного випромінювання, світла, ультразвуку та магнітного поля на біологічні тканини зі зміною потужності лазерного опромінення [7].

ВИСНОВКИ

Попередньо проведені експерименти та дослідження підтверджують, що основну увагу при розробці та дослідженнях максимально ефективних параметрів лазерного випромінювання для лазерної терапії необхідно приділяти саме фотохімічним процесам БТ, що стимулюються дією лазерного випромінювання. При розробці нових технологій та методик доцільно також враховувати різницю типів та кольору шкіри людини, так як фотохімічні процеси у БТ різних типів відрізняються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Farivar S, Malekshahabi T, Shiari R. Biological Effects of Low Level Laser Therapy. J Lasers Med Sci 2014; 5(2):58-62.

[2] Posten W, Wrone DA, Dover JS, Arndt KA, Silapunt S, Alam M. Low-level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy. Dermatol Surg 2005; 31(3):334-40.

[3] Lin F, Josephs SF, Alexandrescu DT, Ramos F, Bogin V, Gammill V, et al. Lasers, stem cells, and COPD. J Trans Med 2010; 8:16.

[4] 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.

[5] 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.

[6] Шмендель О. Г., Терещенко М. Ф. Симуляція процесу розподілу тепла у верхніх шарах шкіри під впливом лазерного випромінювання. XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна.–С.247–250.

[7] Карпушева, А. Г. Автоматизована система лазерної терапії / А. Г. Карпушева, М. Ф. Терещенко // *XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*, 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.– С.196–199.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 616.379–008

Р.В. Шнідковський, студент гр. ПБ-з92мп, Т.Р. Клочко к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО СПЕКТРОСКОПІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕВИЩЕННЯ ВМІСТУ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ

Анотація. У цьому дослідженні розглядається можливість визначення частки поглиненого глюкозою світла способом багаторазового вимірюваннями загальної інтенсивності поглиненого світла на певній кількості довжин хвиль в ближній зоні ІЧ-спектра. Для обробки отриманих експериментальних даних розроблено аналітичну модель, яка на підставі розв'язання системи лінійних рівнянь з кількістю невідомих, не меншим, ніж показник поглинання світлового потоку що проходить через досліджуваний біологічний об'єкт та визначає величину вмісту глюкози.

Ключові слова: цукровий діабет, кількість глюкози в крові, спектроскопія.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробити метод, що дозволяє досліджувати концентрацію глюкози в крові людини за допомогою визначення частки поглиненого нею світлового випромінювання.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Цукровий діабет вважається невиліковним захворюванням, що супроводжує людину все життя. Щоб уникнути важких ускладнень, люди змушені періодично брати проби своєї крові на цукор. У зв'язку з цим очевидна необхідність розроблення методу неінвазивного визначення вмісту глюкози в крові [1].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу спектроскопічних методів визначення рівня глюкози в крові покладено порівняння інтенсивності пучка електромагнітного випромінювання до і після його взаємодії з біологічними тканинами [2]. Когерентне випромінювання у порівнянні з некогерентним випромінюванням має значно більший вплив на оксигенацію крові та гемоглобін [3]. Основною проблемою при вимірах в цій області спектра є сильне поглинання ІЧ- випромінювання водою, а також те, що спектральні зміни, викликані зміною концентрації глюкози, занадто незначні в порівнянні із змінами спектра, вносяться флуктуаціями концентрацій інших речовин або протіканням тих чи інших фізіологічних процесів. Все це створило проблеми при інтерпретації отриманих результатів вимірювань [4]. Інший неоптичний неінвазивний метод заснований на вимірювання концентрації ацетону, який видихається людиною, який корелює з вмістом глюкози [5]. Оптичні методи визначення вмісту глюкози в крові серед неінвазивних вважаються найбільш перспективними. До них відносяться спектроскопічний фотоакустичний, полярізаційній, а також методи Раман-спектроскопії та оптичної когерентної томографії [6]. Перевага надається спектроскопічним методам, вони дозволяють отримувати певну інформацію про зміст різних домішок в крові, в тому числі глюкози. Дослідження в цій області ведуться досить давно [7], однак низка проблем залишається невирішеною.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для аналізу частки світла, поглиненого кров'ю, використано закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$I_0 = I(l)e^{k\lambda l}, \quad (1)$$

де I_0 - інтенсивність світла на вході в речовину;

$I(l)$ - інтенсивність світла на виході речовини;

k_λ - коефіцієнт поглинання речовини;

l - товщина зразка речовини.

Цей закон використовується тільки для однотипної речовини (точніше, для речовини, що має певну товщину шару), тому внаслідок врахування властивостей реального біологічного об’єкта з неоднорідною структурою та, відповідно, різними показниками поглинання світлового випромінювання, формула набула такого вигляду:

$$I_0 = Ie^{k_m n_m + k_p n_p + ... + k_z n_z}, \quad (2)$$

де k_m — коефіцієнт поглинання речовини типу m на i-й довжині хвилі; n_m — кількість речовини типу m;

k_p – коефіцієнт поглинання речовини типу р;

n_p - кількість речовини типу p;

k_z - коефіцієнт поглинання речовини типу z; n_z - кількість речовини типу z.

Після певного перетворення отримали просте лінійне рівняння:

$$k_m n_m + k_p n_p + ... + k_z n_z = In\frac{I_0}{I}, \quad (3)$$

Так, для розчину глюкози формула частки поглинання світла має вигляд:

$$k_w n_w + k_g n_g = In\frac{I_0}{I}, \quad (4)$$

де g — вміст глюкози;

w — вміст води.

Кожна речовина на певних довжинах хвиль випромінювання має свій коефіцієнт поглинання, свої характерні властивості [3]. З огляду на те, що в розчині відсутнє поняття товщини речовини, запропонована нами формула (4) дозволяє вимірювати відсотковий вміст будь-якої речовини у досліджуваному розчині.

Природно, деякі речовини на певних довжинах хвиль можуть мати однакові коефіцієнти поглинання, тому пропонується проводити багаторазові вимірювання. Внаслідок таких вимірювань виникають цілі групи систем рівнянь, тобто, чим більше систем, тим точніше виходить результат. Проте це збільшує час вирішення даних систем, що не завжди є вдалим вибором. Важливо не тільки отримання результатів без відбору біоматеріалу, а й швидке обчислення, враховуючи стан пацієнта, який досліджує власні параметри глюкози.

У деяких речовин на певних довжинах хвиль є максимальний коефіцієнт поглинання, тоді, як у інших на тих же довжинах хвиль він є мінімальним і, навіть прагне до нуля. Отже, за певних умов, на визначених довжинах хвиль ми можемо знехтувати окремими речовинами. Така математична модель дозволить значно спростить рішення групи систем рівнянь.

Основний перевіркою для нашої теорії служить збіжність систем рівнянь. Найбільш поширеним методом визначення збіжності системи лінійних алгебраїчних рівнянь є метод Гауса, який ми і застосовували при дослідженнях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення працездатності запропонованої математичної моделі при обчисленні частки поглиненого глюкозою світла проведені модельні експерименти з пробами крові, взятими натщесерце і після прийому солодкого чаю у здорових людей. Вимірювання поглинання світла на різних довжинах хвиль у видимій та ближній ІЧ-областях спектра в діапазоні до 1100 нм. Вимірювання здійснювали з допомогою спектрофотометра UNICO S1000 і монохроматора PerkinElmer UV WinLab 6.0

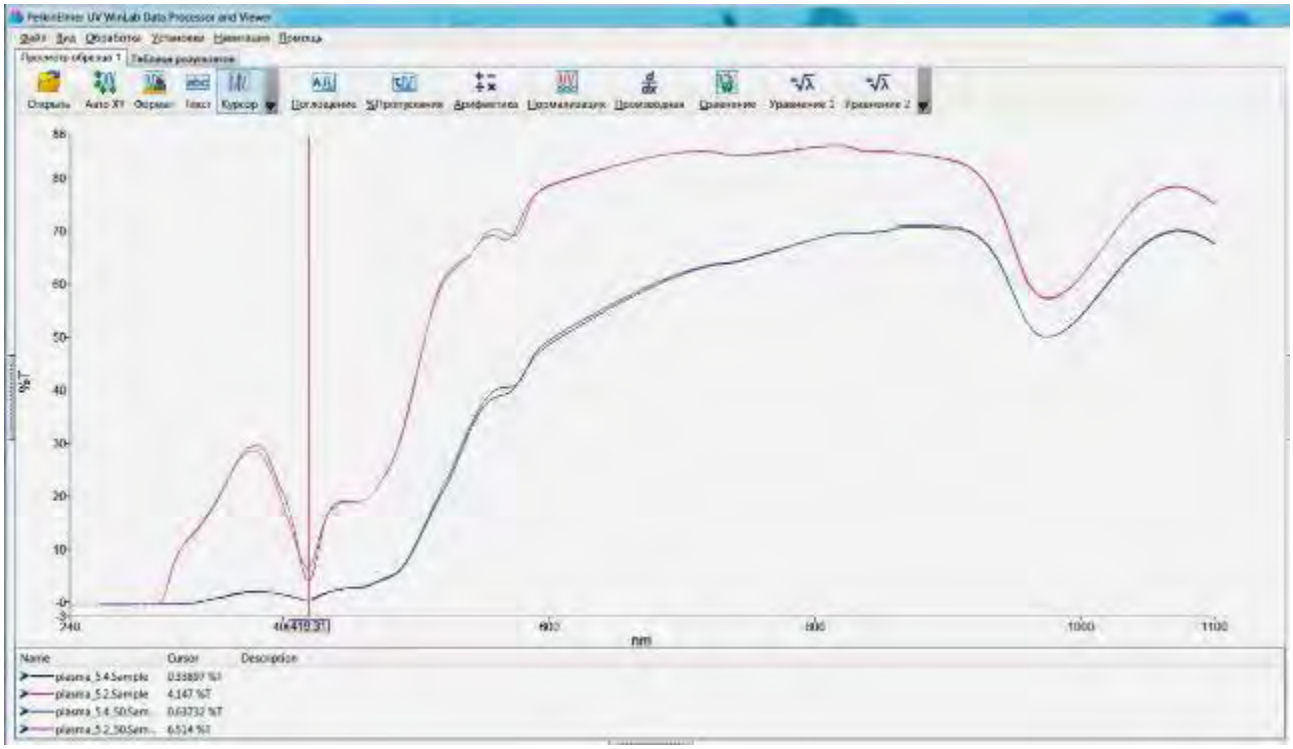


Рис.1 Спектри поглинання досліджуваної проби, отримані в монохроматорі PerkinElmer UV WinLab 6.0

Дані, отримані в результаті модельних експериментів (приклад таких можна побачити на рис. 1), використані для розрахунків відповідно до розробленої математичної моделі. Водночас, вибиралися довжини хвиль в ближньому ІЧ-діапазоні - від 700 до 1100 нм (для деяких поглинаючих компонентів в цьому діапазоні спектральні залежності досить різкі), щоб при вирішенні системи лінійних рівнянь надійно виключати необхідні змінні. Модельні експерименти дозволили підтвердити працездатність математичної моделі. Однак результатом рішення є фактично частка поглиненого світла, за

яку відповідальна глюкоза. Щоб отримати концентрацію глюкози в мілімоль на літр, необхідно проводити додаткові розрахунки.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод дозволяє досліджувати концентрацію глюкози в крові людини на основі визначення частки поглиненого нею світла. Верифікація математичної моделі показує можливість створення неінвазивного глюкометра на основі розробленого методу. Проте для цього необхідні подальші дослідження, які впливатимуть на схемотехнічне рішення та конструктивне виконання пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Сидорук, О. О. Оптичні методи неінвазивного визначення рівня глюкози в крові. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/11028

[2] В.П. Кожем'яко, А.В. Турлюк, А.О. Яровенко, Порівняльний аналіз методів та середовищ для неінвазивного моніторингу біологічних об'єктів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ir.lib.vntu.e.du.ua/handle/123456789/3325?show=full

[3] Т.Р. Клочко, А.Х.М. Дастжерді, Є.О. Коваленко, І.С. Карпова, К.І. Гетьман, О.В. Сащук, В.С. Підгорський, Вплив режимів світлового електромагнетного випромінювання на еритроцити барана, Вісник НТУУ "КПІ". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2008. – Вип. 36. - С. 143 – 150.

[4] Загорский И. Г. Автореферат. Исследование и разработка комплексного метода анализа содержания глюкозы в крови на базе спектроскопического подхода. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-kompleksnogo-metoda-analiza-soderzhaniya-glyukozy-v-krovi-na-baze/read

[5] Portable Non-Invasive Blood Glucose Monitor / A. Duncan, J. Hannigan, S.S. Freeborn, P.W.H. Rae, B. McIver, F. Greig, E.M. Johnston, D.T. Binnie, H.A. MacKenzie // 8th Int. Conf. Solid State Sensors and Actuators and Eurosensors IX; April 2011: abstracts. – Stockholm, Sweden. – 2011. – 455 – 458

[6] Bezuglyi M., Bezuglaya N., Raman spectroscopy principles for in vivo diagnostic by ellipsoidal reflectors – 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/335918595_Raman_Spectroscopy_Principles_for_in_vivo_Diagnostic_by_Ellipsoidal_Reflectors

[7] Антоненко Я. М., Малик Н.В. Сучасні методи лабораторної діагностики цукрового діабету. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/24951/1/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE..pdf

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

УДК 617.57-77:612.88

М. С. Щур, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ВІДТВОРЕННЯ ПРИРОДНЬОЇ СЕНСОРИКИ У ПРОТЕЗАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК

Анотація. У роботі проаналізовано принципи побудови систем і методи відтворення окремих функцій природньої сенсорики у протезах верхніх кінцівок. Визначено основні види датчиків, які використовуються при проектуванні сенсорних систем штучних кінцівок. Проаналізовано ефективність застосування таких систем при вирішенні типових завдань. Представлено блок – схему вимірювання сенсорної інформації для розпізнавання об'єктів маніпуляції пальцями протезу руки та охарактеризовано її складові частини.

Ключові слова: Біонічні протези, сенсорна інформація, зворотній зв'язок, тактильні датчики, оптичні датчики.

ВСТУП

Станом на сьогодні, відтворення природної сенсорики людини у протезах верхніх кінцівок є одним із нагальних питань протезно-ортопедичного приладобудування. Вже наявні у галузі напрацювання дозволяють відтворити окремі функції, що притаманні людському організму. Наприклад, у роботі [1] авторами запропоновано зразок штучної шкіри на основі силікону, яка є чутливою до зміни тиску та використовується для моніторингу сили впливу об'єкту маніпуляції на штучну кінцівку.

Протези, які дозволяють відтворити не лише візуальну подібність до природної кінцівки, а і забезпечують відтворення певних жестів, рухів та елементів тактильності отримали назву біонічних, та задають новітні тренди у відповідній галузі науки і технології. Оскільки біонічний протез є індивідуальною, досить складною з технологічної точки зору системою, що водночас повинна бути доступною для звичайного користувача, виробникам досить часто доводиться іти на компроміс між технологічністю приладу, його можливостями та ціною. Як наслідок, популярним рішенням є реалізація окремих функцій протезу за рахунок додаткового програмного забезпечення для персональних ґаджетів користувача, таких як планшетні пристрої чи мобільні телефони, тощо. Сила стиснення предмету та швидкість руху фаланг, при цьому, регулюється за допомогою модулю керування протезу, а додаткові елементи сенсорики не використовуються взагалі.

Метою цієї роботи є огляд основних методів відтворення природньої сенсорики штучних кінцівок, що використовуються у протезно-ортопедичному приладобудуванні та порівняння ефективності їх застосування.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Основні принципи за якими зазвичай реалізується відтворення окремих функцій природньої сенсорики у протезах, можна звести до декількох загальних речей. Зокрема, для реалізації автономних систем керування протезів, у яких функціонал регулюється залежно від зовнішніх впливів досить важливо реалізувати систему зворотного зв'язку (ЗЗ) між кінцівкою і протезом. При цьому ЗЗ можна поділити на дві умовних категорії: із впливом на тіло користувача та самостійний автономний контроль [2]. Вибір тієї чи іншої категорії ЗЗ на практиці залежить від багатьох факторів (складності реалізації,

кінцевої мети розробки, функціональних можливостей загальної системи протезу, тощо), але перш за все – комфорту використання потенційним користувачем. При реалізації ЗЗ та відтворенні сенсорики у протезах верхніх кінцівок використовуються різні види датчиків та їх поєднання. Критеріями вибору сенсорів окрім технічних характеристик (таких як чутливість, напруга живлення, наявність гістерезису, дрейф, тощо) є і загальний метод дослідження, відповідно до якого будується та чи інша схема вимірювання сигналів ЗЗ. Серед датчиків які найчастіше використовуються при вирішенні завдання відтворення природної чутливості кінцівки можна виділити: оптичні датчики, датчики сили та положення, ємнісні датчики, п'єзорезистивні та п'єзоелектричні датчики.

Більшість методів реєстрації сигналу ЗЗ базуються на аналізі та подальшій інтерпретації показників, визначених із датчиків, що є у складі біонічної кінцівки. При цьому, використання лише одного виду сенсору для реалізації системи ЗЗ та відтворення окремих функцій природної сенсорики застосовується рідко. Наприклад, у роботі [3] запропоновано метод вдосконалення хапальних рухів кінцівки на основі сенсорної інформації з силових і тактильних датчиків скомбінованих у одній системі. За допомогою такої комбінації авторам вдалось досягти точності розпізнавання 20 об'єктів з показником 85,41%. В той же час, у роботі [4] авторами використано датчики сили та деформації для відтворення чутливості протезу кисті, конструкція якого виконана із м'якого силікону. Використання такої комбінації датчиків дало змогу отримати точність розпізнавання 15 об'єктів із показником 70%. У роботі ж [5] запропоновано використання оптико-електронної системи із додатковим концентратором оптичного випромінювання, яка дала змогу ідентифікувати дванадцять типів поверхонь потенційних об'єктів маніпуляції протезу із показником 94%. А у статті [1] використання комбінації сигналів із оптичного і тактильного датчиків дало змогу досягти точності розпізнавання 10 об'єктів маніпуляції із показником 93,5%.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Точність розпізнавання об'єктів різної структури сенсорними елементами штучної кінцівки може значно відрізнятись і залежить як від обраного методу дослідження, так і від кількості та типу сенсорів, а також кінцевого функціоналу, який планується досягти у протезі. Досить перспективним при цьому є відтворення окремих функцій сенсорики здорової кінцівки шляхом аналізу додаткової інформації з оптичних сенсорів, або їх комбінацій з іншими видами датчиків. Базуючись на дослідженні розглянутому у статті [5], у цій роботі було запропоновано узагальнену блок-схему вимірювання сенсорної інформації для розпізнавання об'єктів маніпуляції пальцями протезу руки (рис. 1).

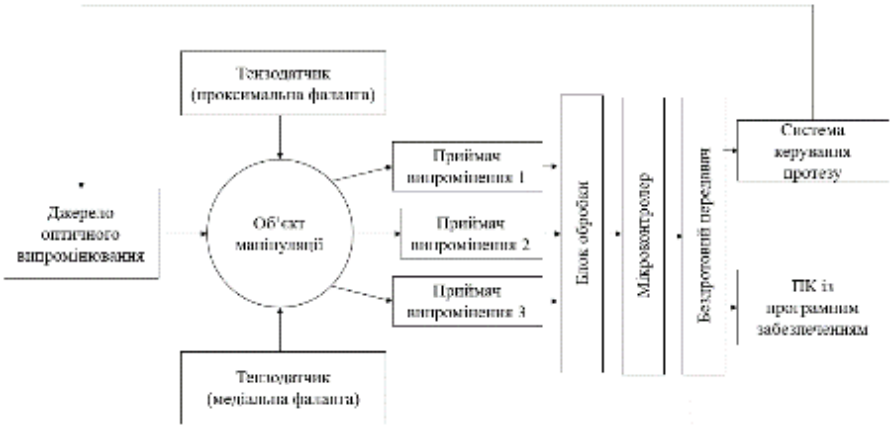


Рис. 1. Схема вимірювання сенсорної інформації

Як видно з рисунку, запропонована схема вимірювання сенсорної інформації містить у своєму складі: джерело оптичного випромінювання, масив фото-приймачів, два тензодатчики, блок обробки сигналу та мікроконтролер. При цьому, інформація з масиву оптичних сенсорів використовується для розпізнавання типу поверхні, а тензо-резистивні датчики, які будуть розміщені на дотичній поверхні медіальної та проксимальної фаланг – для контролю над силою стиснення пальцями протезу об’єктів маніпуляції і унеможливлення їх прослизання.

Отже, у цій статті авторами проведено аналіз основних принципів, методів і засобів, що використовуються для відтворення природньої сенсорики у протезах верхніх кінцівок. Визначено основні види датчиків, проаналізовано ефективність застосування існуючих систем для вирішення типових задач і запропоновано узагальнену блок-схему вимірювання сенсорної інформації для розпізнавання об’єктів маніпуляції пальцями протезу руки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Kappassov Z. Color-Coded Fiber-Optic Tactile Sensor for an Elastomeric Robot Skin / Z. Kappassov, D. Baimukashev, Z. Kuanyshuly. – 2019. – С. 7.

[2] Вонсевич К. П. Міографічна система біонічної руки з оптичною ідентифікацією типу поверхні : дис. канд. техн. наук : 05.11.17 / Вонсевич Костянтин Петрович – Київ, 2020. – 180 с.

[3] Tactile Object Recognition using Deep Learning and Dropout / [A. SCHMITZ, Y. BANSHO, K. NODA та ін.]. – 2014. – С. 7

[4] Optoelectronically innervated soft prosthetic hand via stretchable optical waveguides / Z.Huichan, K. BANSHO, L. Shuo, R. Shepherd. – 2016. – С. 10.

[5] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Prytula, O. A. (2019). Optical feedback based on the photometry by ellipsoidal reflector in bionic fingers application. Kpi science news, (3), 63-72.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Вонсевич К.П.

УДК 57.087.2

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

ОСОБЛИВОСТІ НАЛАДКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АНАЛОГОВИХ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФА

Анотація. В даній роботі розглянуто та проаналізовано методику наладки та ремонту аналогових схем підключення електрокардіографа, який має 12 відведень, а також наведено необхідні дії при виявленні дефектів.

Ключові слова: електрокардіографія, відведення, шуми, схеми підключення.

ВСТУП

Електрокардіографи є відносно дешевим, але достатньо ефективним способом діагностики стану серцево-судинної системи пацієнта. Дані прилади реєструють серцеву активність людини по всьому тілу та виводять інформацію вимірювання на монітор, або ж друкують на паперову стрічку для того, щоб лікар міг її опрацювати та діагностувати стан пацієнта.

В даній роботі, на прикладі апарату «ЮКАРД 100» було описано процес перевірки та наладки аналогових схем підключення дротів відведень та дії наладчика при виявленні дефектів.

ОПИС РОБОТИ

Принцип дії електрокардіографа ґрунтується на наступному: до пацієнта в різних ділянках тіла підключаються клеми, які називаються відведеннями. Вони є чутливими до імпульсів серцевої активності. Існують різні електрокардіографи із різною кількістю відведень. Електрокардіографічно реєструються:

<u>3 стандартні відведення:</u>

- I – ліва рука (+) та права рука (-);
- II – ліва нога (+) та права рука (-);
- III – ліва нога (+) та ліва рука (-);

<u>3 підсилені відведення, які підключаються до кінцівок:</u>

- aVR – від правої руки;
- aVL – від лівої руки;
- aVF - від лівої ноги;

6 грудних відведень:

<u>V1, V2, V3, V4, V5, V6;</u>

Також, можливе зняття додаткових відведень в одиничних випадках(наприклад, додаткові грудні відведення для точної діагностики змін міокарда)[1], але для цілей даної роботи їх опис не є необхідним. Обраний для опису прилад «ЮКАРД 100» (рис. 1) може працювати в 3-6-12 канальних режимах, тобто може реєструвати одночасно 12 відведень при необхідності.

Рис. 1 Електрокардіограф «ЮКАРД 100»

Виведення інформації у вигляді електрокардіограми (ЕКГ) може здійснюватися декількома шляхами: по каналам мобільного зв'язку, через USB інтерфейс, по дротовим лініям зв'язку, за використання мережевих технологій (Інтернет, GPRS)[2].

Всередині модуля, до якого під'єднуються дроти з відведень, знаходиться аналогова плата, в якій сигнали всіх відведень реєструється та транспортуються до комп'ютера за допомогою аналогового дроту з роз'ємом VGA. Вигляд цього дроту представлено на рис.2.

Рис. 2 Дроти відведення, аналогова схема в корпусі та дріт з роз'ємом VGA

Оскільки, плата виконує транспортну функцію, наладчик має стежити за тим, щоб рівень шумів був не вище допустимого (20мкА), діапазон аналогового сигналу не виходив за допустимі рамки(завеликий сигнал, який не може бути сигналом організму людини, є неполадкою плати) та за достовірністю таймінгів сигналу(сигнали із всіх відведень мають поступати з однаковою затримкою)[3].

Під час наладки, за допомогою програмного забезпечення запускається сигнал, який відповідає сигналу з відведення організму людини. Протягом 30 секунд фіксуються сталі сигнали, що дозволяє визначити рівень шумів. При виявленні відхилення, процедуру слід повторити. Якщо дефект виявлено знову – доріжки плати необхідно обережно протерти змоченим в етиловому спирті ватним диском. Якщо подібний дефект буде виявлено знову – необхідно передати плату на ремонт, вказавши на якому саме із відведень рівень шуму перевищував допустимий.

Цей етап перевірки виключає вплив шумів електричного струму на результати зняття ЕКГ, що є необхідним при діагностиці, оскільки спотворення сигналів в одному або декількох відведеннях можуть призвести до некоректної реєстрації сигналу організму, що є недопустимим.

Таймінги та діапазон сигналу рахуються таким самим методом: протягом 10-30 секунд подаються сигнали на відведення за допомогою спеціального стенду, сигнали проходять через аналогову схему, яка знаходиться в процесі тестування, та передаються на комп'ютер, запам'ятовуються і виводяться. При виявленні відхилення – наладчик записує на паперовий стікер на платі в якому із відведень було виявлено відхилення та передає її у відділ ремонту.

Описані вище дії дозволяють виявити брак та неполадки плат підключення відведень ще до їх монтажу в електрокардіограф, що забезпечує якісне зняття ЕКГ під час експлуатації та дозволяє підвищити економічну та технічну ефективність виробництва.

ВИСНОВКИ

Медична діагностика пов'язана із великою відповідальністю, оскільки хибний діагноз може привести до призначення неправильного курсу лікування та проявитись у проблемах зі здоров'ям пацієнта. Тому, наладка та тестування є дуже важливими етапами у виробництві та конструюванні приладів. Проведення вище описаних етапів наладки, при виявленні дефектів, має проводитися в декілька разів, для виключення можливості неполадки стенду, та відразу проводитися протирання спиртом, для виключення можливості забруднення. Тобто, наладчик має перевірити всі можливі дефекти. Це приведе до підвищення ефективності ремонту плат, оскільки відділ ремонту не буде витрачати час на перевірку очевидних дефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] KingMed: сайт URL: http://kingmed.info/norms_30/Elektrokardiografiya_EKG_Otvedeniya_i_tochki_nalojeniya_elektrodov_dlya_snyatiya_EKG
[2] UTASCO: сайт URL: http://www.utasco.com/elektrokardiografy/ucard-100
[3] Скрупский Ф.В. Современные методы мониторинга нейромышечной блокады [Текст] / Ф.В. Скрупский, Г.С. Тымчик, Н.В. Стельмах // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2013. – 6 (83). – С. 59-63

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

УДК 617.3

К.В. Ющенко, студентка гр. ПБ-з01мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА ЛІКУВАННЯ РАН

Анотація. Лікування ран – одна з найскладніших проблем хірургічної спеціальності, бо рановий процес має патологічний характер і традиційні методики лікування малоефективні. Тому автоматизована система вакуумної абсорбції та лікування ран є досить важливим проривом сучасної медицини. За допомогою якої, можна ефективно швидко вилікувати пацієнта, зменшивши ризики зараження. Даний метод надає якісне очищення рани, видалення ексудату, зменшення бактерій, зниження набряку та захист рани від вторинної інфекції.

Ключові слова: вакуумна терапія, рана, вакуумна абсорбція.

ВСТУП

Рана – це порушення цілісності шкіри, яке може охоплювати тканини і органи, розташовані глибше. Причиною виникнення рани можуть бути зовнішні або внутрішні чинники, пов'язані з фізіологічними порушеннями. Площа і глибина рани залежать від збудника, його інтенсивності і місця дії.

Різні види ран та процес їх загоєння – це актуальна проблема в медицині. Одним з найпоширеніших післяопераційних ускладнень при хірургічному лікуванні захворювань різної етіології є розвиток гнійної інфекції, що становить 15-25% серед усіх причин нозокоміальної інфекції. Частота розвитку інфекції залежить від типу операції: при чистих ранах – 1,5-6,9%, умовно чистих – 7,8-11,7%, контамінованих – 12,9-17% і гнійних – 10-40% [1].

Наявність ранової інфекції як ускладнення післяопераційного періоду збільшує терміни лікування пацієнта. Крім того, зберігається тенденція зростання частоти народження резистентної до антибіотиків мікрофлори.

Сучасне лікування ран направлено на максимальне скорочення фаз ранового процесу шляхом оптимізації тактики, у зв'язку з чим запропоновано безліч методів медикаментозного та фізичного впливу на рану. Одним із сучасних способів лікування ран, що довго не загоюються є вакуум-терапія [2].

МЕТА РОБОТИ

Дослідження методів очищення ранової поверхні шкіри і актуальності та переваг методики автоматизованої системи вакуумної абсорбції та лікування ран.

МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ РАНИ

Рани бувають різноманітні та мають багато класифікацій, наприклад, за причинами виникнення, способом загоєння та методом очищення поверхні, котрий зображено на рисунку 1.

Класифікація ран з причин їх виникнення:

1. Зовнішні причини: механічний вплив (рубані, колоті, вогнепальні рани, забиті), термічний вплив (опіки, обмороження), хімічний вплив (хімічні опіки), електричний вплив (опіки).

2. Внутрішні причини: виразки (виразки гомілки, пролежні, діабетична стопа), наприклад, внаслідок дефекту кровообігу.

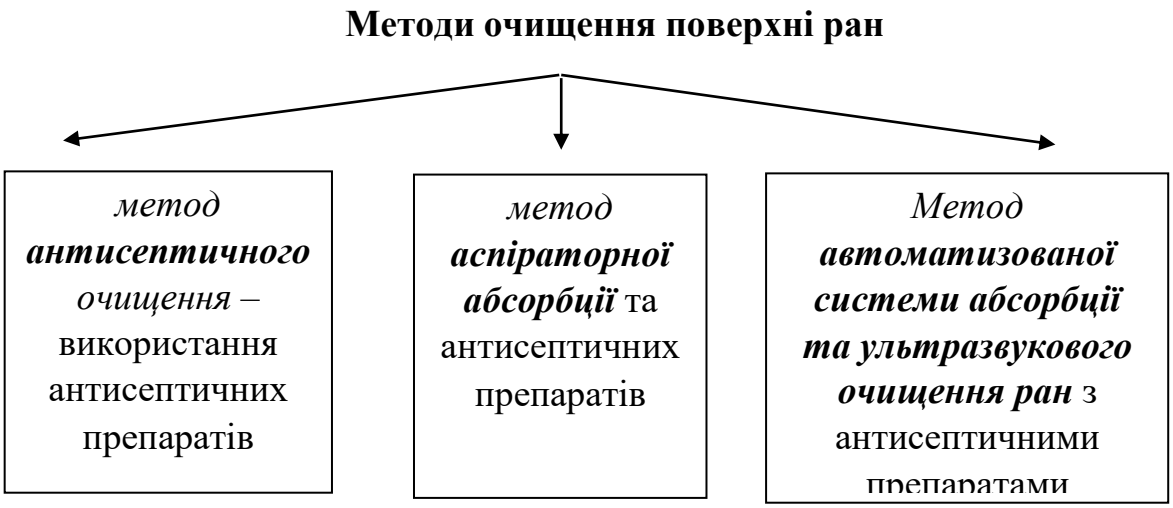


Рисунок 1. Методи очищення поверхні ран

Класифікація ран за способом загоєння:

Гострі рани бувають рубані, хірургічні, з рівними краями при незначній втраті тканин. Такі рани закриваються за допомогою швів, дужок або пов'язок, їх загоєння відбувається первинним натягом приблизно за 6-7 днів. Це найбільш сприятливий спосіб загоєння, званий первинним.

Хронічні рани – це рани з істотною втратою тканин і / або інфіковані. В даному випадку краї рани з'єднати неможливо. Даний тип рани загоюється за допомогою гранулювання – за фазою запалення слідує фаза проліферації, на якій втрачена тканина заповнюється грануляціями. Цей процес називається вторинним загоєнням.

Вторинне загоєння відбувається в разі великих ран, зокрема, пролежнів, виразок, а також ран з ускладненнями, викликаними зовнішніми факторами, як у випадку ускладнень хірургічних ран. Процес загоєння можна розділити на три фази: запалення (очищення), проліферація (грануляція), дозрівання [3,4].

Фаза запалення характеризується запальною реакцією і болями. Організм прагне знищити бактерії, що проникли в рану після порушення цілісності шкіри. Виникає ексудат. Відмерлі тканини організм виводить назовні або розсмоктує. Рана покривається згустком крові, який захищає її від мікроорганізмів. У фазі проліферації зменшується кількість ексудату, звужуються судини, настає грануляція – заповнення нестачі тканин і епітелізація – утворення нового епітелію. На фазі дозрівання відбувається процес перебудови вже загоєної рани, спрямований на досягнення міцності, найближчою до міцності неушкодженої тканини. Перебіг і час загоєння залежить від ряду різнорідних чинників: загального стану пацієнта (віку, методу харчування і супутніх захворювань), характеру і розташування рани, способу її закриття, чистоти і часу з моменту її виникнення до обробки [5].

Вакуумна терапія ран, яка так само набула назви «терапія ран негативним тиском» розглядається, коли рана не може своєчасно загоїтися. Вакуумна

терапія стимулюю цей процес шляхом використання локалізованого негативного тиску на поверхню рани. Це дозволяє зменшити набряк і кількість бактеріальних колонізацій, а так само стимулює утворення грануляційної тканини. Механізм дії даного методу наступний: абсорбція, очищення рани і видалення ексудату. Захист рани від вторинної інфекції, зменшення бактерій. Зниження набряку і поліпшення кровотоку. Зменшення площі рани.

Вакуумна абсорбція дозволяє видалити надлишки інтерстиціальної рідини, виробляє декомпресію судин, тим самим забезпечуючи приплив крові і поживних речовин до рани, що призводить до зменшення бактеріального навантаження і поліпшення перфузії. Всі ці речі є основними складовими швидкого загоєння рани. Крім видалення надлишку рідини, також створюється тиск на рану, який діє на клітини як механічний сигнал, процес, відомий як механотрансдукція. В основі цього процесу – дія негативного тиску на клітини, яка активує каскад реакцій, що призводять до підвищення активності генів, що кодують клітинну проліферацію. Все це дозволяє грануляційній тканині формуватися швидше. Грануляційна тканина необхідна для подальшого формування рубця, отже, цей процес відіграє ключову функцію. На рисунку 2 зображена схема автоматизованої системи вакуумної абсорбції та лікування ран [6].

