**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

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

**ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ**

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

# "ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"

4-5 грудня 2018 р.
м. Київ, Україна

# Збірник праць конференції

КИЇВ 2018

**УДК 621:537**

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 112 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та вченої ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10/18 від 26.11.2018 р.).
Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ ", 4-5 грудня 2018 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 434 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. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф., зав. кафедри ООЕП

5. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри ПСОН

6. Гераїмчук Михайло Дем'янович — д.т.н., проф., зав. кафедри ПБ

7. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф., зав. кафедри ПСНК

8. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри НАЕПС

9. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ

10. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф., зав. кафедри АЕД

# ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету

2. Романюк Т.А. — студентка ПБФ, заст. голови комітету, секція №7

3. Лещук М.С. — студентка ПБФ, секція №1

4. Басюк Г.П. — студентка ПБФ, секція №2

5. Мастенко І.В. — студент ПБФ, секція №3

6. Загорулько О.М. — студент ПБФ, секція №4 та секція №5

7. Голодний О.С. — студент ПБФ, секція №6

8. Затуленко А.С.— студентка ПБФ, секція №8

9. Ковеня В.М. — студентка ПБФ, секція №9 та секція №10

10. Новіков А.О. — студент ПБФ, секція №11

# З М І С Т

## *СЕКЦІЯ 1. ЕКОНОМІКА ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ*

*С.С. Афзель, студентка гр. ПГп-61, М. О. Березанська, студентка гр. ПГп-61*
ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДАТЧИКІВ РУХУ. ..... - 16 -

*Ю. І. Кльосов, Д. В. Чаплинська, ст. гр. ПГ-71мп, к.т.н., доц. Мироненко П. С.*
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ДАТЧИКІВ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ ..... - 19 -

*М.С. Лещук, студентка групи ПГ-п61*
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МІКРОМЕХАНІЧНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ..... - 22 -

*М.О. Мартинюк, студент гр. ПГ-71мп, В.О. Аксініченко, ст. гр ПГ-81мп*
ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ДЕФОРМАЦІЇ..... - 25 -

*Р.О. Римський, студент гр. ПГ-71мп, О.М. Павловський, к.т.н., доц.*
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ З БЕЗДРОТОВИМ ПІДКЛЮЧЕННЯМ ..... - 29 -

*Д.О. Тросковець, студент гр. ПГ-71мп*
ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СЛІДКУЮЧИХ КООРДИНАТОРІВ ..... - 33 -

*В.М. Шелевер, студент гр. ПГ-71мп, В.В. Аврутов, к.т.н., доц.*
КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ ШТУЧНОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ ..... - 37 -

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

*Averin D.; Borovytsky V., Dr.Tech.Sc, professor*
MEASURRING LEDS INDICATRISSE ..... 42

*I.I. Avdeionok, student gr. PI-51o.Ph.D., prof. Borovitsky V.M.*
MTF MEASUREMENTS ..... 45

*V.A. Antonenko, student, П0-72мп, Doctor of Science, Professor Borovytsky V.M.*
FEATURES AND COST COMPARISON OF BIOLOGICALLY INSPIRED VISION SYSTEMS ..... 49

*Bortnik V.A, professor Borovytsky V. M*
EFFICIENCY OF CALIBRATION OF DISTORTION IN UAV VISION SYSTEMS ..... 52

*М.Т. Васильчук, Д.М. Климанський, студент гр. П0-72мп,к.т.н., Микитенко В.І.*
СПОСОБИ СУМІЩЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ КАНАЛІВ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ ОЕП ..... 55

*O.Y. Hudz, student group П0-71м, doctor of eng. sciences, prof. Borovytsky V.M.*
AMPLITUDE AND INTENSITY DISTRIBUTION AROUND A FOCAL POINT OF ANY OPTICAL SYSTEM..... 59

*Д.М. Климанський, М.Т. Васильчук, студенти гр. П0-72мп, к.т.н., Микитенко В.І.*
МЕТОДИ ЗЛИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ ..... 62

*О.Є.Левицький, студент гр. ПО-71мп*
ОПТИМЕТРІЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ВАРІОЛІНЗИ ..... 65

*В. П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.*
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ..... 68

*Р.А. Пашков, студент гр. ПО-81мп, к.ф.-м.н. Балахонова Н.О.*
КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЯКОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШУМІВ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КАНАЛУ ОГЛЯДОВИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ..... 71

*М.Л. Пінчук, студент гр. ПО-71мп, к.ф.-м.н., доц. Богатирьова Г.В.*
СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИЧНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ В ОПТИЦІ ШОРСТКИХ ПОВЕРХОНЬ ..... 74

*Д.О. Рудюк, студент гр. П0-71мп; к.т.н., доц. Сокуренко В.М..*
КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО НОВІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ КОМПАКТНИХ СКАНЕРІВ РАЙДУЖКИ ..... 78

*В.О. Цовбун, студентка гр.ПО-72 мп*
ПРОБЛЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕДИЧНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ В УКРАЇНІ ..... 82