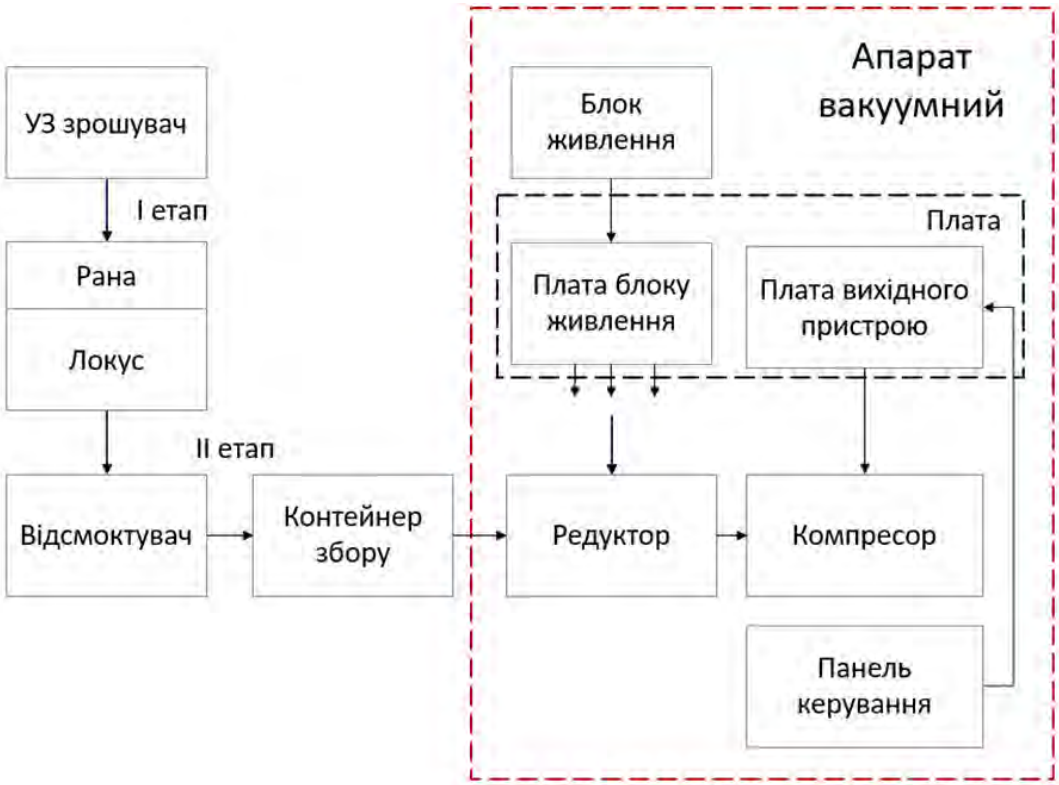


Рисунок 2. Функціональна схема автоматизованої системи вакуумної абсорбції та лікування ран

Медики з 85 країн використовують методику вакуум-терапії, при лікуванні близько 15 мільйонів пацієнтів. Результати лікування вакуум-терапії опубліковані в 3800 медичних журналах з усього світу і цитувалися більше нає 800 000 разів. Статистичні дані частоти використання цієї методики у світовій практиці показують, що 37% для США, 26% – Німеччини, 15% – Англії.

Септичні ускладнення серцевої і грудної хірургії, лікуванні великих ран в дерматологічній практиці і т.д. [7].

На сьогодні метод лікування ран за допомогою негативного тиску є стандартом в країнах Європейського Союзу і США. Важливими перевагами методу є зниження летальності, зменшення ускладнень (в тому числі ампутацій кінцівок), прискорене загоєння рани, зниження термінів і вартості лікування.

Вакуум-терапія покращує всі етапи ранового процесу:

• зменшує локальний набряк, як результат – сприяє посиленню місцевого кровообігу;

• знижує рівень мікробного обсіменіння рани;

• викликає деформацію ранового ложа і зменшення ранової порожнини, приводячи до прискорення загоєння рани.

Також вакуум-терапія знижує вираженість ранових ексудацій, сприяючи в рановому середовищі підтримці вологи, яка необхідна для загоєння рани.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Бойко С. О. Хірургія: у 2-х томах. Т. 2: підручник / С. О. Бойко, О. О. Болдіжар, П. О. Болдіжар // Нова Книга, 2018.- с.132-169. ISBN 9663827327

[2] Руцька, О. В. Параметри глибини та якості очистки поверхні ран системою вакуумної абсорбції та санації ран / О. В. Руцька, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.-с. 329–332 https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28139

[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 https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227

[4] 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.

[5] Терещенко М. Ф., Руцька О.В., Чухраєв М.В Методи дослідження параметрів чистоти поверхні ран системою вакуумної абсорбції та санації // Вісник КПІ, серія Приладобудування, №58(2), 2019. – С. 97-105.

[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] Минченко А. Н. Раны. Лечение и профилактика осложнений. Учебное пособие / Александр Минченко // Litres, 2017.-с.49-78. ISBN 5457904792

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

Секція 9.
Міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні в умовах індустрії 4.0

УДК 330.34:68

С. В. Войтко, д.е.н., проф., завідувач кафедри міжнародної економіки,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ, ПОЗИТИВ І НЕГАТИВ У РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0 В ЕПОХУ "NEXT NORMALITY"

Анотація Описано причини появи нової епохи "Next Normality" як наслідок глобальної економічної кризи, що розпочалася 2018 року. Приведено перелік релевантних технологічних рішень Індустрії 4.0 в епоху "Next Normality". Наведено приклад несприйняття такої технологій Індустрії 4.0 як послуга перенесення номеру (MNP) у стільниковому зв'язку. Розкрито стратегічні пріоритети в епоху "Next Normality" на прикладі транснаціональної корпорації. З'ясовано суттєві відмінності між технологіями інтернету речей та індустріального інтернету речей у зрізі даних, передачі інформації, структурованості, надійності. Структуровано технології третього десятиліття XXI сторіччя. Проаналізовано патентну активність корпорацій та прорейтинговано технології, які більше всього патентуються.

Ключові слова: Індустрія 4.0, Next Normality, технології

ВСТУП

Епоха "Next Normality" розпочалася з 2018 року зі зменшенням значення показників обсягів доданої власності у сфері послуг і промисловості у розрахунку на одного працівника та приведені до одного року (у статистиці це 2010 рік) [1]. Глобальна економічна криза вже вступила у фазу падіння у 2019 році, коли цей показник для промисловості впав до рівня 2002 року (на 18 років), а для сфери послуг до рівня 1995 року (на 25 років). Соціально-економічна система мала суттєво трансформуватися. Виникла потреба у керуванні суспільством у період, мабуть, найбільшої глобальної економічної кризи у світі, так і ще при такому значному та оперативному доступі Людини до інформації. Пригнічення активності суспільства було переважною кількістю країн реалізовано запровадженням антиепідемічних заходів, адже залякування смертю приймається Людиною як найвища міра страху.

ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ІНДУСТРІЇ 4.0 В ЕПОХУ "NEXT NORMALITY"

Релевантними рішеннями у технологічній сфері в епоху "Next Normality" є: APM (англ. Asset Performance Management) – управління ефективністю активів; EAM (англ. Enterprise Asset Management) – управління активами підприємства; MES (англ. Manufacturing Execution System) – система управління виробничими процесами; MOM (англ. Manufacturing Operations Management) – менеджмент виробничих операцій. У сфері публічного управління керування суспільством здійснюється технологіями мас-медіа із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій.

НЕСПРИЙНЯТТЯ ОКРЕМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0

Весною 2019 року в Україні з'явилася послуга перенесення номеру (MNP) для стільникових операторів. До кінця 2019 року цією послугою скористалися близько 28 тис. користувачів. До Київстару приєдналося 10 683 нових абонента, а від'єдналося 11 196 користувачів, Vodafone: 8 441 та 11 610 відповідно, Lifecell: 8 663 та 5 296 відповідно. Це при тому, що за інформацією НКРЗІ, в Україні функціонує п'ять операторів стільникового зв'язку та є близько 60 млн

активних SIM-карт: Київстар – 26,2 млн; Vodafone – 19,6 млн; Lifecell – 6,8 млн; інші – значно менше. Стосовно зміни оператора, то маємо для цих крупних трьох операторів перехід тільки на рівні 0,05 %. Цей відсоток для України свідчить при такі дві речі: 1) конкуренція на ринку стільникового зв'язку знизила вартість послуг до рівня, який для середньостатистичного українця є не визначальним при середній зарплаті у 12 тис. грн (вересень 2020 року) та при витратах близько 1 % на стільниковий зв'язок від цього рівня зарплат; 2) ця технологія Індустрії 4.0 не зацікавила споживачів значною мірою у зв'язку з необхідністю здійснення процедури переходу згідно закону, що займає певний час, та голосовим повідомленням про зміну оператора, що може дратувати.

СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ В ЕПОХУ "NEXT NORMALITY"

Президент і голова підрозділу інформаційних технологій та мобільних комунікацій Те Мун Ро (TM Roh) корпорації Samsung Electronics виділив три стратегічні пріоритети своєї корпорації в епоху "Next Normality" [2]. Цими пріоритетами є значущі інновації, відкрита співпраця та оперативна гнучкість.

Значущі інновації у пріоритеті містять процеси, які роблять життя користувачів простішим і кращим, а технології персоналізуються та інтелектуалізується, стають кориснішими та надійнішими. Відкрита співпраця полягає в об'єднанні груп людей з метою розширення партнерської мережі Samsung і зосередження на створенні нового користувацького досвіду. Президентом компанії зазначені пріоритетні корпорації для співпраці – це Google, Microsoft, Netflix і Spotify. Операційна гнучкість передбачає доцільність оперативного адаптування до стрімких змін "Next Normality" зі збереженням певного запасу міцності. Отже, ці три стратегічні пріоритети можуть задавати напрям діяльності не лише для компанії Samsung в епоху Next Normality, а й для суспільства у цілому.

СУТТЄВІ ВІДМІННОСТІ МІЖ ТЕХНОЛОГІЯМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА ІНДУСТРІАЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Спостерігається певна відмінність між розвитком таких технологій як IoT (інтернет речей) та IIoT (індустріальний інтернет речей). Так, інтернет речей розвивається революційно, а для IIoT – еволюційно. Робота з речами характерно для IoT, а для індустріального інтернету речей робота проводиться більшою мірою з даними. Для IoT з'єднання до мережі може бути хаотичне, для IIoT має бути надійним, а дані мають бути структурованими. Для інтернету речей генеровані потоки дані важливі, але не критичні, а для індустріального інтернету речей вимагається надійність системи, гарантована доставка даних у режимі реального часу. IoT більшою мірою використовує власні рішення (Proprietary Solution) компаній-виробників, IIoT визначається стандартами (Defined Standarts).

ТЕХНОЛОГІЇ ТРЕТЬОГО ДЕСЯТИЛІТТЯ XXI СТОРІЧЧЯ

Новітніми сервісами можуть бути імерсивна (залучена, занурюча) доповнена реальність (XR), високоякісні мобільні голограми та цифрова реплікація. Основними вимогами до реалізації інформаційно-комунікаційних послуг належать продуктивність, архітектура мереж і надійність. До 2030 року очікується

пікова швидкість передачі даних на рівні 1,0 терабіт на секунду із затримкою менш як 0,1 мілісекунд. Так, вже у 2021 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) буде визначати технічні стандарти зв'язку шостого покоління. Початок розробки мереж покоління 6G – це червень 2019 року. А в листопаді цього ж року три крупні китайських оператори повідомили про розгортання мереж 6G.

Здійснимо дослідження патентної активності за даними організації IFI CLAIMS Patent Services [3], яка створена у 1955 році. Основною сферою діяльності цієї організації є систематизація інформації для промисловості. Інформаційна база цієї організації містить значний обсяг інформації по патентах. Найбільш активними є такі корпорації: IBM; Samsung; Canon; Microsoft; Intel; LG Electronics; Apple; Ford; Amazon; Huawei. Зазначимо, що 9 з 10 корпорацій відносяться до радіоелектронної сфери. Крупнішими власниками патентів на початок 2020 року є такі [4]: Samsung; IBM; Canon; General Electric; Microsoft; Bosch; Panasonic; Siemens; Intel; LG Electronics.

Рейтинг технологій у 2019 році за кількістю патентів такий: електронна обробка цифрових даних; передача цифрової інформації; напівпровідникові пристрої; бездротові мережі зв'язку; відеокомунікація; медична діагностика та ідентифікація; системи обробки даних; медичні, стоматологічні, гігієнічні та інші технології; обробка зображень; оптичні елементи, системи та апарати.

Технології прискореного зростання за період 2014–2019 рр. [5] мають такий розподіл: покритонасінні рослини; приладдя чи пристосування інструментів, інформаційні панелі; лікарські препарати; редагування геному; фізична підготовка, горизонтальні бруски; інформаційно-комунікаційні технології, що адаптовані для обробки медичних зображень; комп'ютерні системи на основі конкретних обчислювальних моделей; технологія адитивного виробництва; системи контролю або регулювання неелектричних величин; літаки та вертольоти.

ВИСНОВКИ

Стабілізація економічної ситуації в Україні в умовах “Next Normality” можливо на засадах використання передового технологічного розвитку Індустрії 4.0 та включення промисловості країни до світових ланцюжків вартості. Так, національна економіка може інтегруватися у сфери обробки інформації, мережі передачі даних, медичні прилади тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] The World Bank Data and Research (2016), World Bank Statistics Database, — Режим доступа: http://data.worldbank.org
[2] Три стратегічні пріоритети Samsung в епоху «нової нормальності». - Режим доступа: https://news.samsung.com/ua/strategic-priorities-samsung-tm-roh
[3] CLAIMS Direct platform. — Режим доступа: https://www.ificlaims.com/about.htm
[4] IFI 250: Largest Global Patent Holders. — Режим доступа: https://www.ificlaims.com/ rankings-global-assets-2019.htm
[5] Ten Fast Growing Technologies. — Режим доступа: https://www.ificlaims.com/2019-tech-slideshow.htm

УДК 621.039:330.341.424

М.М. Заінчковська, студентка гр. УС-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ АЕС В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Анотація. У статті розглянуто розвиток функціонування ядерної сфери загалом, звернено особливу увагу на підвищення безпеки використання атомних електростанції. Акцентовано увагу на сучасному забезпечені безпеки АЕС за допомогою використання технологій Індустрії 4.0. Досліджено вплив найбільших аварії, що сталися на АЕС протягом всього періоду експлуатації цієї технології на розвиток ядерної галузі загалом. Виявлення покращення стану безпеки АЕС в період Індустрії 4.0.

Ключові слова: безпека, атомні електростанції, ядерна енергія.

ВСТУП

Основними умовами функціонування і розвитку ядерної енергетики відповідно положенням МАГАТЕ та «Конвенції про ядерну безпеку» [1] є забезпечення безпечної діяльності енергоблоків АЕС. Норми та заходи щодо ядерної безпеки оновлюються і доповнюються щороку. Заходи безпеки сьогодення значною мірою сформовані за допомогою використання автоматизації, роботизації, аналізу та збору даних (Big Data), що стало можливим завдяки розвитку Індустрії 4.0. Обґрунтуванням подальшого використання і будівництва атомних станції є три основні складові: безпека, економічність та екологічність, тому підвищення рівня безпеки використання АЕС є пріоритетними заходами у кожній країні, що використовує ядерну енергію.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Проблематика питань підвищення безпеки атомних станцій досліджувалась у працях вітчизняних і західних вчених Г. В. Лисиченко [2], К. М. Коби, Д. А. Кривко, А. І. Головея [3] та інших науковцях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пріоритет безпеки над економічною складовою зумовлений аваріями на атомних станціях всього світу, найпотужнішими з яких були аварії на АЕС Тримайл-Айленд у США – 1979 р., Чорнобильська аварія в СРСР – 1986 р. і Фукусіма в Японія – 2011 р. [4]. Негативний вплив цих аварій на життя людей та екологічне середовище був настільки значним, що це вплинуло на подальший розвиток галузі та вимусило модернізувати та оновлювати технології, тим самим робити їх більш безпечними та екологічними. Слід зазначити, що всі аварії спричинили негативний вплив на розвиток атомної галузі країн. Так, після Аварії Тримайл-Айленд був введений мораторій на будівництво АЕС в США, що діяв до 1993 року, після найсильнішої в світі ядерної аварії на Чорнобильській АЕС був введений мораторій на будівництво на теренах СРСР, який знятий у незалежній Україні в 1993 році. Найбільш серйозні наслідки можна спостерігати після аварії на Фукусімі. Після цієї аварії низка країн, у тому числі Японія та Німеччина, не тільки наклали мораторій на будівництво нових станції, а і зупинили вже працюючі станції раніше терміну планового використання. Ці наслідки добре простежуються у зменшенні загального виробництва електроенергії на АЕС у 2012 році (рис. 1).

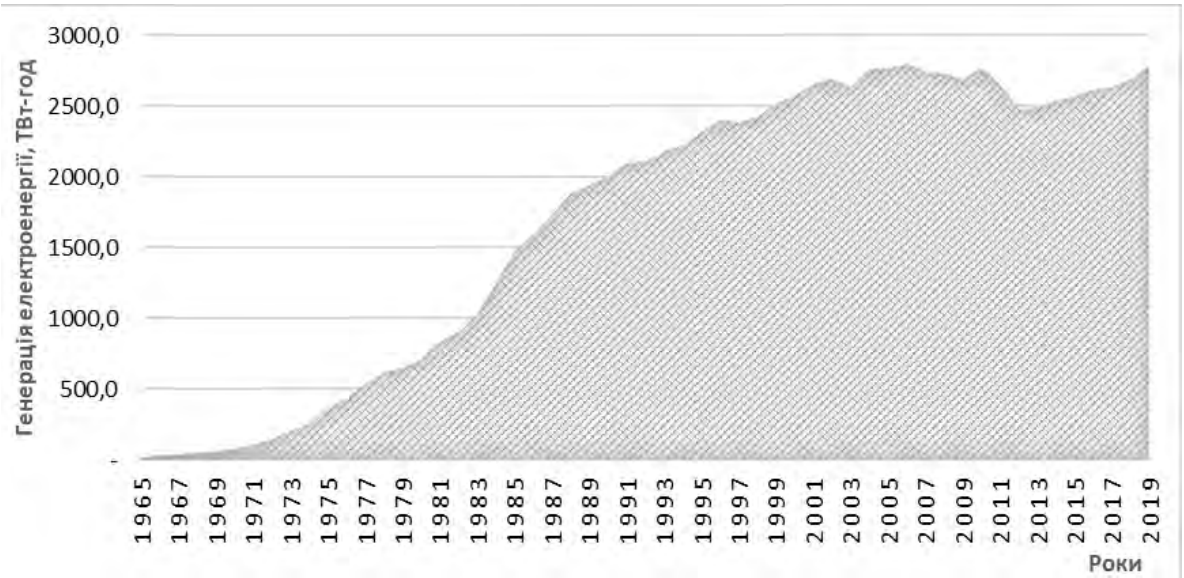


Рисунок 1. Генерація електроенергії на АЕС в світі, ТВт-год, 1965-2019 роки [5].

На основі аналізу світової генерації електроенергії АЕС, зазначимо важливість цієї генерації для світової енергетики. Це стабільна та екологічна генерація, що у певних країнах забезпечує понад 50% всіх потреб на електроенергію (Франція – 72%, Україна – 54%, Словаччина – 53%, Угорщина – 51%) і яка на даному етапі розвитку не має раціональних альтернатив. Це спостерігається на графіку виробництва електроенергії на АЕС, коли після падіння 2012 року, АЕС почали нарощувати потужності, та у 2019 року повернулась до значення 2009 року. Японія та Німеччина, хоч і зберегла мораторій на будівництво нових станції через брак потужностей відновила роботу діючих атомних станції до кінця строку їх експлуатації.

Пріоритетним напрямом розвитку ядерної галузі залишаються заходи по підвищенню рівня безпеки. Із залученням нових технології та надбань Індустрії 4.0 вірогідність пошкодження активної зони реактору було зменшено з $1 \cdot 10^{-4}$ у реакторів типу РБМК, що працювали на ЧАЕС до $1 \cdot 10^{-5}$ у реакторів ВВЕР, що функціонують на теренах України та $1 \cdot 10^{-6}$ у Малих Модульних Реакторів 4 покоління, що використовують нові замкненні системи безпеки, та здатні підтримувати неаварійний стан реактору самостійно, не використовуючи зовнішню систему електропостачання. Прикладом реактора четвертого покоління є корейський реактор SMART [6], що використовує технології автоматизування процесів і використання штучного інтелекту для прийняття системних рішень на основі аналізу даних. Це допомагає реагувати за будь-які збої в роботі реактора одразу, та попередити крупні аварії, що неможливо робити на великих реакторах, що є залежними від зовнішньої системи подачі електроенергії та менш автоматизовані.

Розвиток Індустрії 4.0, а саме автоматизованих і роботизованих систем зданих забезпечити умови неаварійного використання реактора у незвичайних ситуаціях. Залучення технологій автоматизації процесів, моделювання роботи реактора у критичних ситуаціях, залучення роботизованої техніки використовується у будівництві нових атомних реакторів і модернізації старих по всьому світу. У низці країн (Республіка Корея, Китай) будуються нові

реактори із залученням роботизованого обладнання та автоматичних технологій, у інших країнах (у тому числі Україна) модернізуються старі реактори, які оснащуються автоматичними системами. За відповідним рівнем безпеки на реакторних установках, що знаходяться в експлуатації та будівництві слідкує Міжнародне агентство атомної енергії (МАГАТЕ) та законодавство окремих країн, що експлуатують АЕС.

ВИСНОВКИ

На підставі аналізу безпеки використання АЕС під впливом масштабних аварії та науково-технологічного прогресу у явному вигляді виділяються такі закономірності:

1. Масштабні аварії на АЕС стали викликом до створення нових заходів безпеки АЕС та недопущення можливих аварії.
2. Підвищення рівня безпеки використання ядерних реакторів четвертого покоління і забезпечення їх замкненої системи функціонування стало можливим за використанням технології автоматизації та роботизації.
3. На становище такої стратегічно важливої галузі, як енергетика, вплив Індустрії 4.0 є прямим і визначаючим для подальшого розвитку. Завдяки залученню нових технології стало можливим збільшити екологічність та безпечність діючих атомних станцій по всьому світу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Конвенція про ядерну безпеку (офіц. текст: ратифікація віж 17.12.1997) / Верховна Рада України. — К. : Парламентське вид-во, 1997. — 2-5 с.

[2] Лисиченко, Г.В. Про стан та вдосконалення системи техногенно-екологічної безпеки на об’єктах ядерно-паливного циклу України / Г. В. Лисиченко // Вісник НАН України №6. — 2012. — с. 26

[3] Коба К. М., Кривко Д. А., Головей А. І. Використання планових систем безпеки в альтернативних режимах для підвищення безпеки АЕС / К. М. Коби, Д. А. Кривко, А. І. Головея // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» — 2014. — с. 65

[4] Хронологія аварій на атомних електростанціях в XX ст./ Державна бібліотека України для юнацтва. — Режим доступа: www.URL: http://memorial.4uth.gov.ua/chernobyl-tragedy-that-will-remain-in-our-hearts-1986/chronology-of-accidents-at-nuclear-power-plants/ — 22.11.2020 р.

[5] Statistical Review of World Energy Режим доступа: www.URL:https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf — 22.11.2020 р.

[6] Approach for SMART application to desalination and power generation/ — Korea Atomic Energy Research Institute — Режим доступа: www.URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/067/29067717.pdf

Наук. керівник – д.е.н., проф. Войтко С.В.

УДК 339.17:656.02+629.06

А. І. Максимчук, студентка гр. УС-91мп, д.е.н., проф. Войтко С. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ІНДУСТРІЇ 4.0 ТА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. Виявлено потребу в адаптації та вдосконаленні міжнародних логістичних систем за рахунок впровадження в їх діяльність принципів і переваг Індустрії 4.0 та Логістики 4.0. Встановлено необхідність подальшого аналізу стану розвитку міжнародних логістичних систем в умовах формування новітніх механізмів здійснення логістичної діяльності. Обґрунтовано доцільність впровадження у діяльність крупних світових компаній принципів і переваг Четвертої індустріальної революції та неминучість впливу Індустрії 4.0 на міжнародні логістичні процеси у світі.

Ключові слова: логістика, міжнародні логістичні системи, Четвертна промислова революція, інтернет речей, «Індустрія 4.0», прилади «Індустрії 4.0», «великі дані».

ВСТУП

Наразі, у наукових колах усе частіше піднімаються та обговорюються питання «Індустрії 4.0». Дана тематика, безумовно, є достатньо новою і, відповідно, цікавою. «Індустрія 4.0» – це цілком новий рівень організації та контролю за усім ланцюгом створення вартості протягом життєвого циклу продукції. Даний цикл розробляється безпосередньо із врахуванням індивідуальних потреб кожного споживача та при цьому охоплює різні етапи, починаючи від ідеї та замовлення продукту до його розробки та виробництва, від доставки продукту до переробки вже відпрацьованого продукту. Саме тому, дослідження впливу Індустрії 4.0 та новітніх технологій на розвиток міжнародної логістики, а також дослідження розвитку міжнародних логістичних систем в умовах Четвертої промислової революції є актуальним і досі, не повною мірою, висвітленим у науковій літературі питанням.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наразі, комп’ютеризація та проникнення Інтернету, смарт-технологій та цифрових технологій у всі галузі суспільного життя, зокрема і у сферу логістики, є глобальною тенденцією. Ці перетворення змінюють бізнес-середовище, державне управління, соціальні моделі взаємодії. «Індустрія 4.0» є результатом розвитку смарт-технологій, глобалізації інтернет-промисловості та комунікації у сфері політики, економіки, захисту природного середовища тощо.

Основним компонентом «Індустрії 4.0» стали «великі дані». Завдяки технологічному прогресу державні організації та підприємства отримали доступ до великих масивів даних, якими можна швидко обмінюватися та які можна автоматично обробляти. Фактично, ці дані існують у «хмарному середовищі» [1].

Другим компонентом «Індустрії 4.0» стали автоматизовані роботи та кіберсистеми, що надало змогу поєднувати інтелектуальне виробництво із «розумними» механізмами. Завдяки цьому стало можливим адаптувати техніку до будь-яких змін і потреб реального світу.

Третім компонентом стало моделювання. Наявність віртуальної копії у проектуванні або виробництві надало можливість усувати недоліки ще на стадії розробки. Таким чином можна знизити обсяг коштів на виготовлення

реального продукту. Четвертним компонентом стали горизонтальна та вертикальна системні інтеграції. Сутність цього компонента є важливою для створення єдиного інформаційного простору між різними державними організаціями й у межах однієї організації [1].

П'ятим компонентом Четвертої промислової революції став «промисловий інтернет речей». Під цим поняттям розуміється приєднання різних пристроїв до мережі Інтернет у цілях виробництва, підвищення рівня безпеки на виробництві, підвищення рівня ефективного виготовленого товару тощо [1].

Шостим компонентом «Індустрії 4.0» стало застосування «хмарних технологій», що означає зберігання даних у віртуальному просторі. Хмарні технології наразі надають можливість зберігати великі обсяги даних і отримувати миттєвий доступ до них із будь-якого місця знаходження [2].

Сьомим компонентом стали тривимірний друк (3D printing) та адаптивне виробництво (Additive Manufacturing), що передбачають створення реального об'єкта на основі пошарового друку з 3D-рисунку.

Восьмий компонент – це використання віртуальної реальності у навчальних цілях та для прийняття управлінських рішень. Уже сьогодні відомі світові бренди Google, Apple і Facebook докладають зусиль для створення смартфонів, які були б оснащені цією функцією. Останнім, дев'ятим, компонентом «Індустрії 4.0» стала кібербезпека, яка передбачає зберігання інформації у «хмарному середовищі» та передавання її через мережу інтернет [1; 2].

Окрім перерахованих компонентів, у ході розвитку Індустрії 4.0 можливі й істотні нововведення. Так, доцільно систематизувати основні напрями розвитку міжнародної логістики при переході до Індустрії 4.0 (табл. 1).

Таблиця 1. Систематизація основних напрямів розвитку міжнародної логістики при переході до Індустрії 4.0 [1; 2]

Групи	**Елементи**
Інфраструктурна	– Інтелектуальні заводи. – Модульний принцип побудови виробництва. – Розвиток концепції «промислових кластерів».
Технологічна	– Адитивні технології. – Роботизація та вбудовані радіомітки.
Інформаційна	– Створення нових транспортних засобів у поєднанні з інтелектуальними транспортними системами. – Управління великими обсягами даних та інтернет-речей.
Комунікаційна	– Зміни у взаємодії з постачальниками шляхом формування низьковитратних шляхів між джерелами сировини та виробництвом. – Забезпечення простежуваності протягом усього логістичного ланцюга. – Зближення підрозділів маркетингу, логістики та виробництва на основі горизонтальної інтеграції.
Компетентнісна	– Фокусування на знаннях працівників на кожному етапі ланцюга поставок та ухвалення рішень з урахуванням філософії неоіндустріалізації.

Отже, можна класифікувати тенденції в управлінні міжнародними ланцюгами поставок за п'ятьма основними напрямами, які включають: інфраструктуру, технології, комунікації, інформацію та компетенції учасників логістичної системи. Кожен із них визначається декількома елементами, які можуть розглядатися в умовах нової виробничої парадигми (Індустрії 4.0) в якості орієнтирів для формування логістичної стратегії як міжнародної логістичної системи в цілому, так і окремих компаній чи логістичних процесів.

Таким чином, спроба систематизувати основні напрями, за якими буде розвиватися міжнародна логістика при переході до Індустрії 4.0, вельми важлива для формування стратегії подальшого розвитку компаній та логістичних систем різного рівня і може служити основою для опису міжнародних логістичних процесів більшості підприємств [2].

Розглянемо технології Індустрії 4.0, які уже використовуються або які лише впроваджуються на міжнародних логістичних підприємствах (табл. 2).

Таблиця 2. Деякі технології Індустрії 4.0 на міжнародних логістичних підприємствах [3; 4]

Компанія	**Технології**
«PizzaSushiWok»	У кооперації з IBM розроблена когнітивна технологія для сегмента Upstream. Технологія сприяє підвищенню рівня продуктивності надання логістичних послуг і знижує ризики при пошуку нових ресурсів за рахунок більш точного аналізу даних.
«Orgánica»	У кооперації з Silicon Microgravity розробляють спеціалізовані сенсори для оптимізації роботи продуктивності надання логістичних послуг. Сенсори підвищують продуктивність на 2%.
«Gruzovichkoff»	У партнерстві з Accenture і GE розробляють інтелектуальну систему контролю надання логістичних послуг. Система інтегрує дані з багатьох джерел, у т.ч. зовнішніх баз даних, для управління експлуатаційними ризиками в режимі реального часу.
«Kuehne Nagel»	У партнерстві з Parsable розробляють пілотний проект з впровадження інноваційного забезпечення надання логістичних послуг для підвищення рівнів безпеки та продуктивності роботи компанії.
«Distribution centre Bertelsmann»	Використовують 3D-друк для моделювання технологічних рішень при розробці інноваційного проекту надання логістиних послуг.
«AliExpress»	Активно впроваджує стратегію розвитку «Цифровий персонал», «Роботизація», «Цифрова екосистема».
«Ozon»	Використовує платформу даних і додатків In-Memory, яка автоматизує облік продукції, розрахунок цін, забезпечує співробітників інформацією та економить апаратні ресурси.
«Amazon»	Запровадили самонавчальний комплекс «Цифровий двійник», що забезпечує автоматизований підбір оптимальних режимів технологічних процесів. У 2019 р. почали проект «Електронна розробка активів», який включає близько 30 проектів.
«ONT-logistic»	У планах до 2021 р. реалізувати 3 цифрових проектів, серед яких «Цифровий шельф», «Цифровий робочий простір» і «Роботизація».

Отже, зарубіжні компанії із переходом до Індустрії 4.0 активно використовують і займаються розвитком новітніх технологій. Аналіз стратегічних планів розвитку провідних міжнародних компаній показує, що підприємства усвідомлюють необхідність переходу до Індустрії 4.0 і мають план часткової або повної цифрової трансформації виробничих процесів. [3; 4].

Можна побачити, що головним чинником в управлінні стає швидкість обробки даних, які надходять безперервно. Подальші дослідження у даному напряму повинні бути спрямовані на створення універсальної моделі ІТ, яка надасть змогу значно підвищити рівень ефективності впровадження принципів Індустрії 4.0 у функціонування міжнародних логістичних систем.

ВИСНОВОК

У ході даного дослідження виявлено, що однією з характерних рис розвитку міжнародних логістичних систем в умовах Індустрії 4.0 є бурхливий розвиток інформаційних технологій, а еволюція логістики та логістичних мереж тісно пов'язана саме із впровадженням високих технологій. Так, ефективність функціонування логістичної системи будь-якого підприємства наразі визначається, головним чином, інформаційною системою, що існує на даному підприємстві, а також на підприємствах по усьому ланцюжку поставок. Таким чином, переваги Індустрії 4.0 та інтернету речей будуть відчуватися практично протягом усього ланцюга створення вартості в логістиці, включаючи як складські операції, так і безпосередньо вантажні перевезення та доставку «останньої милі». Технології інтернету речей безпосередньо впливатимуть на такі сфери, як операційна ефективність, безпека, якість обслуговування клієнтів. За рахунок Індустрії 4.0 та технологій інтернету речей компанії отримають змогу контролювати стан активів, посилок і людей у режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Індустрія 4.0 – Огляд та наслідки для політики. German Advisory Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.beratergruppe-ukraine.de/wordpress/wp-content/uploads/2018/08/PB_06_2018_ukr.pdf/ – 06.08.2018.

[2] Скіцько В. І. Логістика в індустрії 4.0. - *Журнал Економіка та Держава.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.economy.in.ua/pdf/4_2016/7.pdf/ – 11.07.2019.

[3] MWC19 Theme Report:Industry 4.0. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://cc.gsma.com/mwc19-theme-report-industry-4-0/ – 25.10. 2020.

[4] Офіційний сайт платформи «Індустрія 4.0». Державне міністерство з економічних питань та енергетики. Державне міністерство освіти та наукових досліджень, Німеччина. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.plattform/i40.de/ – 25.09.2020.

Наук. керівник – д.е.н., професор С. В. Войтко.

УДК 38.001.36

Н.Є. Скоробогатова, к.е.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ІННОВАЦІЙ НА ЗБАЛАНСОВАНИЙ РОЗВИТОК ЕКОНОМІКИ

Анотація. У ході дослідження на основі аналізу даних рейтингів Global Competitiveness Index 4.0 та Global Innovation Index проаналізовано взаємозв'язок інноваціями та конкурентоспроможністю країн, в результаті доведено наявність щільного зв'язку між інноваційним розвитком країни та рівнем її конкурентоспроможності. За допомогою показника «частка високотехнологічного експорту в загальному обсязі експорту країни» оцінено ступінь ефективності інноваційної активності країн за період 2010 – 2018 роки, визначено лідерів та окреслено потенційні напрями розвитку для підвищення рівня конкурентоспроможності країн світу, у тому числі й України. Запропоновано застосування технологій Четвертої промислової революції для підвищення рівня конкурентоспроможності країн, а також доведено дієвість запропонованих заходів на прикладі країн-лідерів: Німеччини, США, Франції тощо.

Ключові слова: інновації, збалансований розвиток, економіка, конкурентоспроможність, Індустрії 4.0.

ВСТУП

Сучасний етап інноваційного розвитку суспільства щільно пов'язаний із застосуванням інформаційних технологій практично в усіх сферах економіки на всіх етапах життєвого циклу продукту, починаючи від його проектування і закінчуючи після продажним обслуговуванням. Все це дозволяє підприємствам, які першими впровадили інноваційні інструменти Індустрії 4.0 в свої бізнес-процеси, підвищити конкурентоспроможність свого продукту та бізнесу в цілому. Аналіз макропоказників свідчить, що країни, які першими увійшли в Епоху 4.0, зміцнили свої позиції в рейтингу міжнародної конкурентоспроможності та виступають лідерами на сьогоднішні. Тому вважаємо, що питання оцінки взаємозв’язку інноваційної активності та рівня конкурентоспроможності країн, їх збалансованого розвитку є вкрай актуальною проблемою.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є удосконалення науково-методичних засад формування концепції збалансованого розвитку економічних суб’єктів на макро- та мікрорівнях на основі застосування інноваційних інструментів розвитку.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз рейтингів The Global Competitiveness Index 4.0 та Global Innovation Індекс доводить, що практично одні і ті ж країни потрапляють до двадцятки лідерів (табл. 1). Це свідчить про наявність щільного зв'язку між інноваційним розвитком країни та рівнем її конкурентоспроможності. Подальший аналіз було зосереджено на двадцятці країн-лідерів та Україні. Аналіз динаміки ВВП на душу населення за 2010 – 2018 свідчить про тенденцію щодо зростання даного показника для всіх країн. Водночас, найбільше значення серед аналізованих країн припадає на Люксембург, Норвегію, Швейцарію у 2018 р. Найменше значення ВВП на душу населення серед аналізованих країн в Україні та дещо краще значення має Китай. Обсяги ВВП Китаю незрівнянно більше, ніж України, але в перерахунку на одну людину, даний показник істотно знижується.

Таблиця 1. Провідні країни та Україна в Індексі глобальної конкурентоспроможності 4.0 та Глобальному інноваційному індексі, 2019р. [1; 2]

Глобальний інноваційний індекс			***Індекс глобальної конкурентоспроможності 4.0***		
Рейтинг	***Країна***	***Значення***	***Рейтинг***	***Країна***	***Значення***
1	Швейцарія	67,2	1	Сінгапур	84,8
2	Швеція	63,7	2	Сполучені Штати Америки	83,7
3	Сполучені Штати Америки	61,7	3	Гонконг	83,1
4	Нідерланди	61,4	4	Нідерланди	82,4
5	Об'єднане Королівство	61,3	5	Швейцарія	82,3
6	Фінляндія	59,8	6	Японія	82,3
7	Данія	58,4	7	Німеччина	81,8
8	Сінгапур	58,4	8	Швеція	81,2
9	Німеччина	58,2	9	Об'єднане Королівство	81,2
10	Ізраїль	57,4	10	Данія	81,2
11	Республіка Корея	56,6	11	Фінляндія	80,2
12	Ірландія	56,1	12	Тайвань, Китай	80,2
13	Гонконг, Китай	55,5	13	Республіка Корея	79,6
14	Китай	54,8	14	Канада	79,6
15	Японія	54,7	15	Франція	78,8
16	Франція	52,4	16	Австралія	78,7
17	Канада	53,9	17	Норвегія	78,1
18	Люксембург	53,5	18	Люксембург	77,0
19	Норвегія	51,9	19	Нова Зеландія	76,7
20	Ісландія	51,5	20	Ізраїль	76,7
...	…	…	...	…	…
47	Україна	37,4	85	Україна	57,0
...	…	…	...	…	…
129	Ємен	14,5	141	Чад	35,1

Після різкого зменшення ВВП на душу населення в Україні в 2015 даний показник поступово збільшується. Однак тут треба взяти до уваги військову агресію з боку РФ і анексію частини територій України, що негативно позначилося і на економічному, і на соціально-політичному стані держави. Проте, різниця між трійкою лідерів за цим показником і аутсайдерами становить більш, ніж в 10 разів. Аналіз щорічного темпу зростання ВВП (у %) представлений на рис. 1.

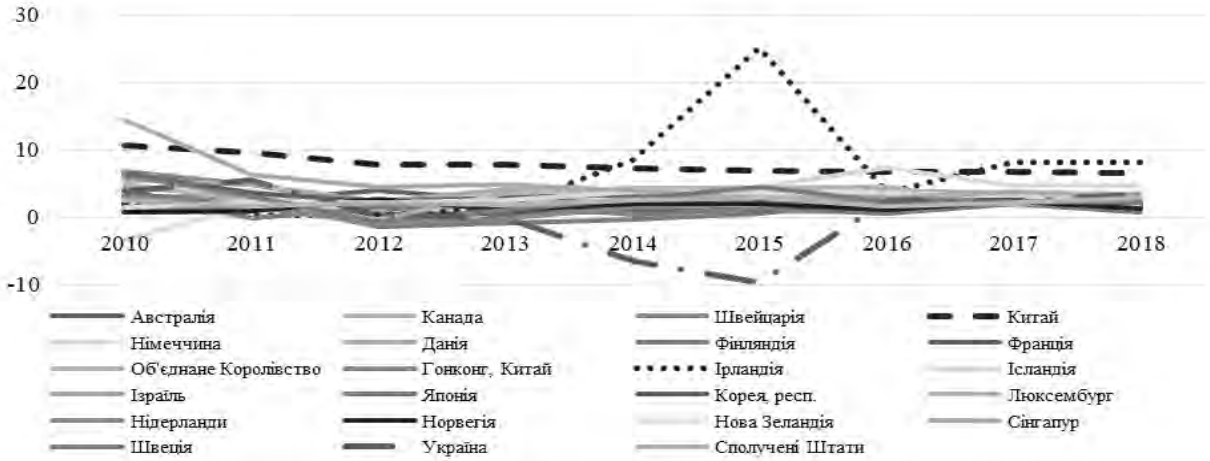


Рисунок 1. Темп зростання ВВП (%), 2010 – 2018 рр. (побудовано за даними [3])

Протягом 2010 – 2018 років середній темп зростання по групі аналізованих країн становив 2,88%. Для порівняння, в Україні середньорічний темп зростання ВВП за цей період – 0,16%. Також слід зазначити, що найбільший темп щорічного зростання ВВП має Китай. Однак, протягом 2010-2018 темп зростання ВВП в Китаї, як і в інших країнах світу в цілому знизився. Ефективність інноваційної активності країни можна оцінити за часткою високотехнологічного експорту в загальному обсязі експорту країни. Як видно з рис. 2, найбільшу питому вагу високотехнологічної продукції в загальному обсязі експорту має Сінгапур. У середньому за 2010 – 2018 роки в цій державі він має значення 51%, у той час, як в групі лідирує середнє значення 21%, а в Україні (для порівняння) 6,5%. Найменша питома вага високотехнологічної продукції в групі країн-лідерів припадає на Нову Зеландію – 10%.

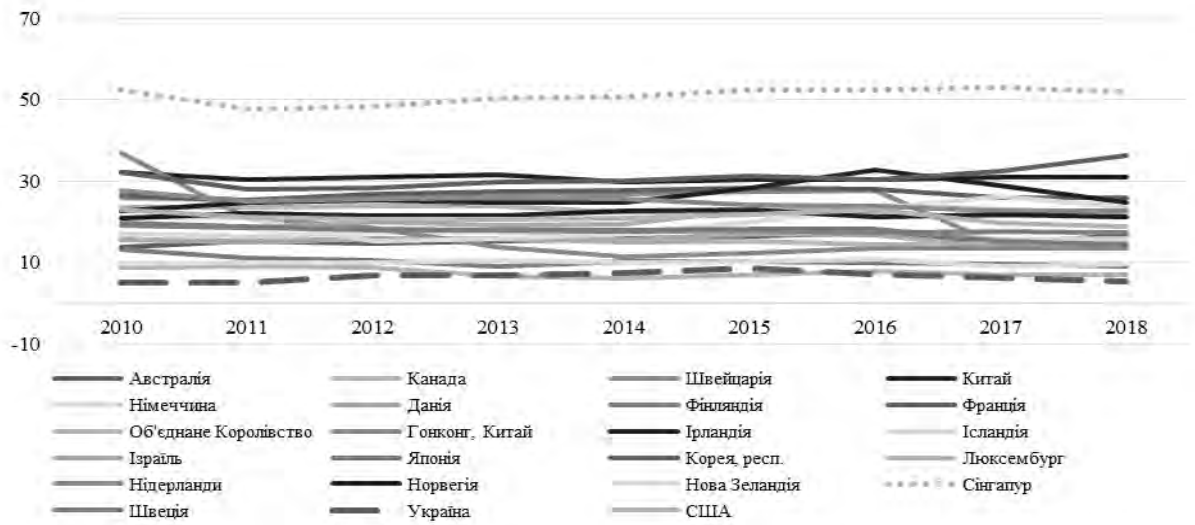


Рисунок 2. Частка високотехнологічного експорту в загальному обсязі експорту, 2010 – 2018 рр. (побудовано за даними [3])

Якщо врахувати обсяг високотехнологічного експорту в абсолютному вираженні, то безумовним лідером тут є Китай, у якого сума експорту протягом 2010 – 2018 років зростає. Наступною країною в рейтингу за обсягами високотехнологічного експорту є Німеччина. Однак, як показують статистичні дані, обсяг високотехнологічного експорту Німеччини майже в 3 рази менше, ніж в Китаї. Найменший обсяг високотехнологічного експорту припадає на Ісландію, що й не дивно, з огляду на розміри економіки даної країни.

Оскільки сучасний етап промислової революції Індустрія 4.0 базується на повсюдному використанні інформаційних технологій, то становить інтерес аналіз виробництва і експорту ІКТ продукції та послуг країнами-лідерами. Аналіз статистичних даних свідчить, що найбільшу питому вагу в обсязі експорту ІКТ-послуг має Ірландія, Ізраїль, Фінляндія, Швеція. Особливий інтерес викликає Україна, в якій військова агресія з боку Росії та анексія частини територій викликали необхідність стрімкої переорієнтації на нові світові ринки та умови взаємодії. Це, у свою чергу, стимулювало зростання високотехнологічного виробництва та активність інноваційної діяльності. Починаючи з 2014 року, експорт ІКТ-послуг у загальному обсязі експорту

зростає та на кінець 2018 становить 19,5%. Слід зазначити, що середній показник по Україні за 2010 – 2018 роки становив 12,3%, що також перевищує середній показник по групі лідерів. Проте лідером серед експорту продукції ІКТ є Гонконг – у 2018 році частка експорту ІКТ-продукції у загальному обсязі експорту становила 51,7%, в той час, як середній по групі лідерів 9,88%. Далі йде Сінгапур, Китай, Корея. В Україні, на жаль, середній значення даного показника – 1%. Така ситуація вимагає негайного вжиття відповідних рішень.

Таким чином, проведений аналіз підтвердив гіпотезу про пряму залежність інноваційної активності та рівні розвитку економіки країни [4, 5]. Безумовно, інноваційна діяльність є досить ризиковій і витратною. Розробка нових технологій, продуктів, тощо вимагає значних матеріальних і трудових ресурсів, які може собі дозволити не кожне підприємство і не кожна країна в цілому. Як показали результати дослідження, країни з невеликою кількістю населення та площею є лідерами інноваційного розвитку з високорозвиненою економікою. З іншого боку, не всі держави, які мають значні запаси природних ресурсів, території, велику чисельність населення, виступають економічно благополучними. Економіка Китаю, яка лідирує за обсягами виробництва і експорту, є останньою в групі лідерів за обсягом ВВП на душу населення. Тому для збалансованого економічного зростання країни вважаємо за необхідне розробку стратегії держави, що враховує її особливості та потенціал. Особливо це актуально в умовах Індустрії 4.0. Прикладом можуть служити країни, які розробили стратегію свого розвитку в умовах Четвертої промислової революції: Німеччина, Китай, США, Франція та інші. В результаті дослідження зроблено висновок про те, що саме незбалансованість стратегічного розвитку деяких країн призводить до того, що великий розмір ВВП, активна інноваційна діяльність не призводять до відповідного розміру ВВП на душу населення. Тому з метою збалансованого розвитку економіки країни вважаємо за необхідне враховувати наступні складові: економічна, інноваційна, соціальна, екологічна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Global Innovation Index 2019. Режим доступу: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019.pdf

[2] Global Competitiveness Index 4.0. Режим доступу: http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2019/

[3] The official web-site of The World Bank. Режим доступу: http://www.worldbank.org/

[4] Скоробогатова Н.Є. Міжнародна конкурентоспроможність країн у реаліях інноваційних зрушень Індустрії 4.0 / Н. Є. Скоробогатова // *Економічний аналіз*. – 2019. - № 3. - С. 21-28. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2019.03.021.

[5] Слобода А. О. Аналіз впливу цифрової економіки на конкурентні переваги країни / А. О. Слобода, Н. Є. Скоробогатова // *Актуальні проблеми економіки.* - 2020. - № 14. Режим доступу: http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/205846

УДК 316.422.4

А. А. Фролова, магістрантка
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Анотація. Пандемія коронавірусу не тільки порушила життя та бізнес, вона висвітлила основні нестабільності у глобальному вартісному ланцюгу, що сприяє розвитку економіки у світі. Смартфон, яким Ви користуєтесь багато разів щодня, є продуктом глобального вартісного ланцюга, розробленим компанією в одній країні, який виробляється іншою фірмою в іншій країні та розповсюджується дилерами скрізь – і все це підписане глобальними грошовими потоками. Часто ці мережі створюються без особливого планування якихось факторів зменшення ризику для протидії екстраординарним шокам, як цей. Проведений аналіз базових технологій кіберфізичних систем, серед яких: Інтернет речей, роботизація, блокчейн, цифрові двійники, «таг», лідари. У результаті дослідження можливостей переходу до сталого виробництва на засадах Індустрії 4.0 було встановлено, що поєднання геоінформаційної та кіберфізичної систем підвищить рівень ефективності роботи глобального ланцюга створення вартості. Обґрунтовано, що ключовим компонентом є кібербезпека, оскільки може відбутися хакерське втручання у систему. Питання пов'язані з комплексною (фізичною та віртуальною) безпекою виходять на перший план.

Ключові слова: стале виробництво, Індустрія 4.0, пандемія.

ВСТУП.

Хто опанує першим технології Індустрії 4.0, той і займе конкурентну позицію. Основна ідея США «спочатку вдома», а потім новий виток експансії. США, Китай, Японія, Німеччина, Південна Корея рухаються за напрямом Індустрії 4.0 і є країнами-лідерами. Швейцарія є «темною конячкою», мало вивчена в цьому контексті, входить до лідерів виробництва промислових роботів, має створену екосистему технологічного розвитку, простежується концентрація уваги тільки на проривних технологіях.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ.

В Україні були опубліковані численні праці присвячені Індустрії 4.0, авторами яких є: С. Войтко [1], В. Скіцько [2], Н. Скоробогатова [3] та інші науковці та практики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

До базових технологій кіберфізичних систем можемо віднести:

1. Інтернет речей – скорочення витрат на ремонт (на основі аналітики модуля інтернету речей ми визначимо, що необхідна заміна двигуна до того як він зламається, сигнал буде переданий в систему електронних закупок, без перебою в роботі) і підвищення якості даних.

Розумні технології можна розглядати в контексті ресурсозбереження. До країн, які впроваджують розумні технології, у першу чергу, відносяться: США, Німеччина, Південна Корея, Норвегія, Швеція, Данія, Великобританія, Нідерланди, а також Китай, де спостерігається їх активний розвиток.

Інтернет речей тісно переплітається з «розумним будинком», варто звернути увагу на те, наскільки доступнішими стають ці технології як у грошовому, так і в технологічному плані. Якщо раніше розумний будинок – це була як мінімум шафа з купою проводів, то зараз простий смартфон може обслуговувати ті самі потреби.

2. Роботизація. Японія, Китай, США, Південна Корея та Німеччина належать до провідних ринків промислових роботів у всьому світі. На ринках, що розвиваються, тенденція зростання значною мірою обумовлена зростанням зарплат, завдяки чому використання машин представляється життєздатною альтернативою людській праці. Очікується, що світовий ринок роботів зросте за кумулятивним річним зростанням (CAGR) приблизно на 26% до 2025 року та досягне майже 210 мільярдів доларів США (рис. 1).

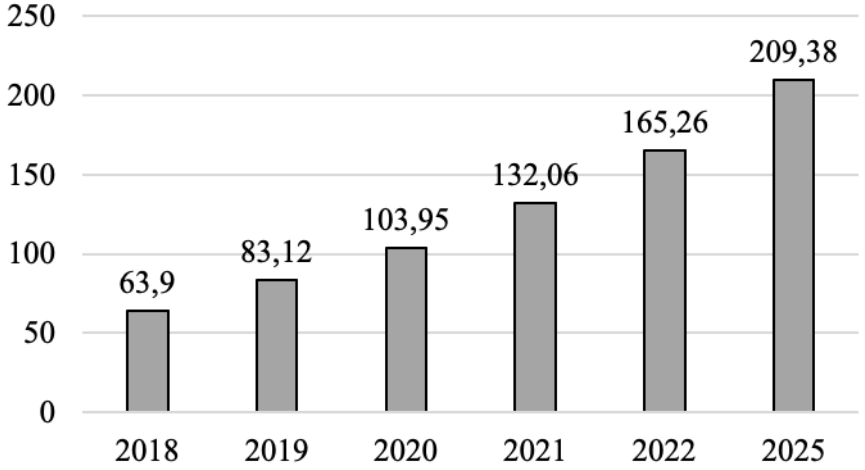


Рис. 1. Обсяг світового ринку промислових і непромислових роботів між 2018 та 2025 роками, мільярдів доларів США [4]

3. Блокчейн пов’язаний з процесами купівлі-продажу, використовується у торгівлі, задіяний в ланцюгах створення вартості. Лідером інвестицій в блокчейн є компанія IBM.

4. Цифрові двійники – пов’язано з модулями інтернету речей (більш дорогий, необхідно підключення до інтернету/wi-fi). Використовуючи моделювання і машинне навчання, цифровий двійник прогнозує ймовірність відмови компонента/деталі. Ця система надає змогу компанії розглянути «що якщо» сценарії, порівнюючи різні операції та режими технічного обслуговування з метою оптимізації витрат на технічне обслуговування і запасні частини, при мінімізації як запланованого, так і непередбачуваного часу простою. Забезпечуючи вичерпний перегляд у режимі реального часу продуктивності фабрики, цифровий двійник допомагає керівникам і персоналу знаходити можливості для вдосконалення і швидко реагувати на проблеми по мірі їх виникнення.

5. «Таг» (chip-tagging) – нанесення ярликів за допомогою чіпів (чіпізація ярликів), яких існує 3 типи: радіочастотні чіпи (кодувати інформацію: який постачальник, коли відбувалося обслуговування), блютуз ярлики/мітки, модуль інтернету речей (необхідний якісний доступ до Інтернету).

6. Лідари – лазерні маяки, які оцінюють оточуючу обстановку та потрібні для того, щоб робити 3D мапи місцевості, дозволяють швидко оцінювати як проходять роботи, використовуються в 5D (п’ятивимірних) системах для будівництва об’єктів у нафтогазовій галузі, для оптимізації управління тих завдань, які повторюються. Ця система є дорогою, але підвищує рівень ефективності сталого виробництва.

Економіка знаходиться у процесі швидких змін, адже у всьому світі з'являються нові способи сталого виробництва. Це відбувається завдяки Індустрії 4.0, тобто повної автоматизації виробництва. У 2019 році вперше нафту знайшли не люди, а штучний інтелект там, де її теоретично не мало бути. Перспективи у використанні кіберфізичних систем є навіть у космічному просторі. У нафтовій галузі використовується технологія «цифрові двійнята».

Геоінформаційна та кіберфізична – ці системи підтримують одна одну у сталому виробництві, у показниках підвищення якості управління, соціальній сфері. Поєднання цих двох типів систем підвищить рівень ефективності функціонування глобального ланцюга створення вартості. Перед нафтогазовими компаніями стоять такі виклики як: оптимізація виробничих систем, необхідність дотримання жорстких вимог щодо захисту навколишнього середовища.

В умовах різкого падіння цін, нафтогазові компанії не скоротили інвестиції в нові технології. Цьому посприяли певні фактори, серед яких: мінімізація людського фактору, скорочення потреби у людських ресурсах, повна автоматизація/оптимізація всіх процесів, використання сервісних роботів, віддалене управління, а також підвищення рівня ефективності, що в середньостроковій перспективі скоротить видатки. За рахунок нових технологій відбувається скорочення ризиків і видатків, більш раціональне використання природних ресурсів, підвищення рівня безпеки та рівня видобутку/виробництва.

Бар'єри для впровадження нових технологій: бюджетні обмеження, організаційні аспекти та питання кібербезпеки, які будуть ключовими. Оскільки у світі простежуються різні промислові хакерські атаки:

– порушення кібербезпеки в Ірані у 2010 році (вірус Stuxnet порушив систему роботи атомної індустрії всього комплексу в Ірані);

– відключення електроенергії в Венесуелі у 2019 році;

– DDoS-атака для чайників – відбувається значна кількість запитів до сайту, сервери не витримують і вони згорають – у домашніх приладах з встановленим інтернетом речей вперше була використана DDoS-атака: почалися запити на сайт. У 2019 році в Саудівській Аравії була хакерська атака – стерли всі контракти на поставку нафти. З огляду на вищезазначене, ми можемо сказати, що кібербезпека охоплює безпеку роботи всієї цієї системи.

Геоінформаційна система складається з: обладнання, програмного забезпечення, моделей аналізу інформації, інформації. Геоінформаційну систему можна використовувати безпосередньо на мобільних пристроях і потужні комп'ютери для цього не потрібні.

Кіберфізична система – інтегрована система з обробки даних, створення мережі, а також фізичних процесів і систем. Кіберфізична система має просторовий вимір, показує різні типи поведінки цієї системи (робота системи в часі, у просторі, різні модальності/моделі поведінки цієї системи).

Фактори зовнішнього середовища, які можуть впливати на кіберфізичні системи: попит і пропозиція через віртуальний елемент може вплинути на роботу системи (система передає сигнал зростання попиту та компанії

починають збільшувати обсяги виробництва у зв'язку зі збільшенням споживання) – збираємо дані та на основі цих даних приймаємо рішення; погодні фактори та інше.

Технологія блокчейн забезпечує достовірність баз даних, ми можемо використовувати ці дані, як перевірені дані для кіберфізичних систем. Внаслідок цього підвищиться рівень ефективності сталого виробництва.

Геоінформаційна система збирає актуалізовані дані з дуже високою деталізацією, передає ці дані кіберфізичній системі, яка приймає рішення. Людина буде лише здійснювати перевірку та контроль цих процесів.

Штучний інтелект – це алгоритми на основі яких приймаються рішення. Банківська діяльність найбільше вкладає інвестицій в штучний інтелект. До основних результатів відноситься: підвищення і пришвидшення всіх операцій, підвищення рівнів ефективності та безпеки.

ВИСНОВКИ.

Відкриття інформації компаніями в режимі реального часу сприятиме: підвищенню рівня ефективності ринку, не буде спекуляцій на ринку, більша стабільність роботи системи завдяки відкритим даним, підвищення рівня капіталізації компаній, створення абсолютної прозорості роботи для компаній, а також для того, щоб акціонери та надалі купували акцій цих компаній.

З імплементацією кіберфізичних систем у стале виробництво, фактично, це будуть гнучкі команди для створення гнучких задач. Проблеми при використанні таких систем: компанії починають отримувати прибуток тільки тоді, коли імплементували всі технологічні процеси (спочатку запустили технологію, а потім отримують прибуток). Важливо почати та довести до кінця, а потім робити висновки.

В умовах роботизації та функціонування таких систем потрібні люди з гнучким типом світосприйняття, наукового пізнання, які зможуть оперувати в таких системах. Основний фокус повинен бути зроблений на трансформацію основних процесів, на загальному управлінні та на навчанні талантів нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

[1] Войтко С. В., Фролова А. А. Трансформації національної економіки України в площині розвитку головних кластерів на засадах Індустрії 4.0 в пост-COVID'ний період / А. А. Фролова, С. В. Войтко // Інноваційна економіка: Науково-виробничий журнал. – Тернопіль, 2020. – № 5-6. – С. 36-42.

[2] Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього / В. І. Скіцько // Інвестиції: практика та досвід. – 2016. – № 5. – С. 33-40.

[3] Скоробогатова Н. Є. Концептуальні засади формування сталого розвитку суспільства в контексті Індустрії 4.0 / Економічний вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць. – 2019. – № 16. – С. 388–400.

[4] The Statistics Portal (2020). URL: https://www.statista.com/

Наук. керівник – д.е.н., проф. Войтко С.В.

Секція 10.
Ефективні інженерні рішення у інформаційно-вимірювальних технологіях

УДК 006.73

Батбаяр Ариунтуя, студент гр. ПГ-91мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В публикации выделено два основных этапа проведения межлабораторних исследований, которые состоят в получении характеристик точности и их использовании в практической деятельности лабораторий. Предложено информационно-измерительное и алгоритмическое обеспечение использования показателей точности, а именно характеристики прецезионности – стандартного отклонения повторяемости – для решения задачи проверки приемлемости результатов измерений, полученных лабораторией.

Ключевые слова: межлабораторные сравнительные испытания, показатели точности, информационно-измерительное обеспечение, алгоритмическое обеспечение

ВВЕДЕНИЕ

При проведении межлабораторных сравнительных исследований проовдят оценивание показатели точности межлабораторных испытательных: правильности и прецезионности. Правильность характеризуется показателем – смещение (bias), которое представляется в виде трьох контекстах лабораторное смещение, смещение метода измерений и лабораторная составляющая смещения. Эта характеристика зависит от опорного значения, которое получают либо при помощи эталонного оборудования (стандартного образца), либо от опорной лаборатории. Прецизионность зависит только от случайных влияний и не зависит от опорного значения измеряемой величины. Прецизионность рассматривается в двух контекстах повторяемости и воспроизводимости, которые характеризуются соответственно стандартным отклонением повторяемости и стандартным отклонением воспроизводимости [1-2].

При решения ряда практических задач, возникающих в лабораториях, используются этих ранее оцененные показатели точности для ряда целей, в частности для проверки приемлемости результатов испытаний и определение конечного заявленного результата. В данном случае используются показатели прецезионности, а именно страндартное отклонения повряемости и стандартное отклонение воспроизодимости [3].

Целью нашей задачи является создание информационно-измерительного и алгоритмического обеспечение обработки даннях межлабораторных спавнительных исследований и их использование для проверки приемлемости результов измерений, проводимых в лаборатории. По этому оно состоит из 2-х частей: “Информационно-измерительное и алгоритмическое обеспечение получения характеристик точности межлабораторных сравнительных исследований” и “Информационно-измерительное и алгоритмическое обеспечение использования результатов сравнительных испытаний в практической деятельности лабораторий”. В данной публикации представлено вторую часть.

Алгоритмическое обеспечение проверки приемлемости результов измерений

Общий алгоритм проверки приемлемости в одной лаборатории представлен на рисунке 1.

Рассмотрим подробнее данный общий алгоритм.

1. Проводим 2-а измерения в одной лаборатории “ y_1 и y_2 ”.
2. Далее рассчитываем разница между двумя измерениями $|y_1 - y_2|$.
3. Сравнивам полученную разницу с пределом повторяемости r. Если разница меньше предела повторяемости, то результаты считаются приемлемыми.
4. Если это сравнение не выполняется, то получают еще два результата “ y_3 и y_4 ”.
5. Потом ранжируем все четыре результаты по возрастанию.
6. Находим максимальное значение $y_{\max}$ и минимальное $y_{\min}$.
7. Далее рассчитываем разницу между $y_{\max}$ и $y_{\min}$ то есть $|y_{\max} - y_{\min}|$.
8. Сравниваем разницу с пределом повторяемости, рассчитанным для 4-значений r. Если выполняется неравенство $|y_{\max} - y_{\min}| \le r$, то результаты считаются приемлемыми.
9. Иначе даем заключение о существенном расхождении результатов, полученных в лаборатории.

Предел повторяемости рассчитывается как произведение стандартного отклонения повторяемости на коэффициент, который определяют по [3].

Стандартное отклонение повторяемости получают на этапе 1 реализации “Информационно-измерительного и алгоритмического обеспечения получения характеристик точности межлабораторных сравнительных исследований”.

Иллюстрация к алгоритмическому обеспечению использования результатов сравнительных испытаний в практической деятельности лабораторий приведена на рисунке 1.

Информационно-измерительное обеспечение использования результатов сравнительных испытаний в практической деятельности лабораторий

1. Два результата измерений, полученных в одной лаборатории должны быть получены в условиях повторяемости.

Если выполняется условие $|y_{\max} - y_{\min}| \le r$, то результаты считаются приемлемыми

Показатель r – предел повторяемости, рассчитанный по формуле:

$$r = 2{,}8\sigma_r . \quad (1)$$

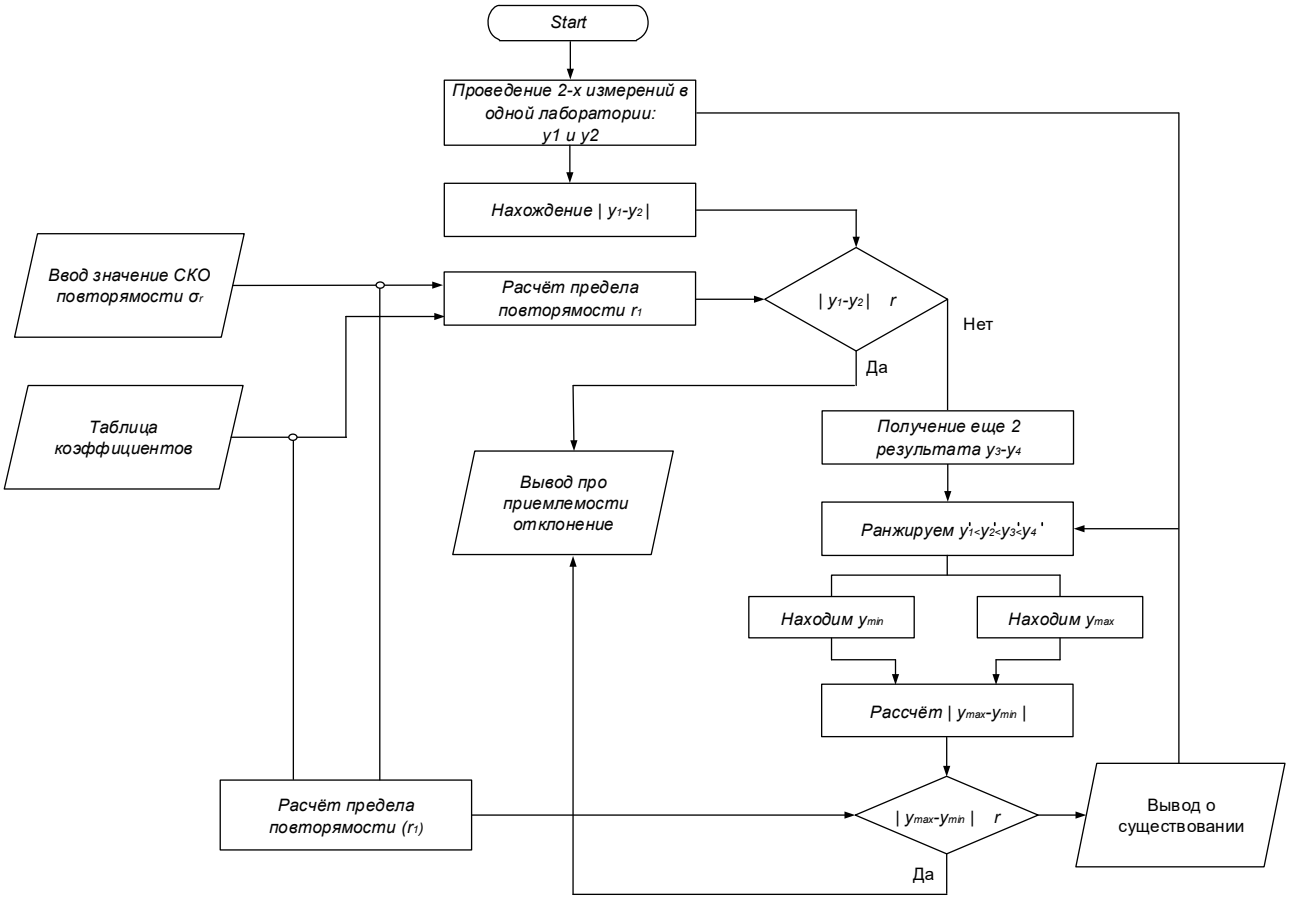


Рисунок 1. Общий алгоритм проверки приемлемости результотов в одной лаборатории.

Стандартное отклонение σ_r рассчитывают по формуле:

$$\sigma r = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \ldots + S_i^2}{n}}\,. \qquad (2)$$

S_i – стандартный отклонения по лабораториям, вычисляется по формуле:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_{ij} - \overline{y}_j)}\,. \qquad (3)$$

$\overline{y}_j$ – среднего значение по лаборатории, рассчитанный по формуле:

$$\overline{y}_j = \frac{1}{n_{ij}}\sum_{k=1}^{n_{ij}} y_{ijk}\,. \qquad (4)$$

n_{ij} – количество результатов измерений в базовом элементе (ячейке) для i-ой лаборатории j-того уровня;

y_{ijk} – k результат измерений в i-той лаборатории для уровня j.

Если условие $|y_{\max} - y_{\min}| \le r$ выполняется, то за окончательный результат берут их среднее арифметическое значение двух результатов, то есть по формуле:

$$y_p = \frac{y_1 + y_2}{2}. \quad (5)$$

Если условие не выполняется, то получают еще два результата и анализируют выборку из четырех результатов.

Если выполняется неравенство $|y_{\max} - y_{\min}| \le f(4)\sigma_r$, то результаты считаются приемлемыми.

В качестве результата берут среднее значение из четырех повторных результатов то есть по формуле:

$$y_p = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{2}. \quad (6)$$

Если это неравенство не выполняется, то результаты считаются неприемлемыми.

Тогда в качестве результата измерения берут медиану – среднее арифметическое из двух центральных значений ранжированного ряда на следующей формуле:

$$y_p = med\{y_i\} = \frac{y_2 + y_3}{2}. \quad (7)$$

ВЫВОД

В публикации предложено информационно-измерительное и алгоритмическое обеспечение использования показателей точности, а именно характеристики прецезионности – стандартного отклонения повторяемости – для решения задачи проверки приемлемости результатов измерений, полученных лабораторией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] ДСТУ ГОСТ Р ИСО 5725-1:2005 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения (ГОСТ ИСО 5725-1-2003, IDT) - национальный стандарт Украины.

[2] ДСТУ ГОСТ Р ИСО 5725-2:2005 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений.

[3] ДСТУ ГОСТ Р ИСО 5725-6:2005 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.

УДК 621.3.088.2

К.С. Василець, аспірантка, д.т.н., проф. Квасніков В.П.
Національний авіаційний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ В РЕЖИМІ ЗНИЖЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація. Отримана лінійна регресійна залежність, що зв'язує вторинний струм та відносне значення первинного струму вимірювальних трансформаторів струму 300/5 та 600/5 класу точності 0,5s у складі вузла обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження. Експериментально визначена границя чутливості трифазного цифрового лічильника типу NIK2307 за струмом становить 10 мА.

Ключові слова: лічильник електроенергії, чутливість, регресійна залежність, клас точності.

ВСТУП

Відповідно до Кодексу комерційного обліку електричної енергії [1], необхідні вимірювання для здійснення розрахунків між учасниками енергоринку забезпечуються вузлами обліку електричної енергії. В мережах напругою 380 В типовий вузол обліку включає цифровий трифазний лічильник електроенергії, що підключається до електромережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму.

Найчастіше у складі вузлів обліку використовуються вимірювальні трансформатори струму класів точності 0,5 або 0,5s. Відповідно до ДСТУ IEC 60044-1:2008 [2], струмові похибки таких приладів нормуються, починаючи з відносних значень первинного струму 5% та 1%, відповідно. В більшості випадків трансформатори струму обираються за робочим струмом електроприймача. Проте під час експлуатації протягом деяких періодів часу споживач функціонує в режимі зниженого навантаження, коли останнє становить декілька відсотків від номіналу. Такий режим виникає в нічний час або під час простоїв обладнання, коли споживається електроенергія тільки для освітлення території, функціонування охоронної сигналізації, насосів системи опалення тощо. Також суттєве зниження енергоспоживання та простої підприємств спостерігаються на фоні пандемії COVID-19 [3].

Окрім суттєвих похибок вимірювальних трансформаторів струму, в режимі зниженого навантаження струм через вимірювальні кола цифрового лічильника може виявитися меншим від границі чутливості, що унеможливлює або суттєво знижує точність обліку електроенергії.

В ході попередніх досліджень була запропонована вимірювальна система контролю та обліку електроенергії з корегуванням похибок трансформаторів струму [4], проте вона не враховує границю чутливості цифрового лічильника електроенергії, що суттєво знижує ефективність застосування такої системи.

Мета роботи – підвищити точність обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження шляхом експериментального дослідження функціонування вимірювальних трансформаторів струму з урахуванням чутливості цифрового трифазного лічильника електроенергії трансформаторного включення.

УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Лабораторний стенд включає досліджуваний цифровий трифазний лічильник PI1 (NIK2307 ART T.1600.M2.21), що підключався до мережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму Т-0,66-300/5 (досліди №1-23) або Т-0,66-600/5 (досліди №24-46), рис. 1. Покази PI1 порівнювалися з показами лічильника прямого включення PI2 (NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21). Прилади характеризувалися класом точності 0,5s. В якості електроприймачів використовувалися лампи розжарення, що дозволяло формувати навантаження від 300 Вт до 2700 Вт з кроком 100 Вт в дослідах кожної групи (№1-23 та №24-46). Під час дослідів вибіркові значення первинних та вторинних струмів вимірювальних трансформаторів струму визначалися за показами лічильників PI2 та PI1, відповідно. При цьому встановлено, що екземпляр лічильника PI1, що використовувався в лабораторному експерименті, є нечутливим при первинному струму менше від 0,148%, а ненульові покази були зафіксовані при перевищенні первинним струмом величини 0,220%.

Рисунок 1. Вузол обліку електроенергії з трансформаторами струму 300/5 в лабораторних умовах

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для визначення моделі зв’язку між вторинним струмом та відносним значенням первинного струму досліджуваних вимірювальних трансформаторів струму 300/5 та 600/5 в області ненульових значень вторинного струму відповідно до показів лічильника PI1, скористаємося методами коваріаційного аналізу ANCOVA, що об’єднує підходи регресійного та дисперсійного аналізів, зокрема – інструментом AOCTOOL системи MATLAB. В даному випадку має місце 6 груп спостережень, кожна з яких відповідає вимірювальному трансформатору струму: TA1 300/5, TA2 300/5, TA3 300/5, TA1 600/5, TA2 600/5, TA3 600/5.

Розглядалася лінійна модель, що описує характеристики вимірювальних трансформаторів струму всіх досліджуваних типів, тобто аналіз передбачається здійснювати при ігноруванні групування, а саме:

$$I_s = k_1 + k_2 \cdot I_p^* + \varepsilon , \qquad (1)$$

де I_s, I_p^* - вторинний струм (мА) та відносне значення первинного струму (%) вимірювального трансформатора струму; k_1, k_2 - коефіцієнти моделі, мА; ε - випадкова похибка моделі, мА.

При проведенні дисперсійного аналізу були висунені наступні гіпотези. Нульова гіпотеза H_0: зв'язок між досліджуваними змінними відсутній (k_2=0). Альтернативна гіпотеза H_1: зв'язок між досліджуваними змінними є статистично значимим ($k_2 \neq 0$). Для перевірки нульової гіпотези використовувався критерій Фішера. Отримане в результаті дисперсійного аналізу асимптотична значимість p=5,79·10^{-168} є суттєво меншою від прийнятого рівня значущості α=0,05: $p \ll \alpha$. Це свідчить про те, що нульова гіпотеза не може адекватно пояснити спостереження. Таким чином, гіпотеза H_0 відкидається при прийнятому рівні значущості. Твердження альтернативної гіпотези H_1 про те, що залежність $I_s(I_p^*)$ є статистично значимою, не протирічить експериментальним даним при α=0,05.

В ході результаті регресійного аналізу для кожного з параметрів (k_1 та k_2) перевірялася нульова гіпотеза H_0: емпірична оцінка параметру несуттєво відрізняється від нуля. Альтернативна гіпотеза H_1: оцінка параметра суттєво відрізняється від нуля. Нульова гіпотеза перевірялася за допомогою t-критерія. Для отриманих точкових оцінок кожного з коефіцієнтів асимптотична значимість є суттєво меншою від прийнятого рівня значущості: для оцінки параметра k_1 отримано p=2,73·10$^{-7} \ll \alpha$; для k_2 встановлено p=5,79·10$^{-168} \ll \alpha$. Це свідчить про те, що нульова гіпотеза не може адекватно пояснити спостереження. Таким чином, гіпотеза H_0 відкидається при прийнятому рівні значущості. Твердження альтернативної гіпотези H_1 щодо значимості отриманих оцінок не протирічить експериментальним даним при α=0,05.

Точкові оцінок коефіцієнтів (1), отримані в результаті регресійного аналізу, становлять: k_1=−0,6338 мА, k_2=−49,5405 мА. Тоді залежність абсолютного значення вторинного струму вимірювальних трансформаторів струму досліджуваних типів 300/5 та 600/5 (в діапазоні від 10 мА до 66 мА) від відносного значення первинного струму (в діапазоні від 0,22% до 1,4%) носить лінійний характер та описується рівнянням (рис. 2):

$$I_S = -0{,}6338 + 49{,}5405 \cdot I_p^* + \varepsilon . \qquad (2)$$

Паспортне значення чутливості лічильника PI1 за струмом при вимірюванні активної енергії становить 5 мА. В той же час, відповідно до регресійного рівняння (2), такому значенню відповідає відносне значення первинного струму 0,114% вимірювального трансформатора. Однак, як було встановлено в результаті експерименту, до відносних значень первинного струму 0,141%, 0,143%, 0,144%, 0,145%, 0,146%, 0,147% та 0,148% екземпляр лічильника, що використовувався в лабораторному експерименті, є нечутливим. Поріг чутливості лічильника за струмом для кожної фази, відповідно до даних експерименту, становить 10 мА.

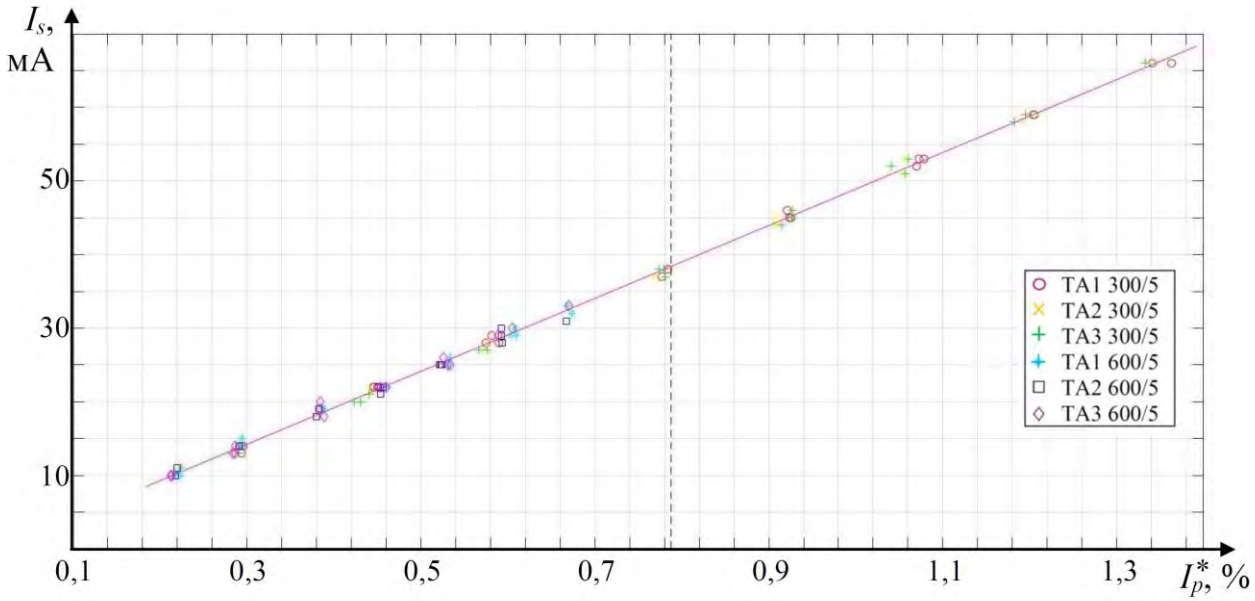


Рисунок 2. Лінійна регресія, що описує залежність вторинного струму I_s (мА), за показами лічильника PI1, для вимірювальних трансформаторів струму від відносного значення первинного струму I_p^* (%) за показами лічильника PI2

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень залежність вторинного струму від відносного значення первинного струму трансформаторів струму 300/5 та 600/5 класу точності 0,5s в режимі зниженого навантаження (до 1,4%) описана лінійною регресією. Встановлено, що границя чутливості лічильника NIK2307 ART T.1600.M2.21 за струмом становить 10 мА. В ході подальших досліджень доцільно оцінити похибку обліку електроенергії трифазним цифровим лічильником трансформаторного включення в режимі зниженого навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Кодексу комерційного обліку електричної енергії. Затверджений постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 311(у редакції від 20.03.2020 № 716). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text

[2] Трансформатори вимірювальні. К. : Держспоживстандарт України, 2010. (Національний стандарт України). Ч. 1: ДСТУ IEC 60044-1:2008. Трансформатори струму (IEC 60044-1:2003, IDT). Чинний від 2010-01-01. - К., 2010. VII, 38 с.

[3] Javier Lo´pez Prol, Sungmin O. Impact of COVID-19 Measures on Short-Term Electricity Consumption in the Most Affected EU Countries and USA States. *iScience* 23, 101639, October 23, 2020. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101639.

[4] Заико А. И., Сорокин А. А. Измерительная система контроля и учета электроэнергии. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. Т. 9, №6 (24). Уфа: УГАТУ, 2007. С. 210–212.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Квасніков В.П.

УДК 67.05

Д. О. Малішевський, студент гр. ПВ-01мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ОТВОРІВ

Анотація. Промислове виробництво на сучасному етапі характеризується необхідністю витримування великої кількості параметрів виробів в заданих діапазонах. Геометричні розміри деталей є одним з головних параметрів, що підлягають контролю.

Ключові слова: вимірювання, програмування, калібрування.

ВСТУП

Визначення геометричних параметрів зображень об’єктів широко використовується в медичній, автомобільній, гірничій та інших галузях промисловості.

На сьогоднішній день широке розповсюдження отримали методи вимірювання геометричних розмірів отворів по їхньому зображенню. Це пояснюється безконтактним принципом вимірювання. Подібні методи вимірювання реалізуються за рахунок цифрового фотознімку, що отриманий за допомогою цифрової фото- або відео- камери.

Процедура калібрування, відповідно до стандартів [1, 2], вимагає значної кількості часу. Спосіб вимірювання геометричних параметрів оптичним методом полягає у співставленні в одній фокусній площині об’єкта вимірювань та міри довжини.

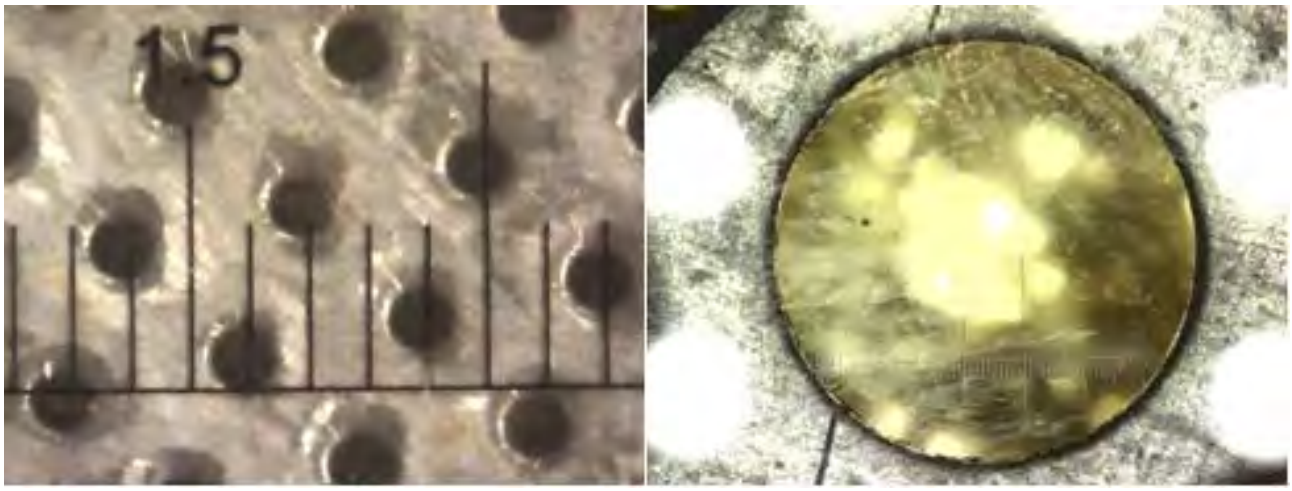


Рисунок 1. Об’єкти вимірювання під мікроскопом

На сьогоднішній день широке розповсюдження отримали методи вимірювання геометричних розмірів отворів по їхньому зображенню, що представлені у вигляді цифрового фотознімку та отримані за допомогою цифрової фотокамери або мікроскопу суміщеного з камерою

Тому, запропонована процедура калібрування за допомогою оптико-електронної вимірювальної системи (далі – ОЕВС), де кількість пікселів, які припадають на діаметр отвору на цифровому зображенні, програмно переводиться у значення довжини (рис. 1).

ОГЛЯД ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ

Розроблена структурна схема системи вимірювання геометричних розмірів (СВГР), на основі якої наведено алгоритм розрахунку блоків структурної схеми СВГР. На підставі розробленої структурної схеми (рис. 2) запропоновано алгоритм розрахунку розмірів отворів.

За результатами аналізу джерел [3], під час розробки системи, виділено та враховано наступні джерела похибок під час оптичних вимірювань:

- Спотворення оптичної частини ОЕВС, пов'язані з дифракцією світла, аберацією об'єктива, дисторсією, а також дискретизацією зображення і шумами фотоприймальної матриці. Як наслідок, нечіткість меж і спотворення геометричної форми об’єкту вимірювань (далі – ОВ);
- деформація (гетерегонність) та паралакс калібрувальної міри довжини; викривлення зображення по краях області експонування в залежності від зміни фокусної відстані; спотворення зображення ОВ в залежності від контрасту та яскравості зображення та при запітніванні або запиленні оптичної частини системи при її використанні у екстремальних умовах;
- недостатня кількість вимірювань для розрахунку масштабу ОЕВС та при проведенні вимірювань одного геометричного параметру;
- недоліки схеми освітлення ОВ.

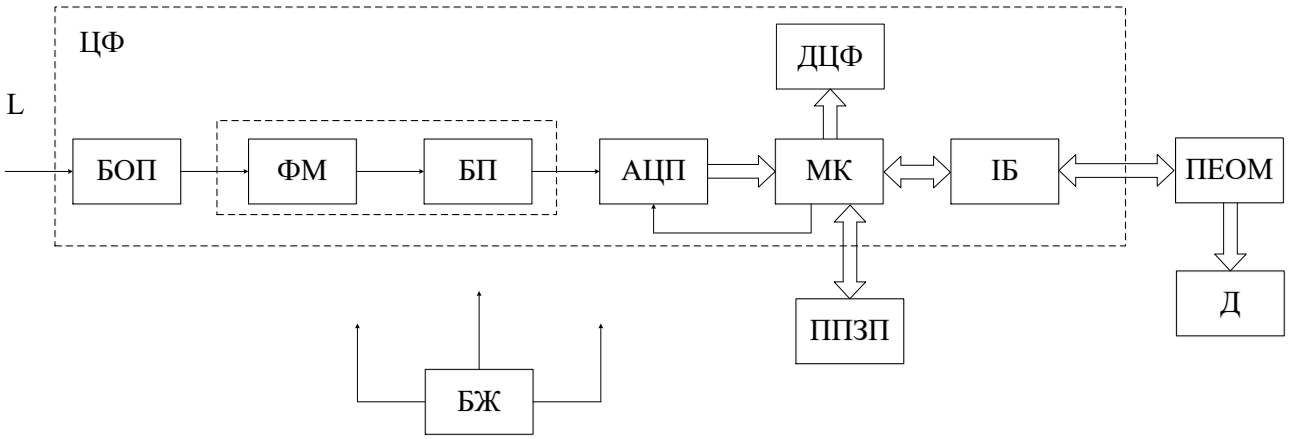


Рисунок 2. Структурна схема СВГР

На цифровому зображенні, розмір об’єкту вимірювання характеризується одиницями розміру кадру – пікселями. За кількістю пікселів між відображеними на екрані камери крайовими поділками міри довжини знаходиться масштаб, виражений у мм/піксель.

Програмна реалізація створена за допомогою середовища LabVIEW. Функції Straight Edges, Search Lines, Used Edges бібліотеки IMAQ Vision допомагають виділити границі на зображенні та, за якими розраховується розмір отвору (рис. 3).

Алгоритм розробленої системи аналізу і обробки цифрових зображень включає в себе наступні етапи:

- попереднє дослідження властивостей типових зображень;

- аналіз застосовності відомих методів обробки зображень в конкретному завданні;
- розробка (адаптація) алгоритмів;
- первинна програмна реалізація алгоритмів і якісна перевірка ефективності;
- остаточна програмна реалізація алгоритмів.

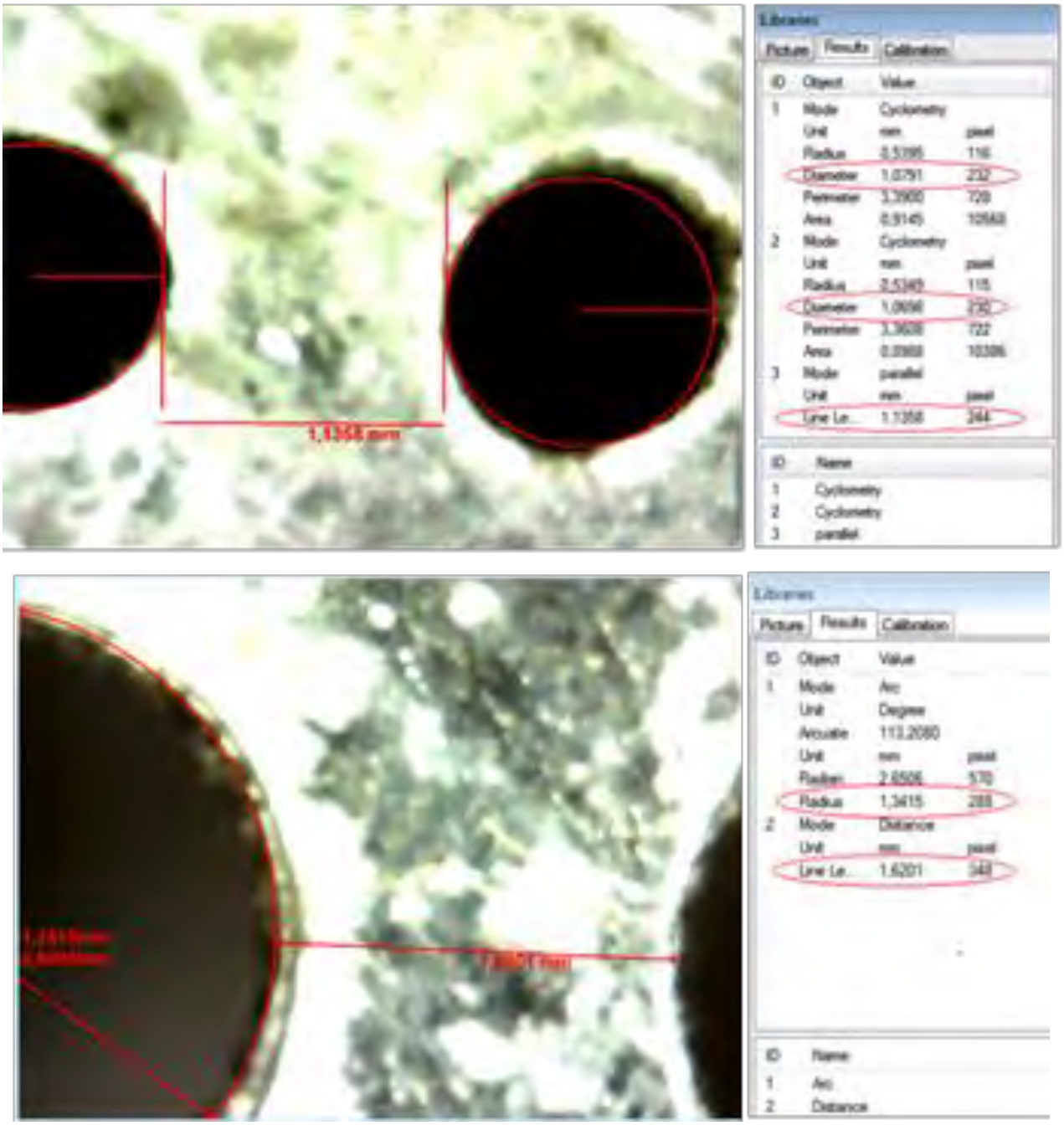


Рисунок 3. Розраховані розміри отворів

У ході роботи отримані розрахункові співвідношення та розроблено віртуальний макет системи вимірювання геометричних розмірів отворів у програмному середовищі LabVIEW. На рис. 4 представлена фронтальна панель розробленого макету.

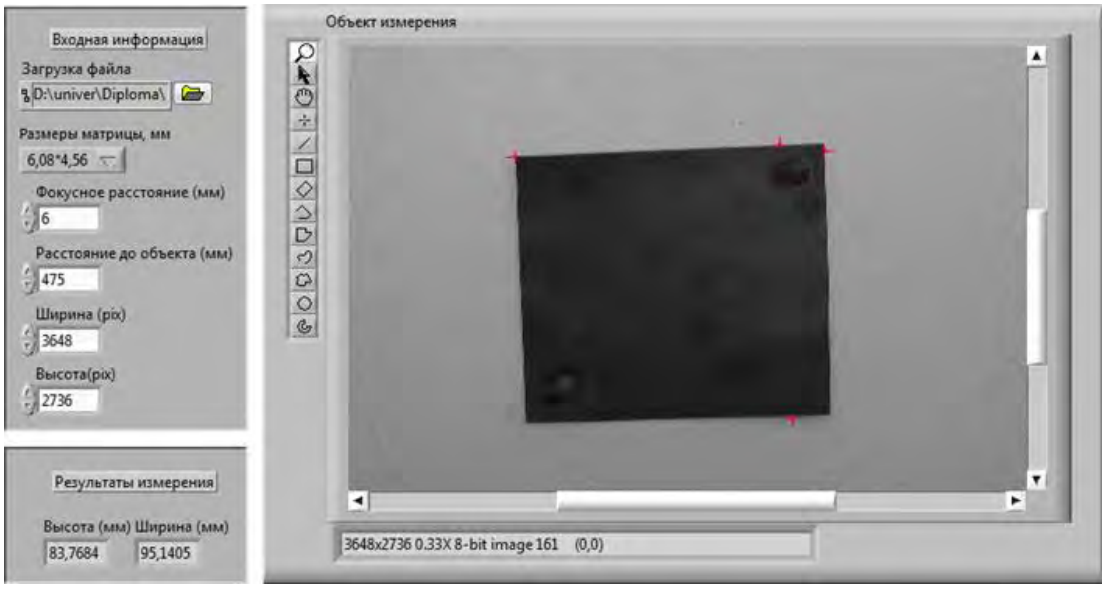


Рисунок 4. Фронтальна панель розробленого макету

ВИСНОВОК

Проведене дослідження метрологічних характеристик розробленої системи вимірювання геометричних розмірів об’єктів, а саме: загальне дослідження віртуального макету, дослідження впливу похибки блоку оптичного перетворення (БОП), дослідження впливу похибки фокусування БОП, дослідження впливу похибки роздільної здатності фотоматриці та дослідження алгоритму знаходження границь об’єкту в віртуальному макеті.

З розробленого макету можна зробити висновок, що розроблена система дозволяє пришвидшити процес калібрування геометричних розмірів отворів приблизно у 3 рази. При цьому система забезпечує похибку вимірювання лінійних розмірів до 2,5 мкм при використанні цифрового мікроскопу Sigeta Vizio.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

[1] ДСТУ ISO 3310-2:2007. Решета та сита контрольні. Технічні вимоги та методи випробування. Частина 1. Решета контрольні з перфорованих металевих пластин (ISO 3310-2:1999, IDT) [Текст]. – [Чинний від 2010-04-01; уведено вперше]– К.: Держспоживстандарт України, 2010. – IV, 10 с. – (Національний стандарт України).

[2] МА 01.007-03. Сита з сітки дратованої тканої з квадратними вічками. Методика атестації [Текст]. – Харків: ХДНДІМ, 2003. – 10 с

[3] Труднощі адаптації оптоелектронних систем на основі ПЗС-матриці до вирішення завдань цифрової фотограмметрії / Редько О.О. / - НАУКОВА ВЕСНА: Секція 13 – Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та вимірювальна техніка: матер. VI-ої всеукр. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, 01-02 квітня 2015 року, м. Дніпропетровськ. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2015. – С. 29-30. – (Режим доступу: http://science.nmu.org.ua/ua/conferences/science_spring/06.php)

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

УДК 000.000

В.Ю. Марченко, студент гр. ПБ-81, ас. Вонсевич К. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ПРИЛАДОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Анотація. В даній статті розглянуто типові системи для виміру параметрів мікроклімату виробничих приміщень, описано їх недоліки та розроблено власну систему для виміру параметрів мікроклімату на базі мікроконтролера ESP8266

Ключові слова: мікроконтролер ESP8266, One-Wire, IoT, Smart Grid.

ВСТУП

Станом на сьогодні досить важливим завданням у сфері приладобудування є можливість моніторингу показників мікроклімату у виробничих приміщеннях, установках промислових підприємств. З метою дотримання технічних умов процесів виробництва та прийняття рішень щодо безпеки роботи ланок, оператор (або автоматична система) окрім виробничих параметрів повинен мати можливість аналізувати у режимі реального часу основні показники мікроклімату, такі як: температура, відносна і абсолютна вологість, освітленість, швидкість руху та вміст газів у повітрі, тощо. Згідно з постановою міністерства охорони здоров'я України № 42 від 01.12.1999 року [1] чітко визначеними і обов'язковими до виконання є санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, у яких може перебувати працівник. Тому, реалізація постійного моніторингу таких норм та доступу до бази виміряних показників в будь-який момент часу є актуальним завданням.

Існуючі аналогові та механічні схемо-технічні рішення хоч і виконують в певному обсязі поставлене завдання, однак не можуть бути інтегровані у сучасні IoT (Internet of Things) та Smart Grid системи. Прикладом можна навести гігрометр "ВИТ-2", чашковий анемометр "Atmos"[2]. Тому, метою цієї роботи є розробка універсальної системи автоматизованого моніторингу мікроклімату виробничих приміщень, що може бути використана для контролю відповідних норм та інтеграції у портативні IoT-системи.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Типова схема для вимірювання параметрів мікроклімату виробничих приміщень включає в себе такі компоненти: датчики, аналогово-цифрові перетворювачі, мікроконтролер та зсобоби відображення інформації.

Мікроконтролер являє собою інтегральну схему, що зазвичай має у своєму складі: мікропроцесор, таймери, порти вводу-виводу, аналогово-цифрові перетворювачі, контролери преривання, тощо . Певна послідовність цих блоків та їх взаємодія називається архітектурою мікроконтролера [3]. Більшість мікроконтролерів, що використовуються для реалізації подібних завдань, зокрема AVR мікроконтролери компанії Atmel [4], побудовані на так званій RISC-архітектурі. RISC (Reduce Instruction Set Commands) – це архітектура зі скороченим набором команд. Такі мікроконтролери можуть одначсно працювати як з пам'яттю програм, так і з пам'яттю данних, однак при цьому не

мають вбудованих бездротових інтерфесів передачі данних. Як наслідок, для інтеграції системи моніторингу, що виконується на подібних мікросхемах, необхідно додатково під'єднувати модулі бездротового зв'язку тим самим ускладнюючи загальну структуру системи.

В той же час, окрім систем на RISC архітектурі існує можливість побудови приладів на CISC та ARM архітектурах. Де CISC (Complex Instruction Set Commands) – це традиційна архітектура з розширеним набором команд, а ARM (Advanced RISC – machine) – вдосконалена RISC архітектура [2].

Мікроконтролер ESP8266 [5], побудований на RISC – архітектурі, має вбудований модуль WIFI який зєднаний з мікроконтролером по шині UART – метод асинхронної передачі данних між пристроєм приймачем та пристроєм передавачем. Він не потребує додаткового під'єднання модулів бездротового зв'язку, та є зручним у використанні в сучасних IoT- системах.

Як чутливий елемент для вимірювання параметрів мікроклімату використовуються як аналогові так і цифрові та бінарні датчики. Аналогові датчики складаються з відчутника і перетворювача, а виміряний результ передається у аналогій формі, у вигляді сигналу, що можна описати певною математичною залежністю [6]. Цифрові датчики в свою чергу складаються з відчутника, перетворювача фізичного впливу у сигнал та аналого-цифрового перетворювача. Така компоновка дозволяє покращити завадостійкість та точність передачі інформації від датчика до мікроконтролера і досить зручно поєднується із загальноприйнятими інтерфейсами дротової передачі інформації (між сенсором та мікроконтролером): SPI, UART, I2C, One-Wire.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Базуючись на інформації розглянутій у попередніх розділах, у роботі було спроектовано структурну схему системи автоматизованого моніторингу мікроклімату виробничих приміщень (рис. 1).

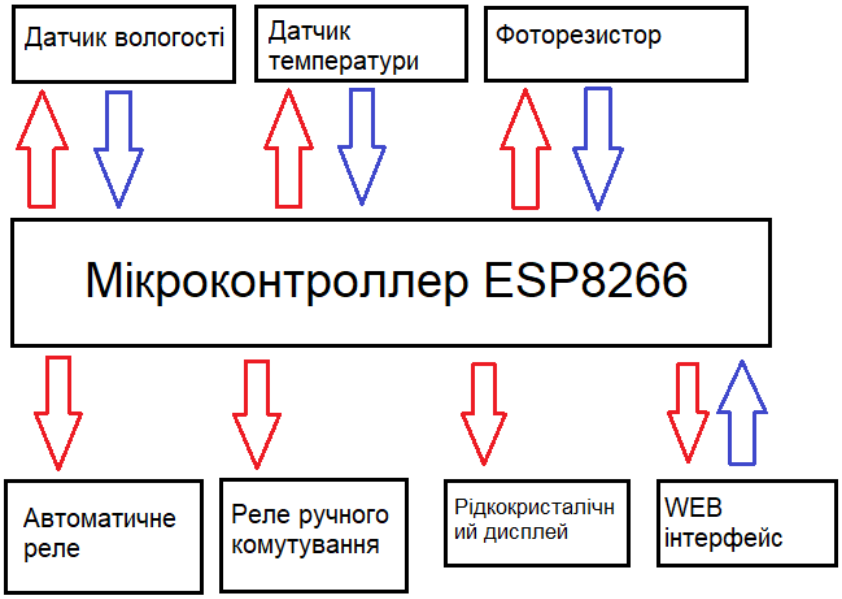


Рис. 1. Структурна схема спроетованої системи 4

Як видно з рис. 1, спроектована системі містить наступні модулі: мікроконтролер (ESP8266 Node MCU), датчик вологості (DHT 11), датчик температури (DS18B20), датчик освітленності – фоторезистор послідовно з'єднаний з резистором, які утворюють дільник напруги.

Передача виміряної інформації з датчиків до мікроконтролеру здійснюється по інтерфейсу "One-Wire".

Принцип роботи спроектованої системи полягає у наступному: При запуску системи мікроконтролер зчитує з внутрішньої пам'яті данні про зовнішню точку підключення Wi-Fi та надсилає 10 послідовних запитів на підключення. При умові, якщо було встановлено з'єднання, мікроконтролер надсилає сигнали на датчики та починає зчитування данних з них. Одночасно відображаючи інформацію на рідкокристаліному екрані та web сторінці, яка доступна для користувача за IP адресою, яка відображена на дисплеї. Якщо з'єднання з Wi-Fi точкою не було встановлено, мікроконтролер створює власну точку доступу "ESPtest", та надалі виконує аналогічні операції.

На рисунку 2 відображено вигляд веб сторінки яка була створено на базі мікроконтролеру ESP8266.

Рис. 2 Веб сторінка створена на базі мікроконтролера ESP8266

У цій статті авторами було створено власну систему автоматизованого моніторингу мікроклімату виробничих приміщень приладобудівних підприємств. Данна система вимірює показники відносної вологості, температури та освітленості. Інформацію про поточні параметри мікроклімату можливо отримати як з рідкокристалічного дисплею так і з web сторінки. В

залежності від встановлених допустимих параметрів мікроклімату за допомогою встановлених реле виконується автоматична комутація високольтних ліній. Через web сторінку оператор має можливість в ручному режимі виконувати комутацію.

Варто зазначити, що спроектована система може інтегруватись у більш складні системи контролю і управління (як частина додатковий функціональним модуль), та використовуватись як повноцінний прилад для автоматизованого моніторингу мікроклімату виробничих приміщень. Візуалізація виміряних результатів як на LCD дисплей системи, так і на веб-сервер дозволяє проводити моніторинг показників у режимі реального часу оператором у приміщенні, так і дистанційно, забезпечуючи тим самим автономність і універсальність системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Постанова міністерства охорони здоров'я України «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99» від 01.12.1999 року №42. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text

[2] Нормування параметрів мікроклімату — Режим доступу: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/580.html

[3] Мікроконтролери в електричних системах — Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19120/2/%D0%9C%D0%9F%D0%A22-95-184.pdf

[4] Мікроконтролери ATMEL сімейства Mega — Режим доступу: https://pns.hneu.edu.ua/pluginfile.php/321992/mod_resource/content/2/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%206.pdf

[5] ESP8266EX Datasheet — Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

[6] Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів усіх форм навчання та студентів-іноземців напряму підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. В. Кирик. – Київ : Політехніка, 2014. – 184 с.

Наук. керівник – ас. Вонсевич К. П.

УДК 629.1.05

І. І. Рішко, студент гр. ПВ-91мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА КАЛІБРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ЛЮФТОМІРІВ

Анотація. В статті розглядається важливість контролю за станом керма за допомогою створення нової системи для калібрування керма. Адже саме кермо є основним засоб управління автомобілем. Вдосконаливши системи калібрування, яке забезпечить більш точне вимірювання люфта керма. Це дозволить виявити неправильну роботу керма та попередити виникнення небезпеченої ситуації на дорозі та збільшити срок експлуатації автомобіля.

Ключові слова: калібрування, вимірювання, автомобіль, люфтомір.

ВСТУП

Калібрування автомобільного керма – є одним з важливих етапів планового проходження сервісного технічного обслуговування (далі – СТО). Калібрування автомобільних люфтомірів, як і будь якого вимірювального засобу, підлягає періодичній повірці та необхідно для того, щоб підвердити заявлені метрологічні характеристики. Без перебільшення можна сказати, що від якості проведення калібрування люфтоміра – може залежати життя водія.

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сумарний люфт – це діапазон зміни положення керма від крайнього вивороту в одну сторону до іншої крайньої сторони. Простіше кажучи, це відстань, яке пройде кермо до моменту, коли автомобіль поїде у вказаному його напрямку: вправо або вліво.

В експериментальній моделі, сумарний люфт керма складав 15 градусів. Це є порушенням як техніки безпеки, так і правил дорожнього руху [1], які обмежують використання такого автомобіля на дорогах загального використання.

Основними причинами виникнення люфту можуть бути:

- послаблення кріплення рульового колеса на шліцах рульового вала;
- послаблення кріплення рульової колонки;
- послаблення кріплення картера рульового механізму;
- недостатньо якісне зачеплення робочої пари «черв'як – ролик»;
- послаблення кріплення сошки на конічних шліцах валу;
- люфт у шкворневих з'єднаннях поворотних цапф коліс;
- зношеність конічних підшипниках поворотних цапф коліс.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ТА ЇХ ПРОБЛЕМА

Стандартний контрольний-вимірювальний стенд для автомобільних люфтомірів призначений для задання і відтворення кутів повороту автомобільного керма, при проведенні повірки та калібрування приладів для вимірювання сумарного люфту в рульовому управлінні автомобілів.

Серед існуючих аналогів найбільше помітний МЕТА Люфтомер ИСЛ-М. Він виконує усі поставлені функції, які вимагаються від нього за стандартом ДСТУ 3649:2010. Проте у нього є декілька критичних недоліків – його можна

використовувати лише на нерухомому автомобілі, люфтомір підключається до датчиків за допомогою проводів та вартість.

Також, є вітчизняний аналог – люфтомір ЛД-101. Це механічний вимірювальний прилад, який працює за динамометричним принципом. Головним його недоліком є те, що він є аналоговим, що спричиняє похибку оператора при знятті значень й вимагає постійного догляду за динамометричним механізмом.

Запропонована система вирішує ці недоліки за допомогою використання сучасної електроніки для розробки вбудованих рішень та безпровідних технологій.

Система вимірювання люфта для керма проходить шляхом безпровідного підключення системи датчиків на колесах до люфтоміра на кермі автомобіля. Дані з датчиків передаються за допомогою Bluetooth-модулю та оброблюються мікроконтролером.

Як вже було сказано вище, одним з критичних недоліків є те, що вищерозглянуті люфтоміри підключається до датчиків за допомогою проводів, що іммобілізує автомобіль. Тому, якщо зробити пристрій безпровідним – з'являється можливість більш точного виміру люфту керма навіть при русі автомобіля.

При цьому, важливо зазначити, що використання мікроконтролерів та застосування Bluetooth дозволяє змешити вартість, в порівняні з аналогами, вимірювального приладу майже в 8 раз. Адже вартість комплектуючих складає близько 2 тис. грн., в порівнянні з вартістю МЕТА Люфтомер ИСЛ-М, яка складає близько 16 тис. грн. на момент написання статті.

РОЗРОБКА СТЕНДУ

Стало актуальною задачею спроектувати власний стенд для вимірювання люфта керма на основі діючих аналогів, який буде відповідати стандартам, а також відрізнятися підвищеною точністю та простотою збирання та мати можливість безпровідно надсилати дані вимірювання.

Рисунок 1 – Зібраний макет

Пристрій розроблений на платформі Arduino Uno з використанням датчиком гіроскопа та модулем Bluetooth й дисплеєм, на який виводиться

результат вимірювання. За допомогою Bluetooth-модуля забезпечується зв'язок між люфтоміром та вимірювальним стендом, який забезпечує калібрування.

Завдяки використанню платформи Arduino, калібрувальний стенд може живитись від батарейок або акумуляторів протягом тривалого часу. Ця перевага забезпечується невисоким енергоспоживанням мікроконтролера ATmega 328p, який в піковому режимі споживає до 500 мА.

Також, серед переваг стенду є його технологіічна розширюваність. Завдяки використанню ATmega 328p, до стенду можна підключити інші прилади (безпосередньо або через логічні перетворювачі), які можуть обмінюватись даними за протоколами SPI й I2C [2].

Проте, найбільш енергозатратною частиною стенду – є модуль Bluetooth. Емпірично було доведено, що його тривале використання зменшувало автономність калібрувального стенду майже вдвічі. Висунуто гіпотезу про те, що це зумовлено малим розміром передаючої антени.

ВИСНОВКИ

Був розроблений калібрувальний стенд, до якого було написано спеціальне програмне забезпечення на мові C++.

Окрім того, головною перевагою розробленого калібрувального стедну над наявними аналогами є те, що він має здатність вимірювати люфт під час руху автомобіля, що підвищує точність вимірювання, адже дозволяє компенсувати появу динамічної похибки [3] в результатах вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Правила дорожнього руху 2020. 31. Технічний стан транспортних засобів та їх обладнання. — Режим доступу: https://vodiy.ua/pdr/31/#3142 — 25.11.2020 р.

[2] ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. Datasheet. — Режим доступу: .https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf — 23.11.2020 р

[3] Орнатский, П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатський — 5-е вид., перероб. ы доп. — К.; Вища школа, 1986. — 504 с.

УДК 621.039.58

В. І. Фесенко, студентка гр. ПГ-91мп, О. М. Павловський к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Робота присвячена огляду сучасних існуючих алгоритмів систем радіаційного контролю, що базуються на різних методах виявлення радіації. В роботі представлено огляд існуючих алгоритмів, їх порівняння та недоліки. Також було розглянуто підхід з використанням нейронних мереж прямого поширення для ліквідації недоліків розглянутих алгоритмів. Для цього буде використана штучна нейронна мережа прямого поширення, що має 10 шарів нейронів та 2812555 параметрів. Дана нейронна мережа в якості функції активації використовується LeakyReLU. Використання нейронних мереж для радіаційного контролю дозволяє підвищити точність виявлення джерела радіоактивного випромінювання.

Ключові слова: дозиметр, нейронна мережа, радіаційний фон, радіонукліди, гістограма, пуассонівська імпульсна послідовність, функція активації LeakyReLU.

ВСТУП

Впродовж багатьох років науковці всього світу досліджують радіаційний фон Землі. За цей час було встановлено, що радіаційний фон формується під впливом трьох чинників: космічне випромінювання, випромінювання від корисних копалин, що знаходяться в земній корі та штучне випромінювання радіонуклідів [1].

Космічне випромінювання потрапляє до Землі у вигляді протонів, з великою кількістю енергії. Кожен житель нашої планети в середньому від випромінювання з космосу одержує протягом року дозу в 300 мкЗв. До земних джерел радіаційного випромінювання належить близько 60 природних радіонуклідів. Наприклад, на території України є велика кількість граніту, гнейсу, глини — ці породи мають в своєму складі радіоактивні елементи, а отже вони випромінюють радіаційний фон, величина якого складає 10-20 мкР/год. Також, певну частку радіаційного фону складає діяльність людини, наприклад, після аварії на Чорнобильській АЕС радіаційний фон місцевості значно зріс.

Природний радіаційний фон не є постійним і коливається в межах 8-9 мкР/год. Тобто, визначення радіаційного фону є доволі важливою задачею сьогодення. Нині існує безліч пристроїв радіаційного контролю [2] та кожен з таких пристроїв має свої алгоритми для контролю радіації.

Отже, мета даної статті — порівняння існуючих алгоритмів для виявлення радіації та їх аналіз.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АЛГОРИТМІВ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Для розгляду було обрано наступні існуючі алгоритми радіаційного контролю: диференційний алгебраїчний метод для виявлення нестаціонарного джерела радіоактивного випромінювання; покращення диференційного алгебраїчного методу шляхом застосування порівняння гістограм; пошуковий метод дозиметру; алгоритм роботи дозиметру-радіометру та алгоритм роботи дозиметру з детекторами, з мікропроцесорним обробленням вимірювальної інформації.

У статті [3] було запропоновано диференційний алгебраїчний метод для порівняння гістограм спектрів радіоактивного випромінювання. У результаті проведення спостереження за об’єктом з ядерно-радіаційними матеріалами реєструється n радіоактивних частинок, отриманих у заданому часовому інтервалі довжини t. Результат вимірювань утворює вибірку $x = (x_1, x_2, ..., x_n)$ з

генеральної сукупності, причому розподіл кожного x_i описується розподілом Пуассона. Значення вибірки x укладаються між фіксованими значеннями X_0 і X_m. Вірогідність потрапляння вимірюваної величини x в інтервал від X_0 до X_m описується функцією розподілу:

$$F(x) - P(X_0 < x < X_m) \quad (1)$$

Де, F(x) - розривна ступінчаста функція, що дорівнює нулю, при $x<X_0$ та одиниці, при $x>X_m$, компоненти вибірки x — результати однакових вимірювань. Далі вибірку розбивають на окремі інтервали і шукають ймовірність того, що окремий результат вимірювання міститься в даних інтервалах. Частоту подій потрапляння радіоактивної частинки в окремі інтервали позначають N_j.

Згрупований таким чином ряд оформлюють у виді гістограм. І якщо кожному розрядному інтервалу поставити у відповідність енергію зареєстрованої частки, то отримаємо спектральний розподіл енергій радіоактивного випромінювання.

У статті [4] наведений метод, що базується на методі представленому у [3], проте модифікований за рахунок використання нового критерію порівняння гістограм, що дозволило підвищити точність виявлення і розпізнавання джерела випромінювання по його енергетичному спектру.

У якості критерія порівняння гістограм було запропоновано:

$$\begin{cases} A = 1 - \dfrac{H}{H_n}; \\ H = \sum_{i=1}^{n} (P_i \cdot \log P_i) = \sum_{i=1}^{n} (\dfrac{N_i}{N_0} \cdot \log \dfrac{N_i}{N_0}); \\ H_0 = \log n \end{cases} \quad (2)$$

Де $0 \le A \le 1$, H_0- максимальна ентропія масивів даних, H - поточна ентропія масивів даних, P_i- ймовірність прийняття системою вимірювання і-того стану; n- число класів гістограми, N_i - число влучень радіоактивних часток в даний клас та N_0- число спостережень.

В роботі [5] досліджені статичні характеристики генератора пуассонівської імпульсної послідовності, за допомогою якого формується вихідний сигнал дозиметричного детектора. Потік вхідних імпульсів генератора розділяють на n однакових груп, кожна з яких складається з i_{max} імпульсів. Завдяки такому розділенню імпульсів на групи відбувається перевірка гіпотези про розподіл генеральної сукупності за законом Пуассона з використанням критерію Пірсона (критерію χ^2).

В результаті застосування гіпотези знаходять значення χ_c^2 та порівнюють з критичним значенням $\chi_{кр}^2$. І відповідно до значення χ_c^2 роблять висновки щодо імпульсного потоку пуассонівського закону розподілу, що як вже було зазначено вище, формує вихідний сигнал дозиметричного детектору.

В статті [6] розглядають алгоритм роботи дозиметру-радіометру, що призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма та рентгенівського випромінювання, а також поверхневої щільності

потоку бета-частинок.

Пристрій детектування гамма-випромінення, що входить у склад комбінованого блоку детектування (КБД), складається з високочутливого детектора, низькочутливого детектора, схем управління детекторами, та формувачів анодних напруг для живлення детекторів. В якості високочутливого детектора застосовується газорозрядний лічильник типу СБМ-20-1, в якості низькочуттєвого - СИ ЗБГ.

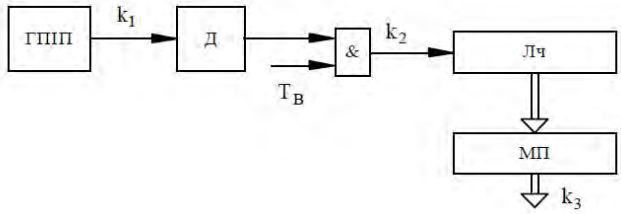


Рисунок 1. Структурна схема дозиметричного пристрою, де ГПІП - генератор псевдовипадкової імпульсної послідовності, Д – дозиметр, Лч - лічильник Лч, МП - мікропроцесор МП та «&» - логічний елемент.

В статті [7] досліджено статистичні характеристики дозиметрів з детекторами, що мають мертвий час непродовжуючого типу, в яких використовується мікропроцесорне оброблення вимірювальної інформації.

Для дослідження статистичних характеристик було розроблено імітаційну модель з генератором псевдовипадкової імпульсної послідовності (ГПІП), структурна схема такого дозиметру представлена на Рисунку 1.

Для моделювання впливу мертвого часу на роботу детектору було застосовано наступну модель: кожний вихідний імпульс детектора блокує вихід ГПІП на відповідний час.

Проаналізувавши існуючі алгоритми в пристроях радіаційного контролю було виявлено наступні недоліки:

- Дані алгоритми мають безперервно працювати для виявлення радіоактивних елементів;
- Дані алгоритми не дозволяють виявити низькоактивні радіаційні джерела;
- Диференційний алгоритмічний метод з використанням порівняння спектрів не дозволяють виявити джерело радіоактивного випромінювання;
- Складність технічних реалізацій.

Науковці зі Стенфордського університету почали застосовувати нейронні мережі для моделювання фізичних процесів, таких як рух рідин та газів у різних середовищах [8]. Оскільки для моделювання фізичних явищ використовуються складні математичні моделі з великою кількістю параметрів та обчислень, що ускладнює моделювання таких явищ на практиці.

Використання нейронних мереж для моделювання фізичних процесів потребує значно меншу кількість обчислень та дозволяє отримувати практичні результати у будь-який момент часу моделювання [8].

Для усунення наведених вище недоліків виникає необхідність у розробці нового алгоритму радіаційного контролю з використанням нейронної мережі. Використання машинного навчання у даному алгоритмі дозволяє розв’язати такі проблеми як: виявлення джерела випромінювання, складність технічної реалізації та підвищити точність виявлення положення радіоактивного об’єкту.

Для цього буде використана штучна нейронна мережа прямого поширення, що має 10 шарів нейронів та 2812555 параметрів. Кожен з шарів використовує нормалізацію даних та функцію активації LeakyReLU [9]. Для навчання нейронної

мережі буде створено власний набір даних за допомогою прототипу пристрою. Кожен з записів набору буде представлений у виді 16-ти вимірів рівня випромінювання об'єкта яким відповідає один запис відносних полярних координат об'єкта.

ВИСНОВКИ

У даній статі проаналізовано існуючі алгоритми для контролю радіаційного фону та розглянуто їх недоліки. Основними недоліками усіх алгоритмів є неможливість виявлення низькоактивної радіаційної речовини та складність технічної реалізації. Для усунення недоліків було вирішено використовувати нейроні мережі прямого поширення з функцією активації LeakyReLU.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Плачкова, С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / С. Г. Плачкова // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://energetika.in.ua/ru/books/book-5

[2] Фесенко В. І. Огляд сучасних систем радіаційного контролю / В. І. Фесенко, О. М. Павловский. // XIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування». 2020. — с. 175-178.

[3] Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, В. М. Буртняк. «Применение дифференциального алгебраического метода выявления нестационарного источника радиоактивного излучения». Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист 3 (2011): с. 115-122.

[4] Буртняк В.М., Забулонов Ю.Л., Золкін І.О., Дивизинюк М.М., Гончаренко Ю.Ю. «Виявлення нестаціонарних джерел радіоактивного випромінювання шляхом застосування інформаційного методу». Науково-технічний журнал «СУЧАСНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ» №2, 2011: с. 100-106

[5] Максимович В. «Алгоритм роботи пошукового дозиметричного пристрою» / В. Максимович, Р. Смук, Ю. Сторонський, Ю. Костів, А. Пастух // Комп'ютерні технології друкарства. - 2015. - № 33. - С. 43-50.

[6] Бісик А. М., Дудикевич В. Б., Максимович В. М., Смук Р. Т., Сторонський Ю. Б., Хорошко В. О. «Сучасний прилад радіаційної розвідки». Науково-технічний журнал «СУЧАСНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ» №1, 2008: с. 75-79

[7] Дудикевич В. Б. Аналіз статистичних характеристик мікропроцесорних дозиметричних пристроїв з розширеним динамічним діапазоном / В. Б. Дудикевич, В. М. Максимович, Р. Т. Смук, Ю. Б. Сторонський// Вісник «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація» – Львів: Національний універс. "Львівська політехніка", 2006. – № 551. – С. 47-51.

[8] Alvaro Sanchez-Gonzalez, Jonathan Godwin, Tobias Pfaff, Rex Ying, Jure Leskovec, Peter W. Battaglia. Learning to Simulate Complex Physics with Graph Networks. Learning to Simulate, 2020

[9] *B. Xu, N. Wang, T. Chen, M. Li. Empirical Evaluation of Rectified Activations in Convolutional Network. CoRR, 2015*

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

УДК 303.714

Б.С. Шмідт, студент гр. ПВ-91мп, Д.В. Босенко, асп., к.т.н., доц. Шведова В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КВАЛІМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ КОНКРЕТНОЇ ЗАДАЧІ ПЕДАГОГІЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ

Анотація. В публікації проведений аналіз методів кваліметричних вимірювань на основі експертного оцінювання і їх застосування для вирішення конкретної задачі педагогічного вимірювання – оцінювання освітньої програми шляхом віднесення її до певного класу. Це дозволило обрати для вирішення поставленої задача, так званий метод М із подальшим застосуванням опрацювання даних експертного оцінювання за способом повно блокових тестів

Ключові слова): кваліметрія, експертні вимірювання, педагогіка, методи вимірювання.

ВСТУП

При оцінюванні якості продукції і послуг особливо важливою є роль експертних методів. Вони не вимагають дорогого обладнання, приладів, реактивів і не трудомісткі за часом. Науково організований експертний метод вимірювання за чутливістю часом перевершує багато прийомів лабораторних досліджень. У ряді випадків це єдиний можливий метод, що дозволяє відрізнити високоякісний продукт від звичайного, фальсифікований від натурального, виявити ранні ознаки псування [1].

Однією з найбільших проблем в сфери експертного оцінювання або вимірювання є - забезпечення єдності таких вимірювань. Науковою основою забезпечення єдності експертних вимірювань є розділ метрології – кваліметрія (наука про вимірювання якості продукції) [1-2].

У загальній проблемі забезпечення єдності експертних вимірювань одними з важливих завдань є вибір (рисунок 1.1):

- оптимальної номенклатури вимірюваних показників якості,
- критеріїв прийняття рішень,
- алгоритмів обробки кваліметричної інформації.

На сьогоднішній день сфера вимірювань розширилась і охоплює галузі такі галузі як педагогіка, соціологія, психологія тощо.

Особливістю цих галузей є відсутність звичних в метрологічній практиці інструментів, таких як засобів вимірювальної техніки та прийнятих в метрології метричних шкал вимірювання.

Інструментами для визначення характеристики того чи іншого об’єкту часто виступають тести або окремі вимірювані або не вимірювані показники. В загально відомій практиці такий процес визначення характеристик називається оцінювання. Однак останні роки, враховуючи зростаючу формалізацію процесу оцінювання він все більше наближається до процедури вимірювання, хоча за природними особливостями має певні відмінності від класичної процедури вимірювання.

В цьому контексті педагогічні вимірювання близькі до кваліметричних вимірювань, які можуть спиратися як на об’єктивно виміряні показники, так і на оцінки, отримані експертним шляхом для визначення одного комплексного показника, на основі якого здійснюються певні досить конкретні висновки.

Один з прикладів кваліметричного вимірювання, що ґрунтується на експертних оцінках розглядається в даній роботі.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задачею є визначення комплексної характеристики об'єкта дослідження на основі оцінок експертів. При цьому для оцінювання розглядається N параметрів. Для оцінювання залучається k експертів. Кожен з експертів виставляє оцінки в чотири рівневій шкалі.

В нашому випадку розглядається процедура акредитації освітніх програм, яка містить N =10 критеріїв, кожен з яких має від 4-х до 9-ти підкритеріїв.

Кількість експертів k =3.

Лінгвістична шкала оцінювання становить 4 рівні: A, B, F, E.

Перелік критерії для оцінювання освітньої програми, наведено в таблиці.

ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ПРОБЛЕМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ

Для вибору оптимального методу проведення дослідження було проаналізовано особливості методів експертного оцінювання, наведені в [1,3]: Методи А, Б, В, Г, Д, У, Ж, І, К, Л, М, Н, О, П, Р.

З'ясовано, що характерними ознаками методів є:

- Залучення 1-го обо більше експертів;
- Оцінювання об'єкта за 1-м або більшою кількістю показників;
- Проведення оцінювання в кількісній або не кількісні формі (за порядковою шкалою);
- Введення вагових коефіцієнтів з огляду на різню значущість показників, що оцінюють або рівнозначність всіх показників;
- Визначення комплексного показника за всіма оцінками експертів та показниками, що підлягали оцінюванню як єдиного числа чи вектора з усереднених показників.

В нашому випадку (при оцінюванні освітньої програми) маємо обрати метод виходячи з таких ознак: залучення 3-х і більше експертів; оцінювання об'єкта за 9-ма або 10-ма показниками; проведення оцінювання в не кількісні формі (за порядковою шкалою); рівнозначність всіх показників; визначення комплексного показника за всіма оцінками експертів та показниками, що підлягали оцінюванню як вектора з усереднених показників.

Даним ознакам найбільше відповідає метод М. Метод М полягає в наступному: досліджувані варіанти порівнюються за значеннями показників окремих властивостей. Кращі значення показників якості виділяються певним чином, не кількісно (наприклад, знаками (+) або (>) позначаються кращі показники якості, а решта - знаками (-) або (<)). Потім складається таблиця порівняння варіантів, на підставі якого вибирається найкращий варіант [1].

Варто зазначити, що експертними методами вимірювання визначаються не лише кількісні відмінності показників якості об'єктів, але і якісні відмінності між об'єктами, тобто належність їх до певного класу. При таких дослідженнях

не дають відповіді на питання, який із об'єктів має більш високу якістю, а визначають приналежність об'єкта до певного класу.

В нашому випадку (при оцінюванні освітньої програми) класами еквівалентності є: акредитовані програми; умовно акредитовані програми; неакредитовані програми.

До неакредитованих програм може бути віднесена програми з вектором за 9-ма показниками (для бакалаврату) та 10-ма (для магістратури) оцінок, якщо хоча б одна з оцінок «F», наприклад: $\overline{EP} = \{A; B; B; A; B; B; B; F; B\}$ або більше трьох оцінок «E», наприклад: $\overline{EP} = \{E; B; B; A; E; B; B; E; E\}$. Умовно акредитована (на 1 рік), якщо у векторі присутньої три оцінки «E», наприклад: $\overline{EP} = \{E; B; B; A; B; B; B; E; E\}$. Акредитована в усіх інших випадках, наприклад: $\overline{EP} = \{A; B; B; A; B; B; B; E; B\}$.

До способів (методів) отримання первинних оцінок відносять: парний метод, двопарний (дуо-тріо) метод, трикутний метод, а також метод подвійних стандартів.

В нашому випадку є один досліджуваний об’єкт X – одна освітня програма і є відомий еталон, методичний опис освітньої програми з «ідеальними показниками» за кожним досліджуваним критерієм. Отже там підійде попарний метод. За яким експерт порівнює критерій досліджуваної освітньої програми X з «ідеальним» описом до нього.

Однак отримання експертних оцінок – це лише експериментальна частина дослідження. Далі отримані оцінки підлягають опрацюванню. Для подальшого визначення комплексного показника, на онові якого можливе віднесення цієї програми до одного з трьох вищенаведених класів може бути застосований зокрема спосіб, що ґрунтується на так званих повно блокових тестах, описаний в [1].

Для його застосування кожен з критеріїв, що оцінюється за шкалою оцінок: A, B, F, E, визначають послідовністю оцінок експертів, переведених в числову шкалу, яку можна представити таблицею.

Таблиця 1

Оцінка	***Смислове навантаження оцінки***	***Числові значення оцінок***
A	«відмінно»	5
B	«добре»	4
F	«задовільно»	3
E	«не задовільно»	2

Враховуючи наявність 3-х експертів за результатами оцінювання ми отримаємо таблицю виду:

Критерій	**Оцінка експерта 1**	**Оцінка експерта 2**	**Оцінка експерта 3**	**Інтегральна оцінка 3-х експертів**
1	a_{11}			A_1
2	a_{12}			A_2

Критерій	**Оцінка експерта 1**	**Оцінка експерта 2**	**Оцінка експерта 3**	**Інтегральна оцінка 3-х експертів**
3		a_{23}		A_3
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10			a_{310}	A_{10}

В таблиці позначені оцінки експертів: a_{ij}, де і – індекс, що вказує на номер експерта; j – індекс, що вказує на номер критерію.

На сьогоднішній день ми маємо правило отримання комплексного показника, що визначає рішення, щодо акредитації освітньої програми, яке подається наступним чином.

1) Визначається інтегральна експертна оцінка за кожним критерієм A_j;
2) На основі масиву оцінок $\overline{A} = \{A_1, A_2, \ldots, A_{10}\}$ робиться висновок за правилами:
   — Якщо в масиві $\overline{A}$ є три або більше оцінки рівня Е або хоча б одна оцінка рівня F, то освітня програма не акредитується;
   — Якщо в масиві $\overline{A}$ є дві оцінки рівня Е, то освітня програма не акредитується умовно;
   — В інших випадках освітня програма акредитується.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз методів кваліметричних вимірювань на основі експертного оцінювання і їх застосування для вирішення конкретної задачі педагогічного вимірювання – оцінювання освітньої програми шляхом віднесення її до певного класу, дозволив обрати для вирішення цієї задача, так званий метод М із подальшим застосуванням опрацювання даних експертного оцінювання за способом повно блокових тестів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Хамханова Д.Н. Теоретические основы обеспечения единства квалиметрических измерений. - Улан-Уде, Издательство ВСГТУ, 2006.
[2] Мотало В. Проблеми метрологічного забезпечення кваліметричних вимірювань / Вимірювальна техніка та метрологія – 2008 р. - № 68.
[3] Азгальдов Г.Г. Потребительская стоимость и ее измерение. М.: Экономика, 1971.

Секція 11.
Автоматизація експериментальних досліджень

УДК 62-768.3

Б.Р. Діхтяренко, студент гр. ПА-91мп, М.С. Скурский, студент гр. ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДЕГРАДАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Анотація. В роботі розглянуто особливості явищ деградації сонячних панелей від різних факторів та зроблено висновок про необхідність оцінки параметрів деградації. Проаналізовано існуючі методи діагностики деградації сонячних панелей. Зроблено висновок про доцільність використання дистанційної електричної системи для діагностики панелей.

Ключові слова: деградація, діагностика, сонячні панелі.

ВСТУП

Явище деградації характерне для всіх існуючих на даний момент сонячних панелей і полягає в тому що при дій зовнішніх факторів певна частина фотоелементів можуть вийти з ладу і без фактичного втручання і повної перевірки всієї панелі для того щоб виявити пошкодженні компоненти і їх подальшої заміни та ремонту в цілому.

Для повноцінної перевірки зміни оцінки деградації було б зручно перевіряти роботу панелей постійно та отримувати достовірну інформацію в реальному часі та дистанційно контролювати стан та працездатність панелі.

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДЕГРАДАЦІЮ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ТА МЕТОДИ ЇХ ДІАГНОСТИКИ

Деградація сонячних панелей це цілком природний і неминучий процес на який людина не може впливати, але можна значно знизити швидкість старіння панелі вчасно проводи її діагностику та заміну несправних деталей. Деградують всі існуючі конструкції – полікристалічні, монокристалічні та плівкові. Є такі основні фактори впливу на сонячні панелі:

- будова модуля;
- механічні моменти побудови системи;
- вплив зовнішнього середовища.

Вплив навколишнього середовища практично не піддається контролю, але на інші фактори може досить вагомо впливати в значній мірі та з можливістю зводити їх до мінімального значення .

Деградація, викликана світлом - виникає, коли сонячна панель вперше піддається впливу сонячної радіації, в результаті її фотопровідність зменшується. Це вважається етапом «настройки» панелі.

Потенційна деградація - даний тип деградації не завжди відбувається, але якщо це трапиться, продуктивність панелі може знизитися аж до 30%. Схильні до неї всі типи панелей. У деяких випадках потенційна деградація може бути оборотною, але цей процес завжди є досить непростою технічною проблемою, яка потребує негайного вирішення. Потенційна деградація виникає, коли різні компоненти в системі знаходяться під різними напругами. Наприклад, при різниці потенціалів між сонячними елементами і рамкою (монтажною конструкцією, алюмінієвим або сталевим каркасом). Таке відхилення викликає витік напруги і, отже, знижує вихідну потужність панелі.

Деградація, пов'язана зі старінням . Сонячні модулі схильні до впливу зовнішніх факторів, що неминуче - це природний знос сонячних панелей. Такі процеси старіння відбуваються через хімічних реакцій в напівпровідниках, що викликають кристалічні затвердіння, а також з-за забруднення фотомодулів, кліматичних умов, погоди, впливу ультрафіолету. Зазвичай даний тип деградації незворотній, і з економічної точки зору сенсу в його усуненні немає.[1-2]

Технологія перевірки сонячних панелей за допомогою тепловізора.

Тестування необхідно виконувати при достатньому рівні сонячної інсоляції – не менше 500 Вт/м2. Це гарантує, що буде достатній тепловий контраст для точних термографічних вимірювань. З цієї ж причини доцільно проводити діагностику при мінімально можливій температурі навколишнього середовища, ідеальні умови – сонячний зимовий день. Дуже важливо правильно вибирати кут огляду тепловізора відносно площини сонячної панелі. Правильне позиціонування тепловізора дозволить уникнути помилок і неправильних висновків при діагностиці фотомодулів. Рекомендований кут огляду (зелений сектор, кут 5-60 °) під час термографічного діагностики.

Якщо сонячні панелі сонячної електростанції встановлені таким чином, що є доступ до звороту панелей, то кращим є термографія нижньої поверхні фотомодулів. Цей метод мінімізує помилкові відображення на склі від сонця і хмар. Крім того, контраст температур на тильній стороні буде вище, оскільки сонячний елемент вимірюється безпосередньо, а не через поверхню скла.

Сонячні панелі повинні діагностуватися в стандартних умовах експлуатації, а саме під навантаженням. В залежності від типу фотомодулів і типу несправності, вимірювання без навантаження, а також вимірювання при короткому замиканні панелей можуть забезпечити додаткову інформацію про стан сонячних панелей.[3]

Особливості аналізу тест спалахом:

- вольт-ампер характеристики вимірюються за допомогою каліброваного тестера фотоелектричних панелей;
- виступає в якості основного методу оцінки ефективності фотоелектричних панелей і її можливих коливань;
- використовується як визначальний критерій для стандартних проблем електричних характеристик панелі.

Мобільний вимір вольтамперних кривих.

Даний метод ефективний для оцінки електричних характеристик окремих сонячних модулів або ланцюгів в цілому (до 100 кВт-пік). Вимірювання здійснюється безпосередньо на місці розміщення сонячної електростанції в умовах природного сонячного освітлення.

Суть даного методу:

виявлення вольтамперних характеристик варіацій в панелях без трудомістких і дорогих випробувань в лабораторії,

визначення несправних рядів на панелі.

точне вимірювання температури і інтенсивності освітлення панелі по калібровані піранометра (ISO 9060:-1990 (E) Другий стандарт). [4]

ВИСНОВКИ

Отже, з переглянутих вище факторів деградації сонячних панелей та методів їх діагностики та перевірки, їх працездатності найефективнішим методом на даний момент є метод перевірки за допомогою тепловізора, що дає можливість виявлення не справних компонентів сонячної панелі, але недоліком даного діагностичного методу є те що він потребує безпосереднього втручання людини і не дає можливості віддаленого контролю за даними роботи системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] PID ефект, причина його утворення та методи боротьби, - Режим доступу: https://prel.prom.ua/a290146-pid-efekt-prichina.html, 24.11.2020

[2] Деградація слнячних панелей (Potential Inducer Degradation) - Режим доступу: https://eco-tech.com.ua/a260708-degradatsiya-solnechnyh-panelej.html, 24.11.2020

[3] Тепловізійне обстеження сонячних панелей - Режим доступу: https://doszt.gov.ua/uk/teploviziyne-obstezhennya-sonyachnih-paneley/, 24.11.2020

[4] Методи діагностики сонячних панелей - Режим доступу: https://www.solartec.eu/ru/rozsahle-instalace/робота-фвэс/диагностика, 24.11.2020

УДК 681.1

Д.В. Мальцев, студент гр. ВА-71, к.т.н., доц. Богомазов С.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ ELECTRIC IMP

Анотація. У статті наведено аналіз особливостей організації системи Інтернету речей. Визначено особливості використання в системах Інтернету речей апаратно-програмної платформи Electric Imp та перспективи її застосування. На базі платформи Electic Imp реалізовано демонстраційну систему збору даних.

Ключові слова: Інтернет речей, IoT, Electic Imp, збір та обробка даних, Squirrel.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогодні світ знаходиться на порозі четвертої промислової революції. Швидкими темпами відбувається повна автоматизація виробництва. Важливу роль у цьому відіграють системи Інтернету речей. Зростає кількість під'єднаних до мережі об'єктів, що утворюють Інтернет речей, і разом с цим зростає кількість сфер їх використання. Якщо ще десять років тому кількість таких пристроїв не перевищувала 500 мільйонів, то на сьогодні їх вже близько 20 мільярдів.

Інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) – це мережа фізичних об'єктів ("речей"), які використовують мережеві технології для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем без необхідності втручання людини. Всі складні обчислення в таких системах зазвичай виконуються у хмарних середовищах. Інформація від датчиків потрапляє на сервер, який обробляє ці дані та посилає відповідні керуючі сигнали на виконавчі пристрої. При цьому виникає необхідність підвищення продуктивності розробки систем збору та обробки вимірювальних даних для середовища Інтернету речей. Тому було проведено аналіз особливостей таких систем і розроблено демонстраційну модель системи на базі платформи Electric Imp.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Imp001 – це повноцінний бездротовий мережевий вузол у форм-факторі SD-картки з мікроконтролером Cortex-M3 та вбудованим модулем WiFi (802.11b/g/n). Він працює разом із службою imp і дозволяє з легкістю під'єднати будь-який пристрій до мережі Інтернет. Розробка програмного забезпечення здійснюється через браузер за допомогою облачного сервісу компанії-виробника пристроїв.

Великою перевагою підтримки такою картою обміну по WiFi є те, що всі дозволи керуючих органів для бездротового зв'язку отримуються виробниками карти. Це виключає необхідність сертифікації розроблених на базі платформи Electric Imp пристроїв на рівні регуляторів бездротового зв'язку [1].

На базі платформи Electric Imp була розроблена демонстраційна модель системи збору та обробки експериментальних даних. До її складу входять: модуль Imp001, плата impExplorer та хмарне середовище Electric Imp Cloud. На рис.1 зображено структурну схему платформи Electric Imp.

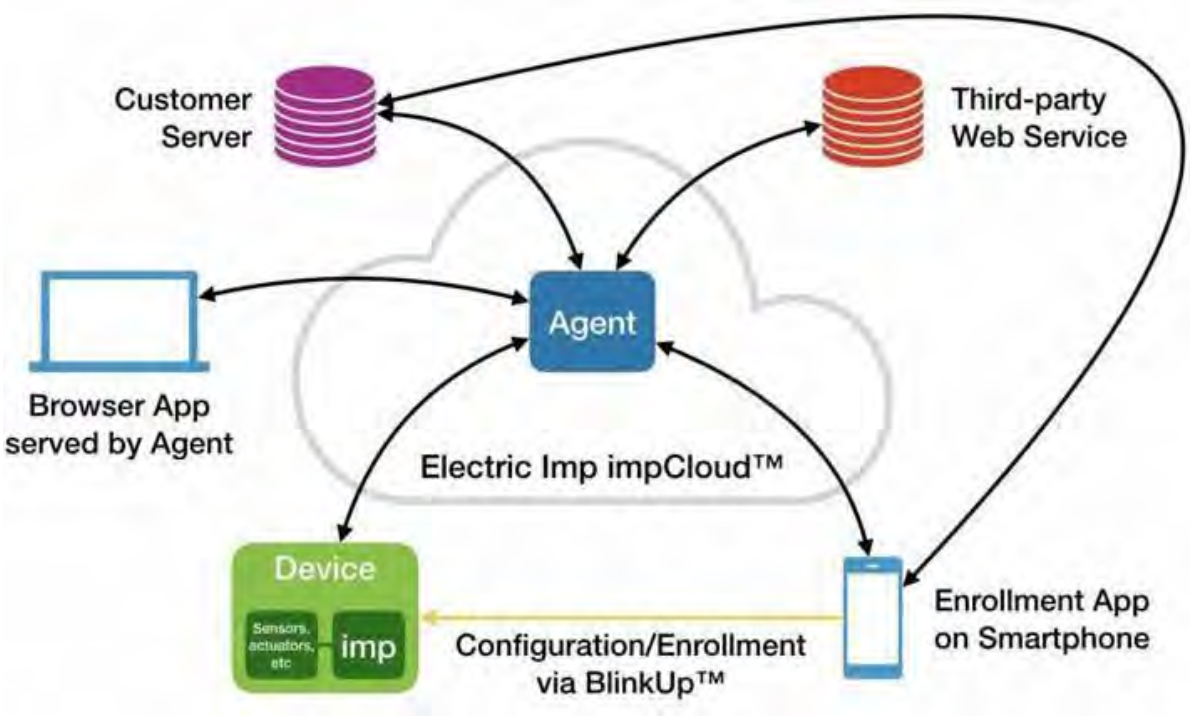


Рисунок 1. Структурна схема системи збору даних на базі платформи Electric Imp

impExplorer – модуль який включає в себе три датчики (датчик температури і вологості, датчик тиску, акселерометр), а також RGB-світлодіод для зворотного зв'язку. Крім того, модуль має можливості для розширення за допомогою роз'ємів Grove System. Два з них призначенні для периферійних пристроїв I2C, а інші – для аналогових або цифрових пристроїв [2]. Схема підключення модуля impExplorer зображена на рис. 2.

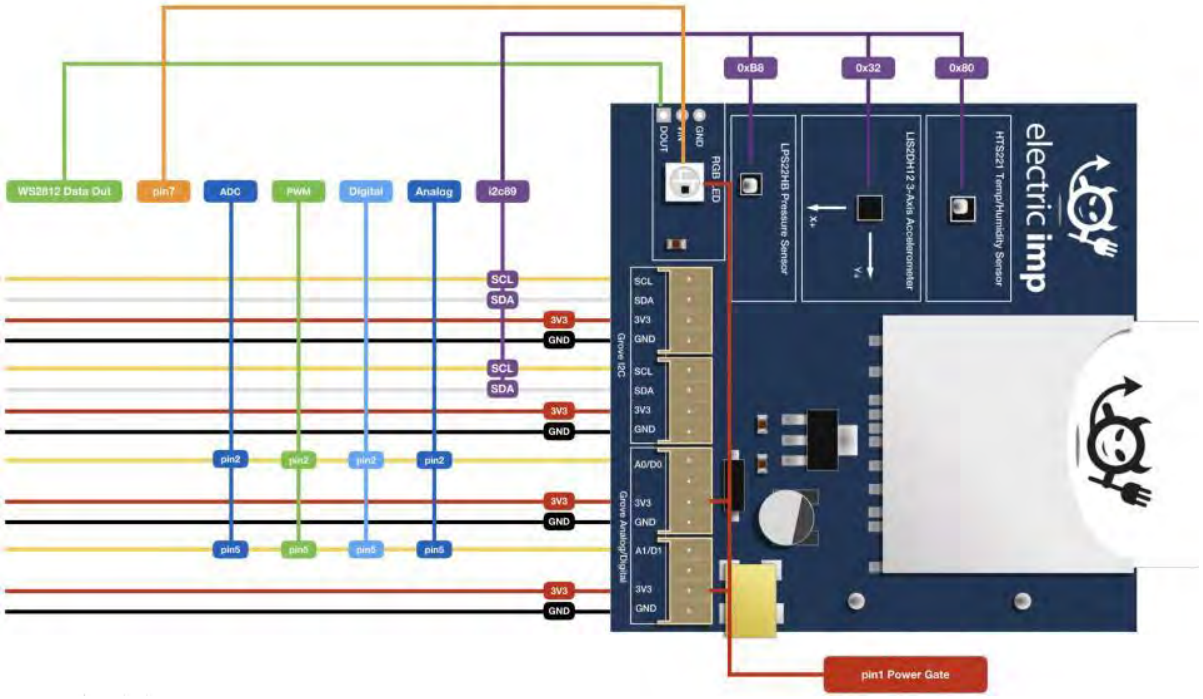


Рисунок 2. Схема підключення модуля impExplorer

Складовою частиною платформи є хмарне середовище Electric Imp Cloud. Воно є кінцевою точкою для всіх пристроїв зв'язку і надає всі необхідні для управління пристроєм послуги, включаючи аутентифікацію пристрою, управління пристроєм, безпеку, операції, масштабованість. Electric Imp Cloud забезпечує віртуальне представлення пристрою в хмарі та виконує логіку додатку і інтеграцію від імені пристрою. Це забезпечує гнучкість, хмарову функціональність і інтеграцію з користувацькими IoT рішеннями[3].

Програмне забезпечення пристрою в платформі Electric Imp складається з двох частин. Перша частина – це код, що працює безпосередньо в пристрої. Друга частина, що працює всередині хмари Imp Cloud, називається агентом пристрою. Кожний пристрій пов'язаний із своїм агентом, який слугує посередником і забезпечує всі комунікації. Агент спілкується з хмарою за допомогою протоколу HTTP. Це означає, що він може взаємодіяти з будь-якою програмою, яка підтримує стандартні HTTP-запити.

Розробка коду для агенту та пристрою виконана в середовищі розробки impCentral за допомогою мови Squirrel. В розробленій системі для налаштування і реєстрації пристрою використовується мобільний додаток, в який інтегрована технологія BlinkUP. BlinkUp – це система налаштування пристроїв, яка оптичним шляхом передає інформацію для налаштування локальної мережі і дані авторизації з дисплею мобільного телефону [4]. Коли пристрій налаштований, він підключається до мережі Інтернет і отримує доступ до Imp Cloud. Imp001 зчитує інформацію з датчиків та надсилає її агенту на хмарне середовище для обробки та подальшої передачі на інший пристрій або сервер.

ВИСНОВОК

Таким чином, на базі платформи Electric Imp була реалізована демонстраційна система Інтернету речей. Дана платформа дозволяє швидко підключити будь-який сенсор або пристрій до системи Інтернету речей, розширити його функціональні можливості, забезпечити ефективність та продуктивність розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Imp001. [Online]. Available:. Accessed on: https://store.electricimp.com/products/imp001?variant=31635697938 November 22, 2020.
[2] Electric Imp impExplorer Kit [Online]. Available: https://developer.electricimp.com/hardware/resources/reference-designs/explorerkit. Accessed on: November 22, 2020.
[3] Electric Imp Cloud. [Online]. Available: https://www.electricimp.com/platform/cloud/. Accessed on: November 22, 2020.
[4] Platform Overview. [Online]. Available: https://developer.electricimp.com/platform-overview . Accessed on: November 22, 2020.

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

УДК 681.518.3.08

А.О. Новіков, студент гр. ПА-91мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА КОРЕЛЯЦІЯ ВХІДНИХ ВЕЛИЧИН У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ІВС

Анотація. В статті наведено аналіз впливу інструментальної кореляції ІВС з послідовно-паралельною структурою на невизначеність результату перетворення.

Ключові слова: невизначеність, вимірювання, похибка, кореляція, ІВС.

ВСТУП

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) є сукупністю технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення та обробки. ІВС бувають одноканальні та багатоканальні. В багатоканальних ІВС найчастіше застосовують послідовно-паралельну структурну організацію. При цьому використовується один вимірювальний канал (ВК), до якого з виходів первинних перетворювачів, відповідно до обраного алгоритму, подається уніфікований сигнал, пропорційний вимірюваній фізичній величині. В результаті функціональної обробки результатів вимірювального перетворення окремих фізичних величин, з'являється стохастичний зв'язок між вихідними величинами ВК, рознесеними в часі [1]. Це обумовлено тим, що неточність ВК є спільною впливовою величиною при формуванні результату, а вхідні величини ВК можуть приймати будь-яке значення у заданому діапазоні. У загальному випадку, не ідеальність характеристики перетворення. ВК може характеризуватися як адитивною, так і мультиплікативною складовою. В цій статті наводиться аналіз впливу адитивної складової.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета статі – привести аналіз внеску інструментальної кореляції двох функціонально пов'язаних вхідних величин у невизначеність результату перетворення за наявності адитивного зміщення реальної характеристики перетворення ВК.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У випадку, коли при проведені експериментальних досліджень використовуються одні й ті ж еталони, засоби вимірювань, стандартні дані і навіть метод вимірювання, вхідні величини, над якими в подальшому здійснюється функціональне перетворення, часто бувають корельованими [2]. Припустимо, що дві вхідні величини X_1 и X_2, оцінки яких x_1 і x_2, залежать від ряду некорельованих змінних $Q_1, Q_2, ..., Q_L$. Таким чином $X_1 = F(Q_1, Q_2, ..., Q_L)$ и $X_2 = G(Q_1, Q_2, ..., Q_L)$, хоча деякі з цих змінних можуть з'являтися в одній функції і не з'являтися в іншій. Якщо $u^2(q_l)$ є оцінкою дисперсії, пов'язаної з q_l чи Q_l, то оцінкою дисперсії, пов'язаної з x_j (j= 1,2), буде.

$$u^2(x_l) = \sum_{l=1}^{L} \left[\frac{\partial F}{\partial q_l}\right]^2 u^2(q_l) \qquad (1)$$

Оцінка ж стохастичного зв'язку (коваріація) знаходиться з виразу:

$$u(x_1,x_2) = \sum_{l=1}^{L} \frac{\partial F}{\partial q_l} \frac{\partial G}{\partial q_l} \; u^2(q_l) \qquad (2)$$

Оскільки в суму включаються тільки ті члени, для яких $\partial F/\partial q \neq 0$ и $\partial G/\partial q \neq 0$, так як коваріація дорівнює нулю, якщо немає змінних, що є загальними як для F, так і для G.

Так як для ІВС зміщення характеристики є спільною впливовою величиною при функціональному перетворені результатів вимірювання вхідних величин. Простим прикладом може бути обчислення потужності за результатами вимірювання струму та напруги.

Дослідження впливу коваріації на невизначеність обчислення результату вимірювання виконувалось, у першу чергу, на основі аналізу «поведінки» функцій відношення квадрату сумарної стандартної невизначеності результату вимірювання з інструментальною кореляцією, яка є додатковою складовою, до квадрату невизначеності без неї [3]. При цьому вихідним є співвідношеннями між коефіцієнтами у модельному рівнянні та (у деяких випадках) від можливих значень вхідних величин.

На рис. 1 зображено графік впливу коваріації на невизначеність результату вимірювання для випадку, коли згідно модельного рівняння виконується операція додавання. Сумарна стандартна невизначеність має вигляд.

$$[(a^2+b^2)u^2(\Delta)+2abu^2(\Delta)]^{(1/2)} \qquad (3)$$

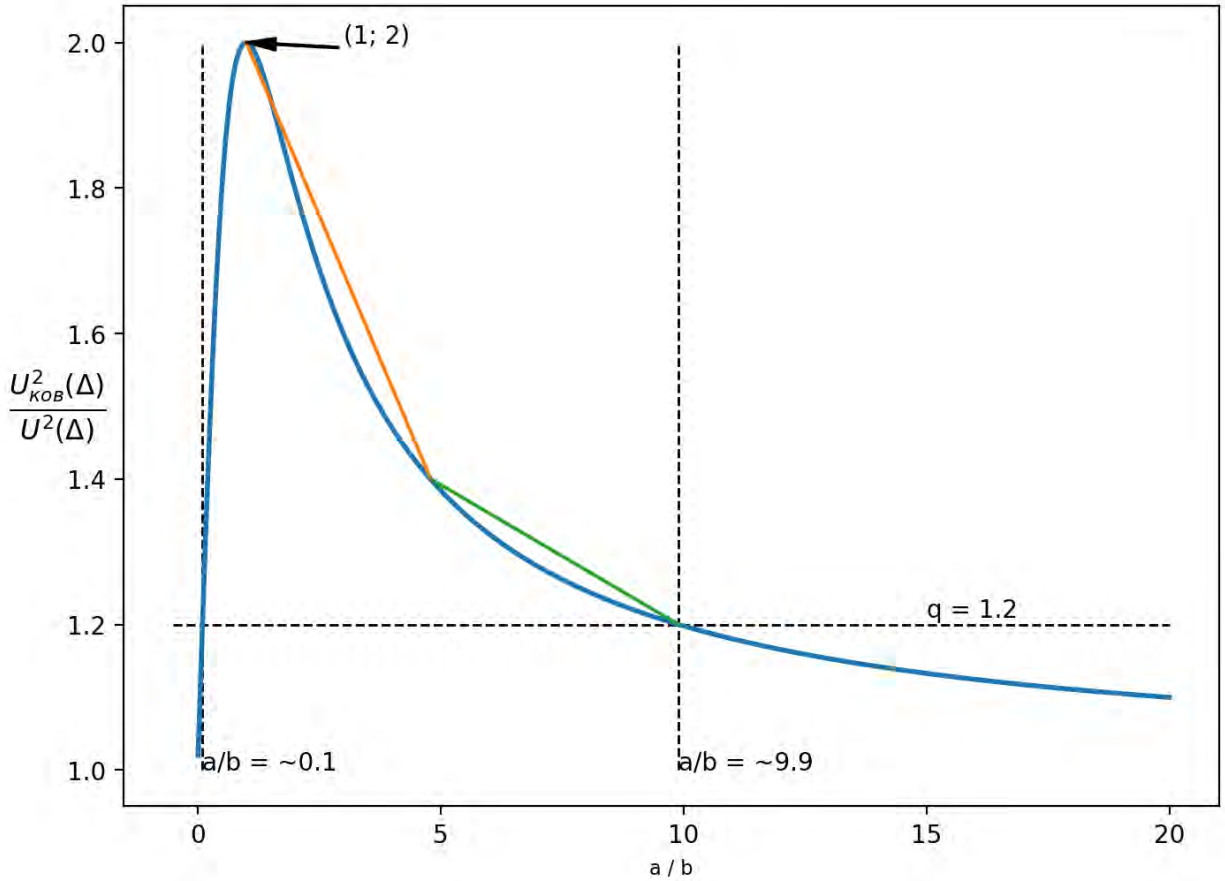


Рис. 1. Графік залежності відносного внеску коваріації в невизначеність результату вимірювання від коефіцієнтів модельного рівняння перетворення для функції додавання

З графіку, представленого на рисунку, видно, що зі зростанням відношення q коефіцієнтів a та b масштабування результатів вимірювального перетворення, вплив інструментальної кореляції асимптотично прямує до нуля, і досягає максимума в 100% при $a = b$. Допустимо, що встановлено, що при $q < 1$. впливом інструментальної кореляції можна знехтувати. можна перейти до лінійної апроксимації залежності, як показано на рисунку [4]. Це у подальшому дозволить спростити розрахунки.

Для випадку, коли згідно модельного рівняння виконується операція віднімання, сумарна стандартна невизначеність має наступний вигляд.

$$[(a^2+b^2)u^2(\Delta)-2abu^2(\Delta)]^{(1/2)} \quad (4)$$

На рис. 2 зображено графік впливу коваріації для цього випадку.

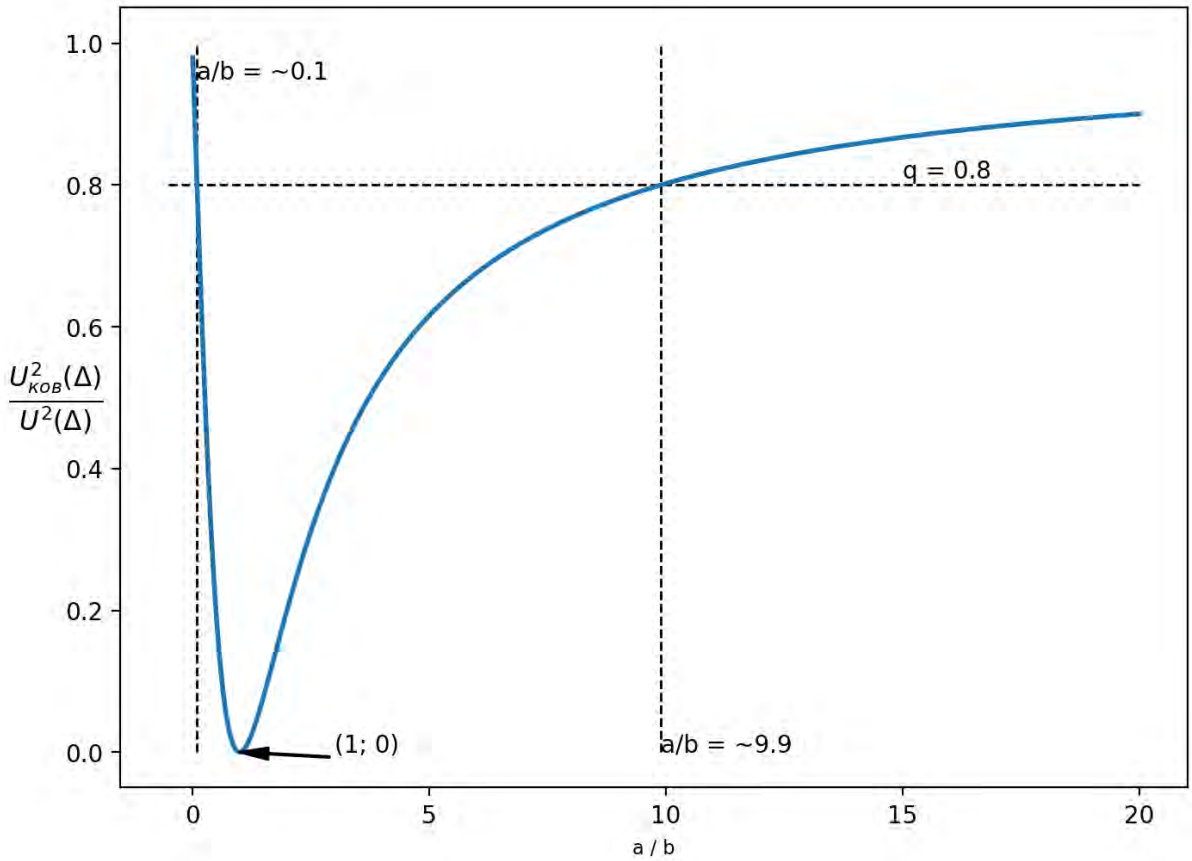


Рис. 2. Графік залежності відносного внеску коваріації в невизначеність результату вимірювання від коефіцієнтів модельного рівняння перетворення для функції віднімання

З графіку на рис. 2 видно, що ключові точки функції набувають при одних і тих же значеннях відношень коефіцієнтів модельного рівняння, як при операції додавання. Однак, на відміну від додавання, при a = b вплив кореляції відсутній, а зі зростанням відношення – прямує до 100%.

Коли згідно модельного рівняння виконується операція множення, сумарна стандартна невизначеність має такий же вигляд, як і при операції додавання (3). Тому аналіз для цього випадку буде аналогічним (рис. 1).

При виконанні операції ділення, сумарна стандартна невизначеність має наступний вигляд.

$$\frac{a}{b}\frac{1}{x_2^2}[(x_1^2+x_2^2)u^2(\Delta)-2x_1x_2u^2(\Delta)]^{(1/2)} \quad (5)$$

У цьому випадку внесок коваріації залежить не від коефіцієнтів модельного рівняння *a* і *b,* а від значень результату вимірювання. Для дослідження відносного внеску коваріації на невизначеність результату вимірювання частина виразу, що не знаходиться під коренем не є суттєвою, бо однакова як для невизначеності з урахуванням коваріації, так і без неї. В результаті отримаємо випадок подібний до операції віднімання (рис. 2), але від відношення x_1 / x_2.

Даний аналіз можна провести і для випадку мультиплікативної похибки.

Результати, що отримані при проведені дослідження, можуть бути використані під час експлуатації ІВС при прийнятті рішення про необхідність врахування складової невизначеності, обумовлену інструментальною кореляцією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] ІВС та невизначеність отримуваних результатів / Володарський Є. Т., Добролюбова М. В., Кошева Л. О // Метрологія та вимірювальна техніка : XII міжнародна науково-технічна конференція, 6 – 8 жовтня 2020 р. : тези доповідей : ННЦ «Інститут метрології», 2020. – с. 134.

[2] Руководство по выражению неопределенности измерения. Русский перевод. Научный редактор Слаев В.А. – Санкт-Петербург. - НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999, - 134 с.

[3] Непевність результатів вимірювань, контролю та випробувань : підручник / О. М. Васисилевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. - Херсон: "ОЛДІ-ПЛЮС", 2020. - 352 с.

[4] Володарский Е.Т. Обоснование целесообразности применения экспериментального подхода к оценке неопределенности количественных результатов лабораторных испытаний / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошевая // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 3. – С. 8–12.

Наук. Керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.

УДК 621.317.75

М.І. Павлишин, студент гр. ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ ПРИЦІЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. У зв'язку з сьогоденною ситуацією в Україні і світі в цілому, багато уваги приділяється саме військовій сфері. Великі кошти витрачаються на дослідження та винайдення новітніх технологій спостереження та засобів точного наведення.

Ключові: вимірювання, тепловізор, приціл, спостереження, наведення, лінійні вимірювання.

ВСТУП

Існуючі тепловізійні прицільні системи та системи, що розробляються, покладають дії по коригуванню прицілювання на стрілка, що виконує постріл.

Проте сучасне мікрокомп'ютерні та програмні засоби дають можливість створення тепловізійної прицільної системи, що автоматично може коригувати прицільну сітку, використовуючи параметри, що впливають на точність пострілу, та пристрілочні таблиці. Дослідження алгоритмів та засобів їх реалізації дозволила розробити систему лінійних вимірювань тепловізійної прицільної системи для підвищення ефективності прицільної стрільби в умовах обмеженої видомості та в нічну пору доби.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

На сьогоднішній день лінійні вимірювання проводяться на основі електромагнітних хвиль. У випадку інтегрування системи лінійних вимірювань у тепловізійну прицільну систему ми працюємо із розповсюдженням даних хвиль в оптичному діапазоні.

Є велика кількість факторів, що не дають змогу знімати показники досліджень та вимірювань при ідеальних умовах. Наприклад, кут падіння світлового променю. Дана величина є однією з основних при зборі даних для подібних систем та виведенні її на дисплей керування для оператора. Однак, не варто забувати, що в умовах ведення польових випробувань або, навіть, військових дій дана стала має певні зміни через умови навколишнього середовища. Як приклад, можна взяти географічне положення небесних тіл відносно того, як ми це бачимо (рис. 1)

Також, одним із таких факторів є відстань від прицільної системи до об'єкту спостереження та рельєф середовища, що спричиняє виникнення кривизни розповсюдження світлового потоку. Зміни умов зовнішнього середовища та лінійних параметрів взаємного розташування прицільної системи та об'єкта спостереження вимагає постійного оновлення вказаних параметрів з метою коригування прицільної сітки засобу стрільби.

Через це, питання створення високоточної системи лінійних вимірювань для подібних цілей набирає великих обертів. Головною метою є збільшення точності наведення прицільної системи у нічну пору доби, адже, незважаючи на технології, що використовуються в самій системі, рівень точності наведення

повинен мати найвищі показники для якісного ураження цілі, або збору найточнішої інформації.

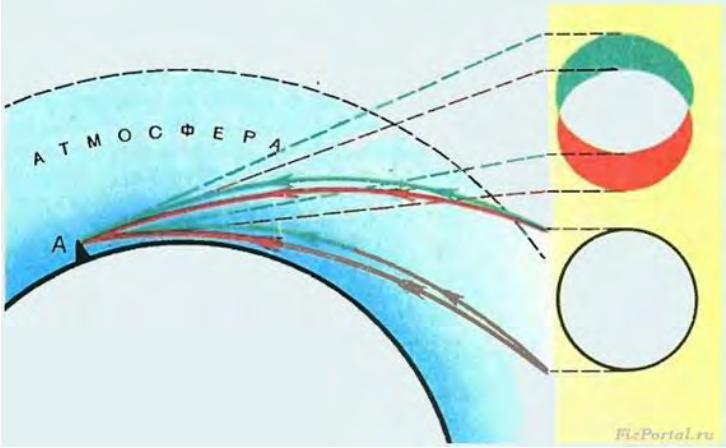


Рисунок 1. Заломлення світлового променю

Також, використання даної лінійної системи тепловізійної прицільної системи у подальшому може набути популярності у використанні спеціальними службами порятунку. В даному випадку, точність отриманих даних спостереження є не менш цінною.

Отже, загальний принцип роботи тепловізійної системи полягає у тому, що термоелектронна емісія об'єкта, за яким ведеться спостереження або на який наводиться прицільна система перетворюється на зображення, що бачить оператор.

Першим етапом є потрапляння вхідного сигналу на оптичну лінзу камери. Після чого, ці дані проходять через оціночну плату, де обробляються і проходять через спеціальні елементи системи, які дозволяють враховувати навколишні фактори. Дана технологія працює таким чином, щоб загальна похибка вихідного сигналу була мінімізованю задля надання оператору\користувачу системи більш точної інформації.

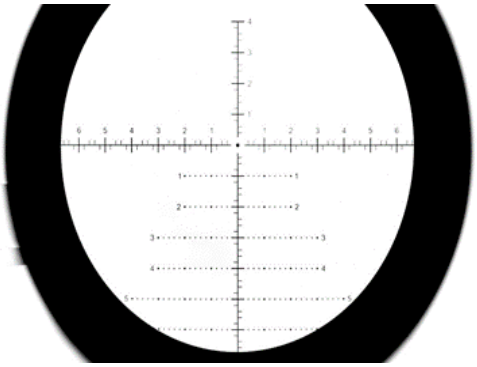


Рисунок 2. Прицільна сітка

Далі, вихідний сигнал потрапляє на дисплей керування, на якому також формується спеціальна сітка наведення (рис.2).

Сама прицільна сітка зазвичай у дротяному вигляді або у вигляді гравірування. Однак, у нашому випадку вона формуватиметься всередині системи та буде виводитися на дисплей керування верхнім шаром на отримане з камери зображення. При цьому, прицільна сітка такого типу не буде залежати

від зовнішніх факторів (бруд, дощ, тощо) і від фізичного зношення. Більш того, дана сітка може змінювати свій вигляд, завдяки тому, що вона виконана у програмному вигляді. Якщо, користувачеві не буде зручно керувати системою у встановленому за замовчуванням вигляді - він\вона завжди матимуть можливість налаштувати графічний інтерфейс під себе.

Отже, були розглянуті вже існуючі рішення створення подібних систем та обрані найкращі із них для проектування вітчизняного аналогу, що не поступатиметься закордонним аналогам та буде більш дешевим та зручним у використанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тымкул, В.М. Энергетический критерий проектирования тепловизионных систем [Текст] / В.М. Тымкул, М.А. Ахмаметьев // Тез. докл. всесоюз. конф. «Оптико-электронные измерительные устройства и системы». Ч. 1. – Томск, 1989. – С. 1 – 3.

[2] Метролоігія лінійних вимірювань у координатно-часовому просторі, І. Цюпак та І.Тревого, 2016

[3] The International System of Units (SI brochure (EN)):8th edition, 2006. Using: http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/download.html.

[4] Пашков, Р. А. Критерії ефективності якості роботи фільтрів для зменшення шумів зображень тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв / Р. А. Пашков, Н. О. Балахонова // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 71–73. – Бібліогр.: 4 назви.

[5] Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах, С. Ахманов, 2010

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

УДК 681.1

А.А. Помилуйко, студент гр. ПА-91мп, Володарський В.А., студент гр. ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ГРАДУЮВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Анотація. В статті представлені матеріали щодо переваги вибору методу найменших квадратів при побудові градуювальної характеристики.

Ключові слова: метод найменших квадратів, градуювальна характеристика, лінійна залежність.

ВСТУП

При проведенні аналітичних досліджень необхідно будувати градуювальну характеристику [1]. Однак, експериментальні дані, які використовуються для побудови характеристики, під впливом випадкових величин мають розсіювання. Використання статистичних методів дозволяє визначити найбільш правдивоподібне положення прямої, що відповідає наявним даним.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета статті – показати переваги вибору методу найменших квадратів при побудові градуювальної характеристики.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Суть методу найменших квадратів (МНК) полягає у тому, що набір даних, що являється експериментальним, найкращим чином описує саме та пряма, для котрої сума квадратів відхилень експериментальних значень від розрахованих є мінімальною.

Для побудови градуювальної характеристики потрібно вибрати вид залежності. Оскільки на практиці найчастіше зводять градуювання до знаходження лінійної залежності, то можна прийняти такий вид залежності за основу. Таким чином, можна вважати, що величини X та Y – лінійно зв'язані. Така залежність може бути представлена як:

$$Y = a + bX \ . \tag{1}$$

Допускають, що вхідна величина X визначається з малою похибкою, а похибкою вимірювання вихідної величини не можна знехтувати. Тоді маємо:

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i \tag{2}$$

де a – це відрізок, що відсікається на осі ординат, b – це кутовий коефіцієнт градуювальної характеристики, ε_i - випадкова похибка.

Також слід брати до уваги таку проблему, як грубі промахи. Цей фактор може впливати на точність результатів вимірювань. Це обумовлює виборі методу побудови градуювальної характеристики.

Метод найменших квадратів (МНК) є широко розповсюдженим методом при виборі побудови градуювальної характеристики. [2] Оцінки параметрів a і b в такому методі розраховують з умови мінімуму суми квадратів вертикальних відрізків, що являються відстанями від експериментальних точок до шуканої прямої. Головними передумовами для МНК є те, що дані відповідають

нормальном закону розподілу, а вхідні величини є незалежними. Вирази для оцінки параметрів *a* і *b* будуть:

$$a = \frac{(\sum Y_i - b\sum X_i)}{m} \tag{3}$$

$$b = \frac{m\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{m\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{4}$$

Як вже відмічалося, застосування даного методу є цілком доцільним при малих похибках визначення величини X_i та нормальному розподілу похибки вимірювання вихідної величини *Y*.

У якості альтеративного підходу, можна розглядати метод “найглибшої” регресії. Такий метод представляє собою пошук класу прямих, які при обертанні навколо середнього покривають якнайбільш максимальну кількість експериментальних точок. Якщо така умова виконується, то вибирається така пряма, яка мінімізує максимальне відхилення експериментальних даних від прямої. Основною перевагою даного методу є стійкість до грубих промахів. На жаль, появу грубих промахів при проведенні кількісного аналізу не можна ігнорувати. Однак, після відкидання таких промахів є можливість використання усіх переваг МНК, але з меншою статистичною надійністю.

Властивості оцінок МНК [3]:

- Незміщенність оцінок параметрів, тобто математичне сподівання оцінок рівняється істинній величині параметрів;
- Ефективність оцінок МНК, тобто мають мінімальну дисперсію;
- Оцінки параметрів розподілені за нормальним законом;

Перш за все, необхідно визначити можливу кількість грубих промахів, або таку кількість промахів, яка може з’явитися при виконання градуювання. Взагалі, загальне число вимірювань *m* для даного методу майже ніколи не перевищує 12 (часто мають 4-5 градуювальних зразків). Тому можна стверджувати той факт, що ймовірність появи великої кількості промахів мала.

Дійсно, при налагодженій процедурі вимірювань ймовірність грубого промаху для одиничного вимірювання не перевищує 0,02 (це оцінка зверху; (насправді ця величина зазвичай менше). При цьому ймовірність появи одного грубого промаху під час градуювання в цілому менше 0,22, а двох - менше 0,05. Іншими словами, ймовірністю появи двох грубих промахів відразу в ході градуювання можна знехтувати.

Для виявлення грубих промахів при регресійному аналізі найчастіше використовуються методи, засновані на аналізі залишків [4]

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \tag{5}$$

де $\hat{Y}_i$ - точки на знайденій прямій, відповідні X_i. Коректно розраховувати «стьюдентізовані» залишки

$$r_i = \frac{e_i}{[S_{Y/X}(1-h_i)^{1/2}]} \tag{6}$$

де $s_{Y/X}$ - стандартне відхилення залишків e_i та

$$h_i = 1/m + \frac{(X_i - \overline{X})^2}{(m-1)s_X^2}, \quad s_X^2 = \sum (X_i - \overline{X})^2 / m - 1 \tag{7}$$

До величин r_i можна застосувати всі методи виявлення грубих помилок, розроблені для нормально розподілених сукупностей. Іншим способом є використання відстані Кука d_i, статистики, яка показує ступінь зміни коефіцієнтів рівняння регресії при виключенні окремої точки

$$d_i = \frac{e_i^2 h_i}{s_{Y/X}^2 (1-h_i)^2} \tag{8}$$

Величини d_i завжди більше нуля і в нормі не перевищують. Якшо d_i приймає значення більше 1, то відповідну величину розглядають як грубий промах. Після відкидання грубого промаху (якщо він був достовірно виявлений) ніщо не заважає застосовувати МНК для знаходження оцінок *a* и *b*.

Слід пам'ятати, що метод найменших квадратів справджується тільки для лінійних рівнянь, або для таких рівнянь, що припускають можливість їх лінеаризації.

ВИСНОВКИ

Показано, що для оцінки коефіцієнтів градуювальної характеристики при кількісному аналізі доцільно використовувати метод найменших квадратів (МНК) після виключення грубих промахів. Однак слід пам'ятати, що потрібно перевіряти виконання основних положень для кожної методики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Методичні рекомендації «Статистика в кількісному аналізі»: / уклад. Т.І. Ахметова: КНИТУ, 2013. — 16-20 с.

[2] Математична статистика та обробка геологічних даних, - Режим доступу: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/zhukov_n_n/MC_5-6.pdf

[3] Лінійний метод найменших квадратів - Режим доступу: http://chemistry.univer.kharkov.ua/files/lin-mnk.pdf

[4] Градуювальні характеристики ЗВТ. / СПб. ВНИИМ - Режим доступу: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293768/4293768858.pdf - 1997р.

Наук. Керівник – д. т. н., проф. Володарський Є.Т.

УДК 519.24

В.А. Володарський, студент гр. ПА-91мп, А.А. Помилуйко, студент гр.ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБАСТНИХ ПРОЦЕДУР

Анотація. В статті досліджується ефективність стійких до викидів ітераційних алгоритмів визначення за вибірковими даними параметрів генерального розподілу.

Ключові слова: викиди, відтворюваність, робастність, абсолютне медіанне відхилення, ітерація.

ВСТУП

На сучасному етапі, коли випробування можуть проводитися в різних лабораторіях і навіть в різних країнах, для атестації методики випробувань при заданих умовах, проводять спільний міжлабораторний експеримент, за результатами якого нормуються показники точності – зміщення та відтвореність [1]. Наявність у вибірці навіть невеликого числа спостережень, які різко виділяються і називаються промахами, здатне кардинально змінити результат статистичного дослідження. Промахи виявляють за допомогою відповідних критеріїв та вилучаються з вибірки [2].

Оскільки випробування однотипної продукції, виконані за єдиною методикою, можуть здійснюватися декількома лабораторіями в різних умовах, результати, природно, будуть дещо відрізнятися. Врахування впливових величин аналітичним шляхом практично неможливо. Єдиним підходом для вирішення цієї задачі є проведення міжлабораторних спільних випробувань. Міжлаборатний експеримент фактично є фізичною моделлю реалізації методики з залученням лабораторій, що мають близький професійний рівень і спеціалізуються в даному виді випробувань. При спільному експерименті існує припущення, що всі залучені лабораторії мають однакову повторюваність [1]. Але, з об’єктивних причин, це не завжди виконується.

При такому підході, при нормуванні показників точності методики випробувань, застосування статистичних критеріїв виключення викидів, як це робиться у вимірюванні, не можливо, бо це приведе до невірного визначення показників.

Для виключення впливу викидів при оцінюванні показників точності методики випробувань застосовуються робастні методи [3], які надають можливість використовувати всі наявні експериментальні дані.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є аналіз ефективності ітераційного робастного алгоритму, на підставі вибіркових даних, параметрів закону розподілу, які відповідають правильності та відтворюваності методики випробування.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Вибіркові дані, у загальному випадку, можуть мати деяку розбіжність з передбачуваним розподілом (особливо при малих обсягах) – містити деякі значення, що підпорядковуються іншому розподілу.

Вихідним є те, що деяка центральна частина розподілу експериментальних даних відповідає розподілу генеральної сукупності [4]. Тому при опрацюванні даних, які знаходяться в цій частині розподілу, доцільно використовувати метод найменших квадратів (МНК). Але метод найменших модулів (МНМ) є більш стійким до викидів, ніж МНК, тобто дає найкращий результат при найбільш несприятливому розподілі.

Виходячи з цього, при створенні робастних методів робиться «симбіоз» – для деякої центральної частини розподілу використовується МНК, а для іншої частини для зменшення впливу викидів, але зі збереженням наявних даних, застосовується МНМ. Граничне значення границі переходу від МНК до МНМ відповідає $\varphi = c\sigma$. Константа c регулює ступінь робастності і її значення залежить від ступеня «засмічення» [3]. Зазвичай обирають значення c = 1,5.

Найбільш стійким до викидів є інтервал, що знаходиться між вибірковими квартилями. У припущенні про можливий закон розподілу довжина інтервалу однозначно відповідає дисперсії цього розподілу. У якості початкової оцінки центру розподілу береться вибіркова медіана. Як початкова оцінка при переході від повного розподілу до усіченого, береться медіана абсолютних відхилень MAD (*median absolute deviation*).

$$MAD_n = med\{|x_i - M_n|\}. \tag{1}$$

де, $M_n = med\{x_i\}$, x_i – елемент вибірки, а індекс n відповідає числу елементів.

Первинна оцінка СКВ, яка є стійкою до викидів для вибірки з n елементів, знаходиться на підставі нормального інтерквартильного розмаху і складає $S^*_{(0+1)} = 1{,}483 \cdot MAD_n$. Константа 1,483 використовується для нормування при переході від «інтерквартильного» сегменту до генерального розподілу. Значення $S^*_{(0+1)}$ використовується при переході до робастної ітераційної процедури уточнення параметрів розподілу [4].

Перед початком цієї процедури визначається точка переходу від МНК до МНМ

$$\varphi_1 = 1{,}5 \cdot S^*_{(0+1)}. \tag{2}$$

та нижнього і верхнього граничних значень

$$x^*_{1\min} = x^*_0 - \varphi_1; \quad x^*_{1\max} = x^*_0 + \varphi_1. \tag{3}$$

Молодший елемент ранжируваного ряду вихідних даних порівнюють з $x^*_{1\min}$ а старший елемент порівнюють з $x^*_{1\max}$. Якщо молодший елемент менше нижнього граничного значення, то йому присвоюється значення $x^*_{1\min}$. У випадку, коли старший елемент буде більше верхнього граничного значення, то замість нього в ряд вводиться $x^*_{1\max}$. Всі ж інші елементи ряду залишають без зміни. Приходимо до модифікованого чисельного ряду, для якого обчислюється середнє $\bar{x}^*_1$, яке є уточненим значенням центру розподілу, та СКВ «усіченого» розподілу S^*_1 (так зване «старе»), яке використовується для обчислення уточненого на першому кроці, робастного СКВ («нового») $S^*_{(1+1)} = 1{,}134 \cdot S^*_1$.

Константа 1,134 дозволяє перерахувати СКВ, обчислене для «усіченого» розподілу до генерального [5].

Другий крок ітераційної процедури починаємо з обчислення граничних значень $x^*_{2\min}$ та $x^*_{2\max}$. Для цього застосовуються співвідношення (3), в яких використовується $\bar{x}^*_1$.

Ітераційна процедура продовжується, поки розходження між параметрами розподілу на поточному і попередньому кроці не стане менше заданого значення.

Для прикладу реалізації робастного ітераційного алгоритму скористаємося ранжируваними даними, наведеними у [1].

Дані були отримані при проведені міжлабораторного спільного експерименту при залучені n = 9 лабораторій (підкресленням позначено найменший та найбільший лабораторні результати):

24,140 20,155 19,500 20,300 20,705 17,570 20,100 20,940 21,185

В таблиці 1 представлені дані для j-ого кроку ітерації.

Таблиця 1. Покрокове визначення середнього значення та СКВ

Номер ітерації j	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***
φ_j		1,424	1,478	1,514	1,539
$x^*_j - \varphi_j$ $x^*_j + \varphi_j$		18,876 21,724	18,909 21,865	18,893 21,921	18,872 21,950
$x^*_{1(j)}$	17,570	18,876	18,909	18,893	18,872
$x^*_{2(j)}$	19,500	19,500	19,500	19,500	19,500
$x^*_{3(j)}$	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100
$x^*_{4(j)}$	20,155	20,155	20,155	20,155	20,155
$x^*_{5(j)}$	20,300	20,300	20,300	20,300	20,300
$x^*_{6(j)}$	20,705	20,705	20,705	20,705	20,705
$x^*_{7(j)}$	20,940	20,940	20,940	20,940	20,940
$x^*_{8(j)}$	21,185	21,185	21,185	21,185	21,185
$x^*_{9(j)}$	24,140	21,724	21,865	21,921	21,950
Середнє $\bar{x}^*_j$	20,511	20,387	20,407	20,411	20,412
Стандартне відхилення $\bar{S}^*_j$	1,727	0,869	0,890	0,905	0,916
Нове $\bar{x}^*_{j+1}$	20,300	20,387	20,407	20,411	20,412

Нове $\bar{S}^*_{(j+1)}$	0.949	0,985	1,009	1,026	1,039

Аналіз результатів, які були отримані при моделюванні, дозволяє зробити висновок, що значення граничних елементів вибірки практично не впливають на робастне оцінювання параметрів закону розподілу. Ефективність алгоритму пояснюється тим, що абсолютне медіанне відхилення визначається по відношенню до медіани $x^*_{5(0)} = 20{,}300$ вибірки.

Також проаналізовано випадок, коли впорядкований числовий ряд включає два близько розташованих елементи, які є викидами. При цьому має місце, так званий, замаскований ефект викидів. Застосування критерія Тітьена-Мура дозволяє запобігти «маскувальному ефектові» і виключити викиди. Але знайдені оцінки параметрів розподілу відрізняються від істинних значень.

Для оцінювання ефективності алгоритму при наявності викидів з «маскувальним ефектом» у стовпчику j = 0 таблиці 1, проведена модифікація $x^*_{2(0)} = 18{,}250$. Проведений аналіз показав, що ітераційний алгоритм «працює» і, в даному випадку, він залишається стійким навіть при наявності замаскованих викидів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності та відтворюваності стандартного методу вимірювань: (ISO/IEC 5725-2:1994, IDT) ДСТУ ИСО 5725-2:2005. – [Чинний від 2006.07.01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 48 с. – (Національний стандарт України).

[2] Ціленко, В.Д. Невизначеність вимірювання: монографія / В.Д. Ціленко, Н.А. Яремчук. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2002. – 176 с.

[3] Sarhan Ahmed E., Greenberg Bernard G.: Contributions to order statistics (Вклады в порядковые статистики). – John Wiley & Sons, 1962, pp. 482.

[4] Хьюбер, П. Робастность в статистике: монографія / П. Хьюбер ; пер. з англ. И. Моховой, В. Хохлова – М. : Мир, 1984, – 304с.

[5] Odporna ocean dokładności metod pomiarowych / E. Volodarsky, L. Kosheva, Z. Warsza // Pomjari, awtomatica, control. – 2012. – №4. – P. 396-401.

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

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

Анотація. У статті розглянута структура системи вентиляції інтелектуальних будівель та визначені вимоги до керування такими системами. Проаналізовані існуючі підходи до передачі даних в таких системах, та визначені найбільш підходящі інструменти до розробки програмного забезпечення цих систем.

Ключові слова: вентиляція, система контролю, передача та відображення даних.

ВСТУП

На сьогодні існує декілька різних визначень поняття «інтелектуальна будівля» [1]. Згідно з одним з них, інтелектуальною будівлею є така будівля, в якій використовуються спеціальні технології для створення більш безпечного, комфортного та продуктивного середовища для мешканців, та збільшується ефективність її експлуатації для власників. Більшість сучасних громадських та житлових будівель планується з метою зменшення витрат за рахунок зменшення впровадження енергоефективних технологій. Одним з основних способів зменшення витрат енергії є використання вентиляційних систем, керування якими здійснюється в залежності від потреби [2]. До складу вентиляційних систем інтелектуальних будівель входять:

- повітроводи з встановленими вентиляторами, швидкість обертання яких, а, відповідно, і продуктивність, регулюється за допомогою автоматизованих електроприводів;
- комплекти обладнання в окремих приміщеннях, які складаються з керованих заслінок, датчиків вмісту вуглекислого повітря та спеціалізованих контролерів;
- системи моніторингу параметрів роботи всіх інженерних мереж будівлі.

Для керування такою системою вентиляції та контролюванням її роботи необхідним є створення системи збору даних про параметри якості повітря в окремих приміщеннях будівлі та параметри стану кожного з елементів системи вентиляції. Вирішення такої задачі передбачає визначення структури апаратної складової частини системи та розробку програмної складової. Апаратна частина може бути побудована на базі спеціалізованих контролерів, встановлених в окремих приміщеннях та пристроїв керування електроприводами, об’єднаними за допомогою локальної мережі. Для розробки програмної складової необхідним є вибір механізму обміну даними, а також визначення найбільш ефективного інструментарію для безпосередньої розробки програмного додатку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вибір та обґрунтування способу передачі даних та розробка програмного клієнтського додатку для відображення параметрів роботи автоматизованої системи керування вентиляцією інтелектуальних будівель.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Обмін даними з використанням локальних або глобальних мереж наразі здійснюється з використанням на транспортному рівні протоколу TCP (Transmission Control Protocol – протокол керування передачею), а на прикладному рівні протоколу HTTP (HyperText Transfer Protocol – протокол передачі гіпертексту). Протокол HTTP був створений для зв'язку між веб-браузерами і веб-серверами, але в принципі він може використовуватися і для інших цілей [3].

Широке використання даного протоколу призвело до формування різних підходів його використання, найбільш розповсюдженими серед яких є: HTTP Polling та HTTP Long Polling.

HTTP Polling є дещо застарілим підходом, але він все ж таки ще використовується. Суть передачі даних з використанням такого підходу полягає у послідовному формуванні запиті даних через деякий проміжок часу. У цього методу є багато мінусів. Самі явні з них:

- на частину запитів приходять «порожні» відповіді, що призводить до непродуктивного використання мережі;
- часова затримка між відправленнями запитів призводить до затримки отримання відповідей, що може негативно вплинути на роботу системи.

Покращений варіант попереднього методу HTTP Long Polling полягає в тому, що клієнт відправляє запит на сервер, сервер тримає відкритим з'єднання поки не прийдуть якісь дані або клієнт не відключиться самостійно. Як тільки дані прийшли – відправляється відповідь і з'єднання закривається. Переваги даного методу порівняно з HTTP Polling:

- зменшується кількість запитів, оскільки відсутні «порожні» відповіді;
- підвищується часова точність подій, оскільки передача даних ініціюється клієнтом;
- сервер зберігає події тільки на час перепідключення.

Але для організації обміну даними в розглядуваному випадку існує краще рішення, яке полягає у використанні протоколу прикладного рівня WebSocket. Це технологія, що дозволяє відкрити постійне двунаправлене мережеве з'єднання між браузером користувача та сервером. За допомогою його API (Application Programming Interface) можна відправити повідомлення на сервер і отримати відповідь без виконання http-запиту, причому цей процес буде подієво-керованим [4]. Переваги в порівнянні з HTTP Long Polling:

- встановлюється лише одне з'єднання;
- забезпечується гранично висока часова точність подій.

При виборі такого протоколу розробку серверного програмного забезпечення доцільно здійснювати з використанням платформи .NET та бібліотеки SignalR. Ця бібліотека надає простий API для створення віддалених викликів процедур від сервера до клієнта, які викликають функції JavaScript у браузерах клієнтів (та інших клієнтських платформах) із коду .NET на стороні сервера. SignalR також включає API для управління з'єднаннями та групування

з'єднань. SignalR використовує протокол WebSocket там, де він доступний, і повертається до старих протоколів, де це необхідно [5].

Для розробки клієнтського програмного забезпечення разом із обраною бібліотекою доцільним є використання фреймворку Blazor. Він представляє UI-фреймворк для створення інтерактивних додатків, які можуть працювати як на стороні сервера, так і на стороні клієнта, на платформі .NET.

Blazor надає розробникам наступні переваги:

- написання коду веб-додатків за допомогою C # замість JavaScript;
- використання можливостей екосистеми .NET, зокрема, бібліотек .NET при створенні додатків;
- використання Visual Studio в якості інструменту для розробки, який має вбудовані шаблони для спрощення створення додатків.

З урахуванням проведеного аналізу структура системи має такий вигляд:

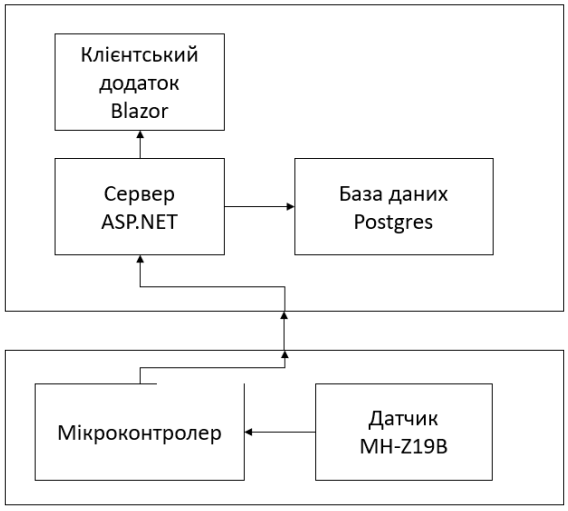


Рисунок 1 – Структурна схема системи контроля якості повітря

На рис.1 структурно показаний зв’язок програмної складової з вимірювальним модулем в одному приміщенні будівлі, при цьому передбачається, що вимірювальні модулі в інших приміщеннях мають таку саму структуру, а під час передачі даних використовують інші ідентифікатори.

Програмний продукт складається з таких компонентів: бази даних Postgres, серверної частини ASP.NET та клієнтського додатку. Дані від датчиків та параметри роботи системи вентиляції передаються з використанням мікроконтролерів до серверу. Реляційна база даних використовується для зберігання цих даних, а також списку датчиків. Сервер оброблює ці дані та вираховує потужність вентилятора, яку треба встановити в тому чи іншому приміщені будівлі.

Розроблений клієнтський додаток має декілька складових частин, які мають вигляд наведений на рис.2,3.

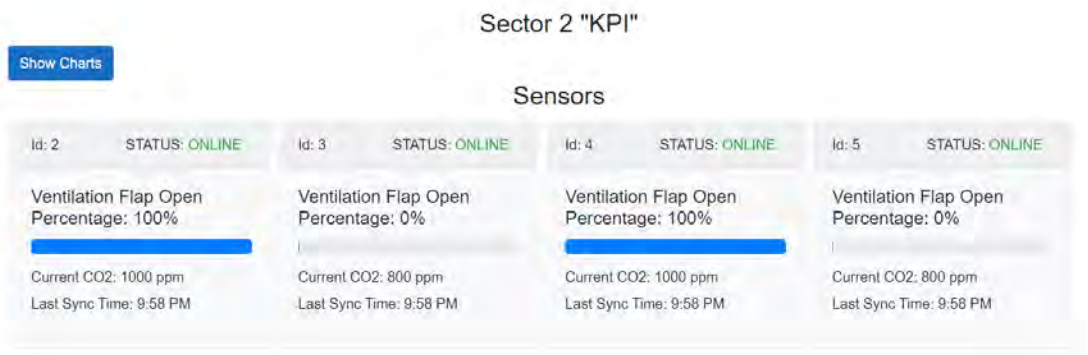


Рисунок 2 – Список датчиків в приміщеннях одного сектору з виводом поточних даних

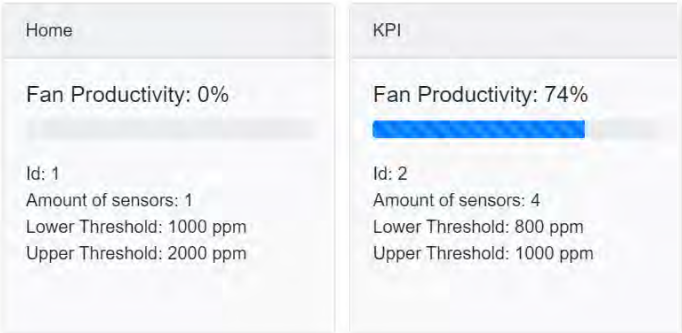


Рисунок 3 – Список секторів та відображення параметрів роботи системи вентиляції

ВИСНОВОК

В роботі проведений аналіз протоколам передачі даних, що можуть бути використані при побудові системи керування та діагностики роботи вентиляції інтелектуальних будівель, а також розроблений клієнтський програмний додаток на основі фреймворку Blazor.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Osama Omar. Intelligent building, definitions, factors and evaluation criteria of selection // Alexandria Engineering Journal, (2018) 57, pp.2903–2910.

[2] Семенко Д.М. Енергозбереження засобами автоматизованих вентиляційних систем / Д.М. Семенко, О.В. Стаценко // Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ” – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2020. – С.389-392.

[3] Приложения реального времени и Polling ,Long Polling , WebSockets, Server-Sent Events SSE.// Режим доступу: https://intellect.icu/prilozheniya-realnogo-vremeni-i-polling-long-polling-websockets-server-sent-events-sse-7016/

[4] WebSockets. MDN Web Docs. // Режим доступу: https://developer.mozilla.org/ru/docs/WebSockets/

[5] Patrick Fletcher. Introduction to SignalR. // Режим доступу: https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/signalr/overview/getting-started/introduction-to-signalr

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

УДК 621.317.75

М.С. Скурський, студент гр ПА-91мп, Б.Р. Діхтяренко, студент гр. ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕПЛОВІЗІЙНА ПРИЦІЛЬНА СИСТЕМА

Анотація. Для ефективного ведення військових дій у нічний час доби потрібне навісне обладнання на техніку у вигляді тепловізійної системи. Вона може використовуватися для слідкування або наведення за теоретичним противником.

Ключові слова: тепловізор, приціл, ІЧ випромінювання ,камера, відео процесор.

ВСТУП

У зв’язку з тим що ситуація в світі з кожним днем стає більш напруженою військова сфера розвивається великими темпами. В Україні це питання стоїть досить гостро адже наші військові використовують закордонні пристрої, що є дорогими та надійними або пристрої радянського часу, що є дешевшими але вже не є достатньо технологічними.

Для ефективного ведення військових дій у нічний час доби потрібне навісне обладнання на техніку у вигляді тепловізійної системи. Вони можуть використовуватися для слідкування або наведення за теоретичним противником.

Сучасні тепловізійні системи є досить дорогими пристроями, а їх дешевші аналоги мають багато недоліків.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Тепловізійний приціл - це складне оптоелектронні пристрій, призначений для установки на зброю і застосовується для вирішення великого кола стрілецьких завдань в широкому діапазоні дистанцій стрілянини. Здатний відображати цілі на дистанціях до 2500 м і дозволяє ідентифікувати їх на дистанціях від 350 до 1500 метрів. Тепловізійні приціли працюють за принципом перетворення теплового випромінювання об'єктів (як природних (люди, тварини), так і штучних (що мають різницю температур як у будь-якої неоднорідного середовища), в видиме людським оком зображення, що виводиться на окулярну матрицю прицілу.

Власне, в цьому і є головна перевага таких приладів в порівнянні з традиційними денними і нічними прицілами - вони дають вам здатність бачити мету, вести спостереження, прицілювання та стрільбу практично при будь-якій освітленості (як вдень, так і вночі) і при будь-яких погодних умовах (сніг, дощ, туман, серпанок).

Тепловізор визначає невидиму людському оку ІЧ (інфра-червоне) випромінювання та за допомогою болометричної матриці (сенсора), кожен елемент (піксель) який з високою точністю вимірює температуру (рис. 1).

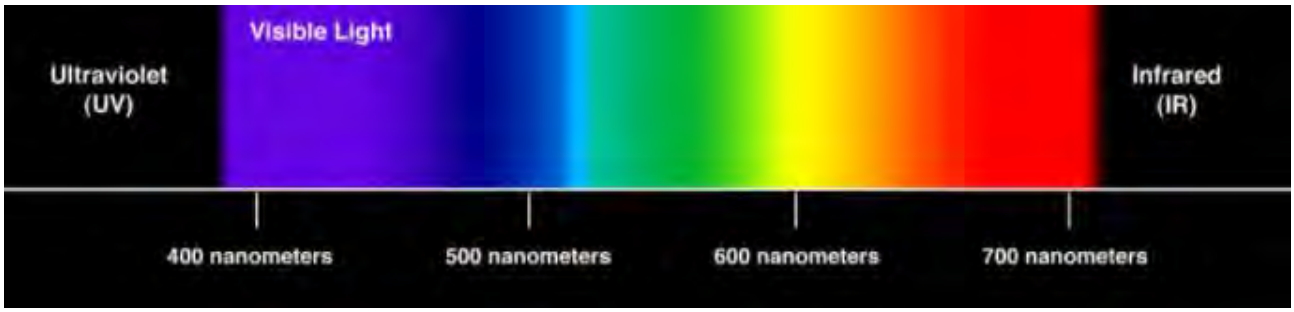


Рисунок 1. Кольори видимого спектра. Справа знаходиться інфрачервоний діапазон

Для тепловізора не стають перешкодою маскувальні костюми, чагарники і несуцільні огорожі. За допомогою тепловізора можна побачити свіжі сліди на снігу і залишкове тепло. В умовах запиленості та задимленості тепловізори незамінні для дослідження простору зовні і всередині приміщень.

Розширення болометричної матриці (кількість пікселів по горизонталі і вертикалі) - один з найважливіших параметрів, що визначають якість спостережуваного стрільцем зображення мети і ландшафту навколо неї: чим більше розширення, тим більш деталізоване зображення ми бачимо на виході. Другим важливим моментом тут буде власне розмір пікселя болометричної матриці в мікронах. У використовуваних на сьогоднішній день матрицях цей розмір становить, як правило, 25 або 17 мікрон. Частота оновлення кадрів (варіюється від 9 до 60 Гц) відповідає за комфортність спостереження за рухомими об'єктами. Розгортка в 9 Гц означає, що зображення, що транслюється на окулярну матрицю, оновлюється 9 раз в секунду. Відповідно розгортка в 50 Гц означає що в 1 секунду зображення оновиться вже 50 раз.

Спостережні тепловізори знаходяться на озброєнні армії і поліції в усьому світі. Використовуються у вигляді монокулярів, біноклів і прицілів. Безпомилково виявляють людей на видаленні до 1.5-2 км і техніку - до 2-3 км. Стаціонарні військові тепловізори з охолоджувальної матрицею, потужним процесором і зумом виявляють цілі на відстані до 7-8 км. Встановлюються на танки, бронетехніку, літаки, безпілотні літальні апарати, вертольоти і морські судна. Тепловізорними модулями можуть оснащуватися головки бойових ракет, які використовуються для теплового захоплення цілі.

Тепловізійна прицільна система складається з декількох основних модулів, а саме: приймач ІЧ випромінювання, камера, екран, дальномір, відео процесор та оціночна плата.

Принцип роботи описується наступним алгоритмом:

• Об'єктив тепловізора формує на сенсорі теплограму (див. рисунок 2) (або карту різниці потужності випромінювання) всієї спостережуваної в полі зору області.

• Оціночна плата отримує сигнал з матриці відеокамери та обробляє його для подальшого використання.

• Відео процесор зіставляє сигнали отримані з матриці тепловізора та з матриці відеокамери і формує на дисплеї приладу зображення, що є візуальною інтерпретацією цих даних з накладенням прицільної сітки, яку безпосередньо розглядає спостерігач.

За допомогою дальноміра є можливість враховувати відстань до потенціального об’єкту прицілювання для збільшення точності.

Тепловізійна прицільна система має змогу запису відеоматеріалу, котрий можна буде в подальшому оброблювати та аналізувати (рис.2).

Робота тепловізійного прицілу забезпечується ПЗ (програмним забезпеченням) розробленим з урахуванням вибраних компонентів, що дає високу швидкодію завдяки змозі оптимізації коду.

Рисунок 2. Теплограма

ВИСНОВОК

Розглянуто алгоритм роботи тепловізійної прицільної системи та описано з яких компонентів вона складається.

Практичною значимістю розробки тепловізійної прицільної системи є створення вітчизняного пристрою, що буде дешевшим за існуючі аналоги та не буде поступатись якістю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Кононюк, А. Е. Основы фундаментальной теории искусственного интеллекта : [В 20 кн.] / А. Е. Кононюк. – Киев: Освіта України, 2017 – ISBN 978-966-373-693-8. – Кн. 3 : Зрительное восприятие изображений искусственным интеллектом. – Ч. 4 : Системы тепловидения как расширяющие средства зрения в СИИ – 2017. - 480 с.

[2] Криксунов, Л.З. Справочник по основам ИК техники / Л.З. Криксунов. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с.

[3] Thermal and night vision optics URL: www.pulsar-nv.com

[4] Ллойд, Дж. Системы тепловидения / Дж. Ллойд / Пер. с англ. М.В. Васильченко; под ред. А.И. Горячева. – М.: Мир, 1978. – 414 с.

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

УДК 621.317

В.В. Стасюк, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА МЕТОДОМ НУЛІВ І ПОЛЮСІВ

Анотація. При контролі електро-радіоелементів вузлів РЕА модель, номінальні параметри виділених багатоелементних двополюсників відомі. Під час контролю важливим є знаходження відхилень параметрів від номінальних. Тому потрібно оцінити реальний відгук за формою та його відхилення від номінального. Тобто форма відгуку може бути використана як "узагальнений" інформативний параметр багатоелементного двополюсника, за яким можна робити його контроль. При цьому перевагу мають методи, які застосовують випробувальні сигнали спеціальної форми, що забезпечують вихідні сигнали, які легко аналізувати. Це дає змогу підвищити продуктивність систем контролю. Наведено аналіз реалізації методу вимірювання та контролю параметрів складних електричних кіл за методом нулів і полюсів на прикладі кіл другого порядку в середовищі Micro-CAP.

Ключові слова: випробувальний сигнал, багатоелементне двополюсне електричне коло, інверсна модель, функція імітансу, метод нулів і полюсів.

ВСТУП

Високу продуктивність систем контролю можна досягнути на основі прямих вимірів під час перехідних процесів в досліджуваних колах та прямої оцінці значень параметрів кола [1]. Випробувальні сигнали (ВС) однієї із стандартних форм, наприклад, у вигляді одиничної ступінчастої функції, легко відтворюються, але відгук у загальному випадку має складну для аналізу форму. При вимірах окремих R,L,C-параметрів багатоелементних двополюсних електричних кіл (БДЕК) це зумовлює виміри відгуку з більш високою точністю, що ускладняє апаратуру аналізу і, відповідно, призводить до істотних втрат часу на контроль [2]. Тому розробка методів, які спрощують апаратуру аналізу та дозволяють підвищити продуктивність систем контролю, є актуальної.

МЕТА РОБОТИ

Метою статті є аналіз реалізації методу вимірювання та контролю параметрів складних електричних кіл за методом нулів і полюсів на прикладі кіл другого порядку в середовищі Micro-CAP.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При контролі електро-радіоелементів (ЕРЕ) вузлів РЕА модель, номінальні параметри БДЕК відомі. Під час контролю важливим є знаходження відхилень параметрів від номінальних. Тому потрібно оцінити реальний відгук за формою та його відхилення від номінального відгуку. Тобто форма відгуку може бути використана як "узагальнений" інформативний параметр БДЕК, за яким можна робити його контроль. При цьому перевагу мають методи, які застосовують ВС спеціальної форми, що забезпечують вихідні сигнали, які легко аналізувати. Це дає змогу підвищити продуктивність систем контролю. Для побудови ВС використовують номінальну дрібно-раціональну функцію імітансу досліджуваного кола [3]. Відповідно ВС побудовані на основ інверсної функції імітансу. Таким чином, нулі і полюси ВС компенсують полюси і нулі функції

імітансу досліджуваного кола. Шляхом вибору моделі ВС можна задати номінальний відгук зручної форми. Наприклад, у вигляді ступінчастої функції. Якщо нулі і полюси некомпенсовані, виникає відхилення відгуку від номінального. Таке відхилення можна дуже просто оцінити та проконтролювати. За відхиленням відгуку від номінального в окремих точках перехідного процесу можливо інваріантне визначення окремих R, L, C параметрів [2].

Розглянемо в середовищі Micro-CAP [4] приклад визначення параметрів паралельного R, C-двополюсника у складі трьохполюсного кола (рис. 1). Схема включення забезпечує режим заданої напруги на полюсах ДП (паралельний ДП). Струм через ДП перетворюється у напругу на виході перетворювача:

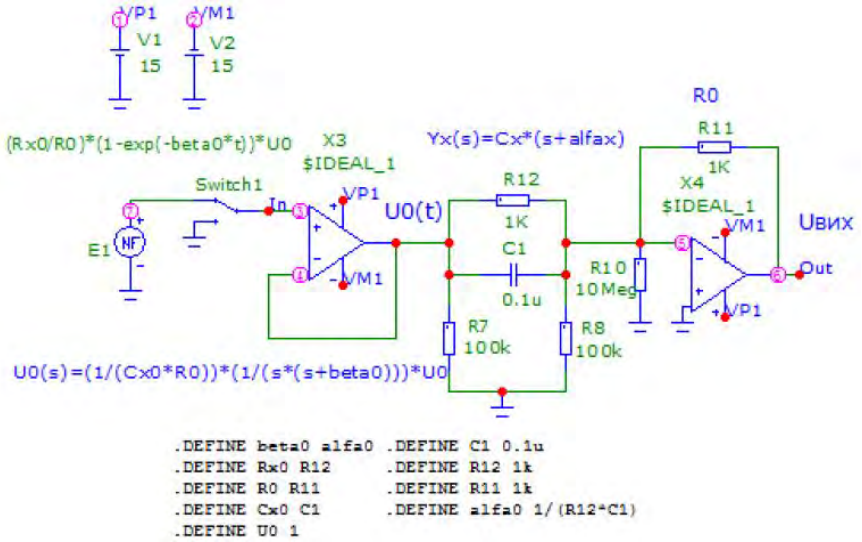
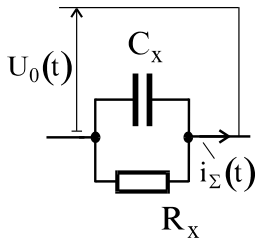
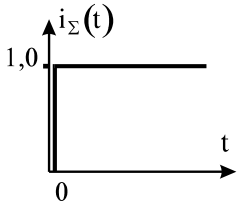


Рисунок 1. Схема перетворювача «імітанс-напруга»: включення паралельного ДП

Таблиця 1. Синтез випробувального сигналу

 Адмітанс: $Y_X(s) = C_X(s + \frac{1}{R_X C_X})$ $R_X = R_{X0} + \Delta R_X$, $C_X = C_{X0} + \Delta C_X$.	Модель ідеального ВС $U_{B0}(t) = \begin{cases} I_0 R_{X0}(1 - e^{-\frac{1}{R_{X0}C_{X0}}t}), t \ge 0; \\ 0, \quad t < 0. \end{cases}$ Умова синтезу ВС $U_{B0}(s) \cdot Y_{X0}(s) = \frac{1}{s} \times I_0$ Операторне зображення ВС $U_{B0}(s) = \frac{1}{C_{X0}} \cdot \frac{1}{s(s + 1/R_{X0}C_{X0})} \times I_0$	Номінальний відгук $\bar{i}_\Sigma(t) = 1(t)$  Якщо $C_X = C_{X0}$; $R_X = R_{X0}$

Уніфікований відгук

$$U_{вих}(s) = I_X(s) \times R_0 = U_{B0}(s) Y_X(s) \times R_0 = \frac{C_X(s + 1/R_X C_X)}{C_{X0} \cdot s(s + 1/R_{X0}C_{X0})} I_0 \times R_0 =$$

$$= \frac{C_X(s + \alpha_{X_T})}{C_{X0} \cdot s(s + \beta_{B0_T})} U_0 = \frac{C_X}{C_{X0}} \frac{1}{(s + \beta_{B0_T})} U_0 + \frac{C_X}{C_{X0}} \frac{\alpha_{X_T}}{s(s + \beta_{B0_T})} U_0 .$$

$$U_{\text{вих}}(t) = \frac{C_{\text{X}}}{C_{\text{X0}}} e^{-\beta_{\text{B0T}} t} U_0 + \frac{C_{\text{X}}}{C_{\text{X0}}} \frac{\alpha_{\text{X}_\text{T}}}{\beta_{\text{B0}_\text{T}}} (1 - e^{-\beta_{\text{B0T}} t}) U_0 =$$

$$= \frac{C_{\text{X}}}{C_{\text{X0}}} e^{-\beta_{\text{B0T}} t} U_0 + \frac{R_{\text{X0}}}{R_{\text{X}}} (1 - e^{-\beta_{\text{B0T}} t}) U_0 = U_{\text{Cx}}(t) + U_{\text{Rx}}(t), \quad t \geq 0.$$

де $U_{\text{Cx}}(t) = \frac{C_{\text{X}}}{C_{\text{X0}}} e^{-\beta_{\text{B0T}} t} U_0$; $U_{\text{Rx}}(t) = \frac{R_{\text{X0}}}{R_{\text{X}}} (1 - e^{-\beta_{\text{B0T}} t}) U_0$, $t \geq 0$.

Визначення параметрів (рис.2):

$$\lim_{t \to 0} U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих}}(0) = \frac{C_{\text{X}}}{C_{\text{X0}}} U_0; \qquad C_{\text{X}} = \frac{U_{\text{вих}}(0)}{U_0} C_{\text{X0}}.$$

$$\lim_{t \to \infty} U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих}}(\infty) = \frac{R_{\text{X0}}}{R_{\text{X}}} U_0; \qquad R_{\text{X}} = \frac{U_0}{U_{\text{вих}}(\infty)} R_{\text{X0}}.$$

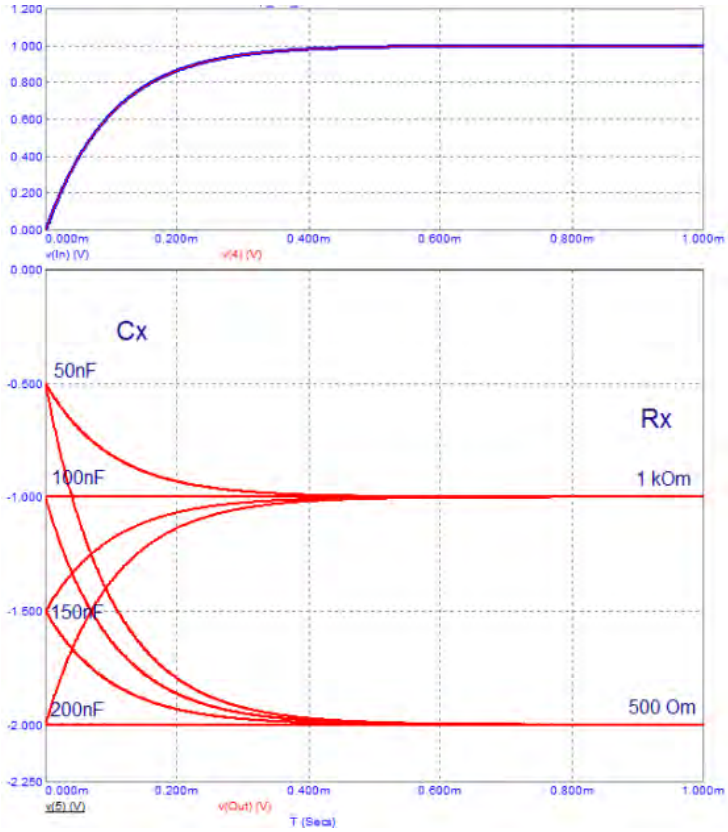


Рисунок 2. Визначення параметрів паралельного R, C - двополюсника: відгук, якщо $R_{\text{X}} = 1\,\text{kOm}$ & $R_{\text{X}} = 500\,\text{Om}$; $C_{\text{X}} \in [50\text{nF}; 200\text{nF}]$ – змінюється з кроком $\Delta C = 50\text{nF}$

Якщо схема ДП послідовна, перетворювач імітанс-напруга забезпечує режим заданого струму у ДП. Напруга на ДП є вихідної величиною перетворювача. Струм через контрольований ДП або напруга на ДП визначається тільки параметрами цього ДП незалежно від інших гілок трикутника. Здійснюється інваріантне перетворення імітансу контрольованого ДП (пасивна величина) в активну величину (напругу) на виході перетворювача.

В загальному випадку моделлю досліджуваного ДП є багатоелементне електричне коло.

ВИСНОВКИ

Наведений приклад ілюструє одержання інформації про параметри складних електричних кіл за методом нулів і полюсів. Шляхом завдання моделі ВС можна отримати відгук у вигляді одиничної ступінчастої функції. Нулі і полюси моделі ВС задають таким чином, щоб компенсувати полюси і нулі функції імітансу багатоелементного двополюсного електричного кола. Нулі і полюси, які не скомпенсовані, дають відхилення відгуку від номінального. Таке відхилення дуже просто оцінити та проконтролювати. За відхиленням відгуку від номінального в окремих точках перехідного процесу можливо інваріантне визначення R, L, C -параметрів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Байда, Н.П. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА / Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, В.Т. Шпилевой. – М.: Радио и Связь, 1987. – 256 с.

[2] Мартяшин, А.И. Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей / А.И. Мартяшин, К.Л. Куликовский, С.К. Куроедов, Л.В. Орлова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.

[3] Макаров, И.М. Таблица обратных преобразований Лапласа и обратных z-преобразований: дробно-рациональные изображения: учеб. пособие для втузов / И.М. Макаров, Б.М. Менский. – М.: Высш. шк., 1978. – 247 с.

[4] Micro-CAP 9. *Electronic Circuit Analysis Program Reference Manual.* Copyright 1982-2008 by Spectrum Software 1021 South Wolfe Road Sunnyvale, CA 94088. – 916 s. – http://www.spectrum-soft.com

[5] В.І. Губар, Ю.С. Шумков, та Б.П. Хіміченко, «Вимірювання параметрів електричних кіл із застосуванням випробувальних сигналів спеціальної форми», *Наукові вісті НТУУ "КПІ".* №5, с. 133-140, 2010.

[6] Туз, Ю.М. Теорія електричних кіл і сигналів : навч. посіб. / Ю.М. Туз, Ю.С. Шумков; за заг. ред. Ю.М. Туза. – К.: "Корнійчук", 2012. – 424 с.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

УДК 681.1

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

СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Анотація. У статті наведено аналіз особливостей використання мікросервісної архітектури в програмному забезпеченні мережевих систем збору даних. Визначені основні переваги використання даної архітектури та перспективи її застосування. Систему реалізовано на основі фреймворку Spring WebFlux та нереляційної бази даних MongoDB. Проведений аналіз буде корисним для оптимізації програмного забезпечення систем збору та обробки експериментальних даних.

Ключові слова: мікросервіс, Java, фреймворк Spring, збір та обробка даних, база даних.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В сучасних системах Інтернету речей важливу роль відіграє здатність серверного програмного забезпечення до масштабування, спрощення процесу його розробки і модифікації.

Програмне забезпечення на основі монолітної архітектури будується як єдине ціле, в якому інтерфейс користувача і реалізація доступу до даних об'єднані в одну програму на одній платформі. Труднощі при використанні монолітної архітектури виникають при масштабуванні додатків. Кожен раз, коли розробляються, тестуються та впроваджуються нові функціональні можливості необхідно змінювати весь моноліт, тому що присутня велика зв’язаність між модулями системи.

Мікросервісна архітектура розподіляє додаток на більш дрібні, повністю незалежні компоненти, що забезпечує їм більшу гнучкість і масштабованість. Цей тип архітектури передбачає велику кількість невеликих сервісів, кожен з яких виконує свої власні функції і може бути незалежно розгорнутий. Такі сервіси виконуються в окремих процесах та комунікують між собою через веб-запити або віддалені виклики процедур. При цьому виникає задача загальної організації системи, так як подальша розробка та можливість внесення змін будуть залежати саме від цього. Було проведено аналіз особливостей реалізації такого типу систем та розроблено демонстраційну систему збору експериментальних даних на базі мікросервісної архітектури на основі сучасних Java фреймворків та нереляційної бази даних.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

На базі мікросервісного архітектурного стилю [1] розроблена демонстраційна система збору експериментальних даних. Вона складається з наступних компонентів: сервіси, API Gateway, Message broker, MongoDB. На рис.1 наведено структурну схему мікросервісної системи збору даних.

API Gateway. Це служба, що надає єдину точку входу для певних груп мікросервісів. Служба реалізована на основі за допомогою серверу-шлюзу Zuul. Це маршрутизатор і серверний балансувальник навантаження від Netflix, що працює в розробленій системі сумісно з сервером регістрації мікросервісів Eureka.

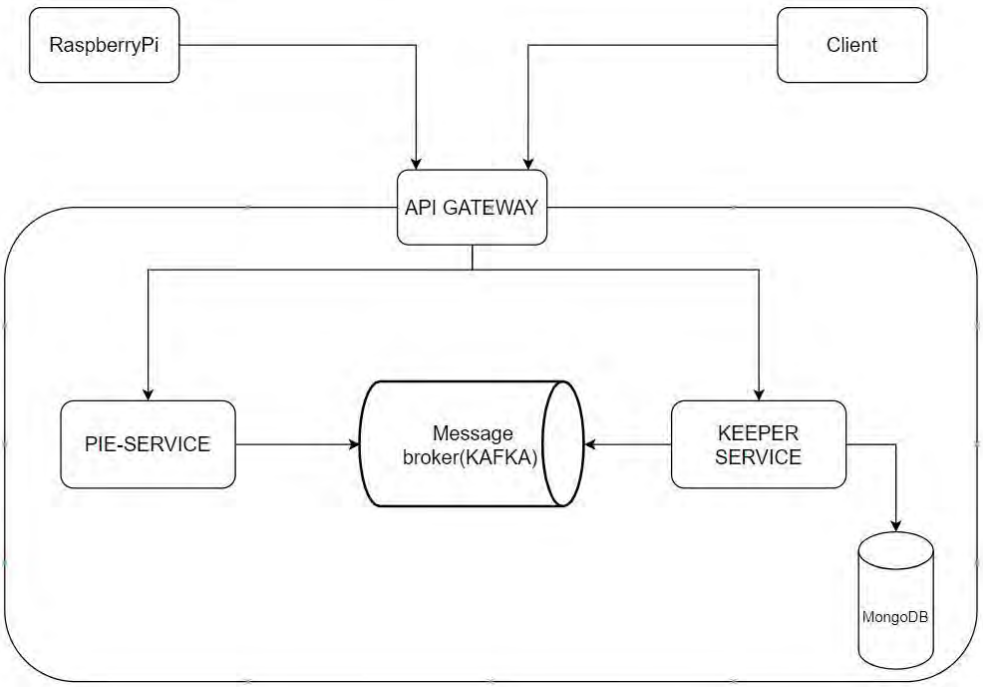


Рисунок 1. Структурна схема системи збору даних на базі мікросервісної архітектури

Message broker (Kafka). За допомогою брокера повідомлень Kafka в системі реалізовано архітектурний шаблон Message broker**.** Kafka – це високопродуктивна розподілена система обміну повідомленнями [2]. Черга повідомлень дозволяє позбутись зв'язаності між мікросервісами. При її використанні немає необхідності знати про особливості інших компонентів системи, все що потрібно – це передати повідомлення до брокера. Таким чином елементи системи можуть бути замінені без порушення загального функціонування системи з мінімальними зусиллями з боку розробників.

MongoDB. Важливою частиною систем збору та обробки експериментальних даних є збереження отриманої інформації в базі даних. Використано MongoDB – документоорієнтовану систему управління базами даних, яка не потребує опису схеми таблиць. Вважається одним з класичних прикладів NoSQL-систем, використовує JSON-подібні документи і схему бази даних. Однією з переваг такого типу баз даних є масштабованість, ефективне збереження великих об'ємів даних, швидкість виконання операцій та вбудована підтримка асинхронного виконання запитів [3].

RaspberryPi. Для реалізації вузлів збору даних було використано одноплатний комп'ютер RaspberryPi та датчики температури та вологості DHT22. Основною завданням програмного забезпечення даного компонента є передача експериментальних даних через API шлюз до мікросервісу Pie-Service.

Для реалізації системи було обрано платформу WebFlux Spring. Платформа WebFlux є альтернативою для версії Spring MVC і реалізує реактивний підхід для створення веб-сервісів [4]. Spring WebFlux реалізує асинхронний і неблокуючий веб-стек, який дозволяє обробляти велику кількість одночасних з'єднань (рис.2).

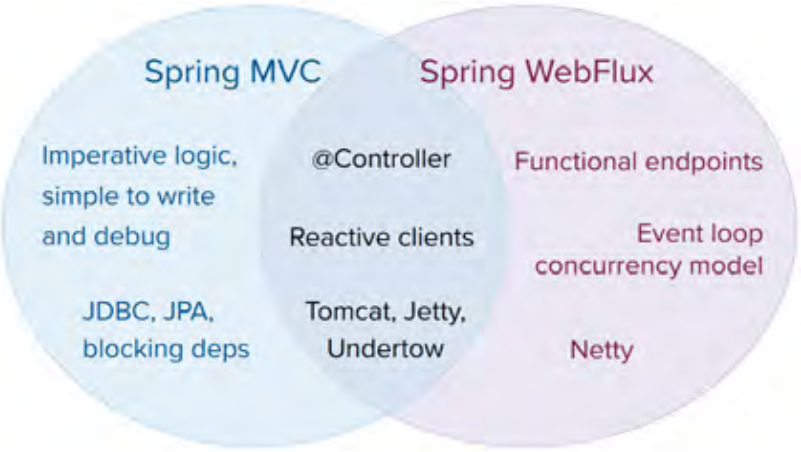


Рисунок 2. Особливості фреймворків Spring MVC та Spring WebFlux

В розробленій системі отримані від сенсорів вимірювальних пристроїв дані надсилаються до шлюзу веб-додатку, який перенаправляє їх до мікросервісу Pie-Service. Pie-Service додає відліки дати та часу та відсилає дані в чергу брокера повідомлень Kafka. Мікросервіс Keeper-Service є підписником на ці повідомлення. При появі нового повідомлення Keeper-Service отримує його, виконує обробку та зберігає до бази даних MongoDB.

Клієнт за запитом отримує дані для вибраного за відповідними координатами геолокації вузла збору даних. При зверненні клієнт відкриває з'єднання з базою даних. Так як MongoDB підтримує з'єднання типу tailable cursor, з'єднання може залишатися відкритим. Це дозволяє отримувати експериментальні дані в режимі, наближеному до реального часу.

ВИСНОВОК

Таким чином, була реалізована демонстраційна вимірювальна система збору експериментальних даних на базі мікросервісної архітектури. Даний підхід дав можливість створити систему з низькою зв'язаністю елементів та широкими можливостями до масштабування та модифікації. Було організовано передачу вимірювальних даних до шлюзу реалізованої веб-системи та їх подальшу обробку, збереження та представлення. В результаті використання реактивного підходу зросли відмовостійкість системи та можливість витримувати великі навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Software architecture. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/ Software_architecture. Accessed on: November 1, 2020.
[2] Message Broker. [Online]. Available:https://en.wikipedia.org/ wiki/ Message_broker. Accessed on: November 1, 2020.
[3] MongoDB. [Online]. Available:https://ru.wikipedia.org/wiki/MongoDB. Accessed on: November 1, 2020.
[4] Spring WebFlux. [Online]. Available:https://docs.spring.io/spring-framework /docs/current/reference/html/web-reactive.html. Accessed on: November 1, 2020.

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

УДК 621.396

В.О. Хомич, студент гр. ПА-91мп, В.В. Стасюк, студент гр. ПА-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ САМОРОЗРЯДУ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

Анотація. В роботі розглянуто особливості явища саморозряду хімічних джерел струму різного типу та зроблено висновок про необхідність його оцінки. Проаналізовано існуючі методи оцінки саморозряду. Зроблено висновок про доцільність використання методу постійного потенціалу.

Ключові слова: саморозряд, діагностика, хімічні джерела струму, акумуляторні батареї.

ВСТУП

Явище саморозряду характерне в більшій або меншій мірі для всіх типів акумуляторних батарей (АКБ) і полягає у втраті ними своєї ємності після того, як вони були повністю зарядженими і при відсутності зовнішнього споживача струму.

Для кількісної оцінки саморозряду акумулятора зручно використовувати втрачену ним за певний проміжок часу ємність, що виражена у відсотковому відношенні, до значення отриманого одразу ж після заряду. За проміжок часу, як правило приймають час рівний одній добі або одному місяцю.

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА САМОРОЗРЯД ТА МЕТОДИ ЙОГО ОЦІНКИ

Саморозряд в герметизованих свинцево-кислотних акумуляторах значно зменшений і складає 40% в рік при температурі 20 °C і 15% при 5 °C.

Слід відмітити, що саморозряд акумуляторів максимально активний в перші 24 години після зарядки, а потім значно зменшується. Глибокий його розряд і наступний заряд збільшують хід саморозряду хімічних джерел струму. Саморозряд акумуляторів в основному обумовлений виділенням кисню на позитивному електроді. Даний процес ще більше посилюється при підвищенні температури. Так, при підвищенні навколишньої температури на 10 градусів по відношенню до кімнатної можливе збільшення саморозряду в 2 рази.

В деяких випадках саморозряд залежить від якості використовуваних матеріалів, технологічного процесу виготовлення, типу і конструкції акумулятора. Сепаратором прийнято називати тонку пластину, що відокремлює позитивні від негативних електронів. Це найчастіше трапляється під час неправильного обслуговування акумулятора, його відсутності або використання невідповідних або неякісних зарядних пристроїв. У зношеного акумулятора пластинки електронів розбухають і злипаються один з одним, що призводить до підвищеного саморозряду, при цьому пошкоджений сепаратор неможливо відновити проведенням циклів заряд-розряд. [1]

Це вимагає підвищення ефективності елементів живлення, що мають велику ємність. Оптимізація витрат і втрат при їх оцінці набуває все більшого значення. Новий метод допоможе спростити трудомістку роботу і вимагає чималих витрат часу процедури тестування швидкості саморозряду таких елементів і прискорить виведення продуктів на ринок. [2]

Не підключений до навантаження, він розряджається. Через тижні або місяці подібний канал саморозряду повністю розряджає елемент живлення, що призводить до падіння напруги. Деяка ступінь саморозряду - нормальне явище, викликане хімічними процесами, що відбуваються всередині елемента живлення. Проте втрата заряду елемента призводить до того, що його ємність зменшується. При об'єднанні елементів живлення в батарейні блоки різна ступінь саморозряду окремих елементів призводить до порушення балансу всередині такої батареї. Однією з причин саморозряду також можуть бути шляхи витоку струму всередині елемента живлення. Наявність в ньому сторонніх часток і зростання дендритів викликають «мікрозамикання», тим самим створюючи струм витоку. Елементи живлення з високим значенням саморозряду характеризуються більшою ймовірністю прихованої відмови. Таким чином, вимір і оцінка швидкості саморозряду елементів живлення на етапі розробки і виробництва пристроїв дуже актуальні. При розробці елемента живлення дуже важливо усунути можливі причини швидкого саморозряду. В процесі виробництва потрібно якомога раніше виявити всі елементи, що мають ознаки високої швидкості саморозряду. [3]

Зазвичай для оцінки швидкості саморозряду вимірюють зниження напруги холостого ходу з плином часу. Цей метод досить простий, і для нього потрібно виміряти напругу за допомогою вольтметра. Проблема полягає не в складності вимірювання, а в кількості часу, необхідного для визначення швидкості саморозряду за показниками зміни напруги холостого ходу. У порівнянні з іншими типами перезарядження елементів живлення, саморозряд літій-іонних акумуляторів відбувається досить повільно. Як правило, вони втрачають близько 0,5-1% заряду в місяць. Оскільки зміна напруги холостого ходу літій-іонних елементів відбувається так повільно, віднайти якусь помітну зміну величини заряду і відбракувати елементи, які мають підвищену швидкість саморозряду, можна тільки через кілька тижнів або навіть місяців. Розробники, користувачі і виробники зіткнулися з проблемою, яка полягає в потребі швидко виміряти швидкість саморозряду елементів живлення. Час, що витрачається на тестування одного елемента, що не дуже великий, але серія таких вимірювань розтягується на довгі тижні або місяці, що серйозно відбивається на тривалості циклу розробки. В ході випробувань розробники повинні зберігати елемент живлення в умовах контрольованої температури, оскільки в іншому випадку його напруга також змінюється. А якщо в процесі реалізації проекту потрібно неодноразово проводити вимірювання, затримка збільшується в кілька разів. Відстрочка при реалізації нових проектів виливається у втрату можливостей і, відповідно втрату частки ринку і конкурентних переваг. При виробництві необхідність заміряти швидкість саморозряду елементів живлення значно збільшує кількість незавершених проектів, додає труднощі і ризики, викликані збереженням протягом довгого періоду безлічі елементів. Для джерел живлення великої ємності ця проблема ще гостріше: вони мають більший час стабілізації і являють собою чималу небезпеку при складському зберіганні, а крім того, вимагають додаткових витрат, пов'язаних з інвентарним обліком. [4]

Проблема діагностики стану АКБ і можливості прогнозування їх роботоздатності після зберігання, тобто діагностики саморозряду, є однією з основних проблем виробництва і експлуатації джерел струму.

У світі відомо, випробувано і застосовується велика кількість методик діагностики саморозряду. Відомі способи діагностики саморозряду акумуляторних батарей включають, в першу чергу, визначається за допомогою електричної ємності, що залишилася в джерелі струму після зберігання і часткового розряду в процесі зберігання.

Цей метод з більшою достовірністю дозволяє за рівнем розрядної напруги при заданому струмі проводити відбраковування акумуляторних батарей з явним технологічним розкидом. Найбільш достовірним методом діагностики акумуляторних батарей слід вважати метод мікрокалориметрії, так як він враховує всі реакції, які відбуваються всередині джерела струму: як тепло, що виділяється при хімічній взаємодії активних компонентів акумуляторних батарей, так і тепло, що виділяється за рахунок реакцій току. Однак цей метод складний і тривалий. Він застосовується при розробці акумуляторних батарей, а не для оцінки стану і прогнозування зберігання серійного виробництва документів. З розглянутих методів визначається залишкова ємність акумуляторних батарей найбільш простим і досить інформативним можна вважати аналіз початкової ділянки розрядних кривих, отриманих при різному розрядному струму. Зокрема, однією з модифікацій цього методу може бути аналіз початкової ділянки вольт-амперної характеристики акумуляторних батарей.

ВИСНОВКИ

Отже, з оглянутих вище методів, суттєвими перевагами відрізняється метод «постійних потенціалів» оцінки саморозряду АКБ, що забезпечує можливість оцінки швидкості саморозряду і прогнозування зберігання АКБ за короткий проміжок часу. Малі струми розряду (аж до мікроампер) виключають спотворення інформації про внутрішній стан елементів, також у них просте апаратне оснащення, відсутність необхідності в попередньому отриманні еталонних залежностей ємності розряду від напруги елемента.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. – М.: Сов.радио, 1978. – 264 с
[2] Беляев Б.В. Работоспособность ХИТ. – М.: Связь, 1979. – 412 с.
[3] Устинов П.И. Аккумуляторные батареи. – М.-Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1952. – 264 с.
[4] Багоцкий В.С., Скундин А.М. ХИТ. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.

Наук. керівник – доцент, Шевченко К.Л.

УДК [006.91:616.001.17: 681.2](043)

Ю.В. Штефура[1], аспірант, Г.І.Хімічева[1], д.т.н., проф., К.Л.Шевченко[2], д.т.н., доц.
[1]Київський національний університет технологій та дизайну
[2]КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ ДІАГНОСТИКИ СТУПЕНЮ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ

Анотація. В роботі розглянуто задачу оцінювання ступеню термічних уражень, показано, що з цією метою доцільно використовувати тепловізорні перетворювачі. Наведено приклад використання розробленого авторами програмно-апаратного комплексу, що дозволяє в реальному часі оцінити ступінь опікового ураження. Запропоновано підхід до оцінювання невизначеності отриманих результатів.

Ключові слова: термічне ураження, ступінь ураження, діагностика, невизначеність.

ВСТУП

Оцінювання ступеню отриманих людиною термічних уражень (ТУ) сьогодні є вузьким місцем медичної діагностики, оскільки у світовому парку медичної техніки відсутні спеціалізовані апаратні засоби такого призначення. У більшості випадків глибина ТУ (а саме вона є визначальним фактором ступеня ураження) оцінюється візуально, або за допомогою досить архаїчних фізикальних методів [1]. В деяких випадках ступінь ТУ намагаються оцінювати використовуючі ультразвукову або рентгенівську апаратуру, але отримувані за її допомогою результати не задовольняють вимоги сучасної комбустіології [2].

Один з перспективних неінвазивних методів оцінки ступеню ТУ полягає у визначенні різниці поверхневої температури ураженої та здорової ділянок шкіряного покрову людини. При термічному впливі та досягненні певної температури у біологічній тканині відбуваються процеси коагуляції, що призводить до суттєвого зменшення або повного зникнення перфузії крові. Наслідком є припинення теплообмінних процесів в ураженій ділянці тканини та відповідне зменшення її температури до 2,5...3 градусів. Профіль поверхневої температури в зоні ТУ дозволяє оцінювати ступінь ураження за різницею температур, а візуалізація розподілу температур легко здійснюється тепловізором [3]. Складність використання цього методу полягає в тому, що за картиною розподілу температури ураженої ділянки важко об’єктивно діагностувати ступінь ТУ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

За міжнародною класифікацією ТУ за глибиною прийнято поділяти на 3 групи: I, II та III ступеню. Формально такий розподіл може бути віднесений до шкал квазіпорядку, оскільки займає проміжне положення між номінантною та ординальною шкалами. Особливістю в цьому випадку є відношення еквівалентності всередині класу і наявність відношення порядків між класами [4]. У використанні такої шкали первинно закладено певний рівень невизначеності.

З метою об’єктивізації отримання результатів діагностики авторами запропоновано [5] програмно-апаратний комплекс (ПАК) оцінки ступеню ТУ, в основі якого лежить модель машинного навчання що дозволяє виключити

людину з процесу оцінювання картини теплового профілю та підвищити достовірність отримуваного результату.

До складу ПАК входять мобільний телефон з тепловізором Flir-One, які дозволяють у реальному часі отримувати та аналізувати зображення ТУ в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Зовнішній вигляд ПАК та приклади результатів оцінки ступеню ТУ наведено на рис. 1.

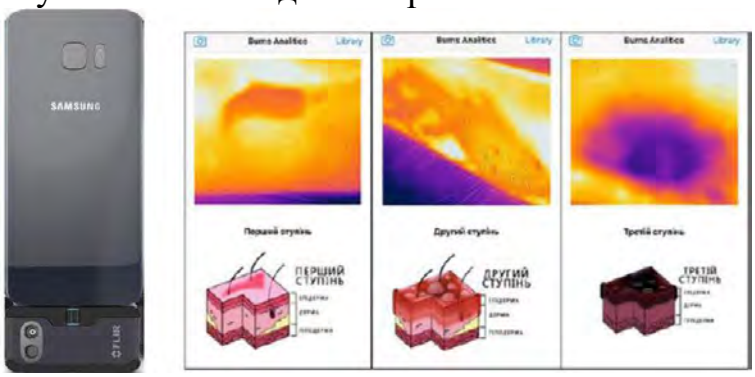


Рисунок 1. Зовнішній вигляд ПАК та копії результатів оцінки.

Функціонування ПАК здійснюється під управлінням мобільного додатку, що використовує попередньо навчену машинну модель. Для навчання, тренування та перевірки моделі використано біля 200 знімків (термограм), класифікованих за 3 групами ТУ. Тестування моделі показало 100% співпадіня з тестовою групою зображень. Але, такий результат свідчить лише про правильне навчання та тренування отриманої моделі. В реальних умовах на зовнішній вигляд отриманих термограм впливають збурюючі фактори, до яких можна віднести, наприклад, яскравість та спектр освітлення, масштаб зображення та ін. Тому важливою задачею є оцінка невизначеності результату діагностики ступеню ТУ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В основі роботи мобільного додатку лежить використання алгоритму кластеризації за методом k-середніх. Відомі алгоритми кластерного аналізу дозволяють з наданої сукупності об’єктів виділити однорідні за певною формальною ознакою (критерієм подібності). Наступна обробка отриманих результатів дозволяє вирішувати різні задачі, в тому числі і задачу аналізу зображень. Але, на жаль, знання алгоритмів кластерізації не розкриває кількісних показників процедур, які відбуваються в навченій машинній моделі в процесі аналізу зображення та не дає можливості оцінити невизначеність результату.

В роботі [6] зазначено, що при використанні шкал квазіпорядку за умови невеликої кількості класів еквівалентності при формуванні результату охоплюються сусідні класи. Кінцевим результатом при цьому буде обрано той клас еквівалентності, вірогідність віднесення якого більша. Міра розсіювання d^2 при цьому буде виражена залежністю

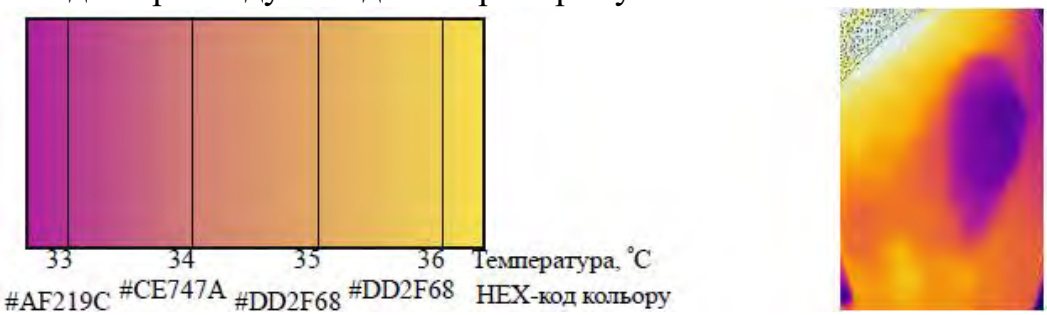
$$d^2 = P_n\left(1 - P_n\right), \qquad (1)$$

де P_n - вірогідність правильного віднесення результату до відповідного класу еквівалентності, а характеристикою невизначеності в цьому випадку виступає значення $(1-P_n)$.

Такий підхід дозволяє за допомогою арифметизації і виконання відповідних синтаксичних та семантичних операцій отримати шкалу з нечіткою лінгвістичною змінною та використовувати її для оцінки невизначеності.

За основу для оцінювання невизначеності результату діагностики ступеню ТУ авторами взято саме цей підхід.

Як зазначалося, загальноприйнята шкала оцінювання ТУ у вербальному вигляді представлена трьома класами еквівалентності: I, II та III ступені уражень. При використанні тепловізійного методу в якості інформативного параметра виступає зміна поверхневої температури шкіряного покрову. Найбільша різницева температура здорової та ураженої ділянок при цьому лежить в межах 2,5…3° [3], ця величина і визначає в даному випадку діапазон вимірювань. Оскільки за допомогою ПАК здійснюється візуалізація досліджуваної ділянки, для зазначеного діапазону температур існує відповідний спектр колірної палітри, частини якого відповідають трьом класам еквівалентності. Графічно така гібридна цифрова шкала представлена на рис. 2а, на рис. 2б для прикладу наведено термограму ТУ.



а б

Рисунок 2. Гібридна температурно-кольорова шкала (а) та приклад термограми ураження (б).

Наявність числової шкали забезпечує можливість оцінки невизначеності результату діагностики кожної термограми. Для цього виконують наступні процедури. В кожному з класів еквівалентності наведеної на рис. 2а шкали обирають декілька (наприклад, 5) рівномірно розташованих значень температури, та відповідних їм кодів кольорів. Після цього будують гістограму розподілу площ відповідних ділянок колірної палітри. Для термограми, наведеної на рис. 2б, гістограма має вигляд, показаній на рис. 3.

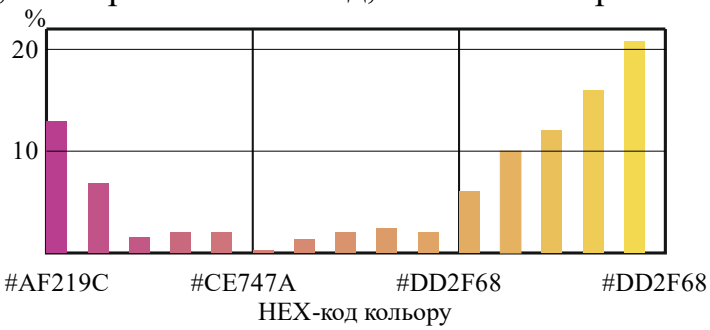


Рисунок 3. Гістограма розподілу колірної палітри.

Наступним кроком є перехід до шкали квазіпорядку, яка характеризує ступінь опікового ураження з урахуванням різниці температур по кожній складовій гістограми колірної палітри, як показано на рис. 4.

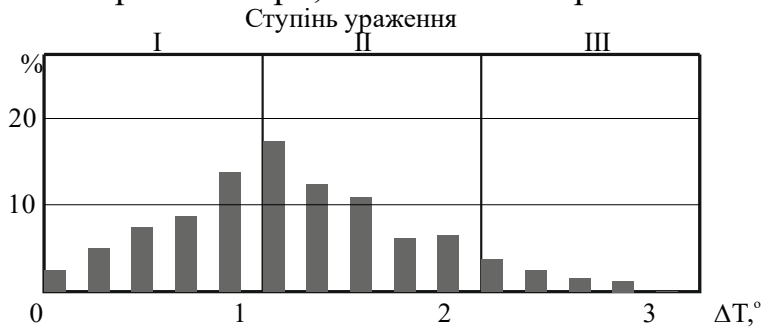


Рисунок 4. Гістограма розподілу вірогідності ступеня ТУ за різницею температур.

На рис. 4 по горизонтальній вісі розташовані позначки різниці температур на термограмі, по вертикальній - відкладено вірогідність ТУ для певних точок шкали. Для розглянутого прикладу діагностується початковий випадок ТУ II ступеню, але невизначеність становить близько 30%.

ВИСНОВКИ

Основним результатом даної роботи є розробка підходу до оцінки невизначеності діагностики ступеню ТУ за зображенням термограми. Знання невизначеності результату є важливим показником для прийняття рішення стосовно первинної діагностики ТУ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Комбустіологія : Підруч. / Е. Я. Фісталь, Г. П. Козинець, Г. Є. Самойленко, В. М. Носенко, Н. М. Фісталь; Центр. метод. каб. з вищ. мед. освіти, Донец. держ. мед. ун-т ім. М.Горького. Каф. комбустіології та пласт. хірургії ФПО. - К. : Інтерлінк, 2004. - 184 с.

[2] Загиров, М.Х. Сравнительная характеристика частоты диагностических ошибок при определении площади и глубины термических поражений / М.Х. Загиров, В.А. Соколов // Актуальные проблемы термической травмы: Материалы международной конференции, посвященной 60-летию ожогового центра НИИ скорой медицинской помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, 20 – 22 июня 2006 г.- СПб., 2006. – С. 54.

[3] Ачкасов Е.Е., Воловик М.Г., Долгов И.М., Колесов С.Н. Медицинское тепловидение. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. 218 с.

[4] Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Изд. 2-е. — К.: Техніка, 1977. — 768 с.

[5] Ніколаєва К. Д., Штефура Ю.В. Інформаційно-вимірювальна система оцінки характеристик опіків на базі технологій штучного інтелекту /Матеріали XIX міжнародної науково-технічної конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка у технологічних процесах». Одеса, 14-17 червня, 2019, с. 45-46.

[6] Яремчук Н.А., Года О.Ю. Оценивание неопределенности ординального измерения. Системи обробки інформації, 2016, випуск 6. С. 194-196.