## *СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*

*В.М. Бодашко, студент гр. ПБ-71мп, Федочук В.Л., студент гр. ПБ-51*
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ..... 86

*О.М. Буковський, магістр гр. ПБ-71мп, к.т.н., доцент Шевченко В.В.*
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ НЕВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ..... 90

*О. С. Голодний, студент гр. ПБ-51*
ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ НА ВИРОБНИЦТВІ ..... 93

*М.В. Домантович, студент гр. ПБ-71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доц.*
ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ ..... 97

*О.К. Доценко, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н. Стельмах Н.В.*
МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДТРИМОК ВИСТУПАЮЧИХ ЧАСТИН НАДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ..... 100

*А.С. Затуленко, студентка гр. ПБ-51, ассистент Заєць С.С.*
НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ ..... 104

*П.І. Карасьов, студент гр. ПБ-51, д.т.н., доц. Стельмах Н.В.*
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ..... 107

*В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51*
ПРИЛАДИ І КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ..... 110

*Д.М. Литвиненко студент гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. Н.В. Стельмах*
ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ КРИВОШИПНО-ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА.. 113

*Ю.Ю. Манзюк, студент гр.ПБ-71мп, Антонюк В.С., д.т.н., професор*
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ..... 117

*І.В.Мастенко, студент гр. ПБ-51, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.*
ПОЛІПШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ..... 121

*А.О. Матвєєва, студентка гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. С.П. Вислоух*
МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ ..... 125

*Р.Ю. Муха, студент, гр. ПБ-71мп, д.т.н., професор Антонюк В.С.*
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ..... 129

*с.н.с. Несін В.В., н.с. Лахтадир С.Л., провідний спеціаліст Маєтний М.І.*
ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНОГО НАПРЯМКУ ВИДАЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ЗАДИРОК НА КУТАХ ФРЕЗЕРОВАНИХ ГРАНЕЙ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІАМІДУ БЛОЧНОГО ..... 132

*О.І. Онкалюк, студент гр.ПБ-71мп, Антонюк В.С., д.т.н., професор*
ФОРМУВАННЯ ЗОНИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОЇ КОНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ З КРУГОВИМ ЗУБОМ ..... 135

*В.М. Охмак, студент гр. ДС-61*
ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ DC/DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ..... 139

*М.С. Путілов студент гр. ПБ-71м.*
ДАТЧИКИ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ..... 142

*В.С. Скібчик, студент гр. ПБ-71мп, Подолян О.О., ст. викладач, к.т.н.*
СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ ЗА РОЗРОБЛЕНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ НА ОСНОВІ ЗАКОНУ ПАРЕТО ..... 145

*К.Г. Філоненко, студент гр. ПБ-71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доц.*
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ..... 148

*с.н.с. Шабетя С.А., с.н.с. Несін В.В., п.н.с. Павленко В.С.*
ЕФЕКТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМІНЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРОШКОВОГО ПОЛІЕФІРНОГО ПОКРИТТЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІАМІДУ БЛОЧНОГО В ПРИЛАДОБУДУВАННІ ..... 152

*Ю.В. Шурапов, студент гр. ПБ-71мп,*
АВТОМАТИЗОВАНА ЛАЗЕРНА СИСТЕМА НАНОТЕХНОЛОГІЙ ..... 156

*В.І. Юрковець, магістр, ПБ-71мп, В.В. Шевченко, доцент, к.т.н.*
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ..... 159

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

## *СЕКЦІЯ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ*

*М.В. Бойко, студент гр. ПМ-61, ст. викладач Толочко Т.О.*
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ ..... 164

*Н.В. Вікторова, магістр гр. ПІ-71мп, ст. вик. Зайцев В.М.*
ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З МЕХАНІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ..... 168

*Д.С. Добронос, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф., Гераїмчук М. Д.*
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТИСКУ ..... 173

*Д.Р. Одайник, студент гр. ПМ-61*
СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ..... 176

*Д. В. Скрипник, студент гр. ПІ-71мн, д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.*
ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА..... 180

*Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І.*
ПРИМІНЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА ..... 184

*Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І.*
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА ..... 188

*В.В. Ходячий, аспірант, доц. Нікітін О.К.*
ОГЛЯД СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ ..... 192

## *СЕКЦІЯ 6. ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІТИЧНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*

*М.О.Музика, студент гр. ПН-71мп, Н.В. Кулик, студентка гр. ПН-71мп*
ЕКСПРЕС-МЕТРІЯ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ЗАСОБАМИ ОПТИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ..... 196

*О.А. Прищепа, студентка гр.ПН-з71мп*
ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРОННОГО ПОМНОЖУВАЧА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНТНИХ ДЕФЕКТІВ КРЕМНІЄВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ..... 200

*В.В. Старовіт, студент гр. ПН-71мп, к.т.н., ст. викл. Божко К.М.*
КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ..... 204

*М.М. Тарасюк, студент гр. ПН-71мп, К.М. Божко, к.т.н., ст. викл.*
ВИМІРЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ДАТЧИКОМ ХОЛЛА ..... 207

*В.В. Швайко, студент гр. ПН-71, К.М. Божко, канд. тех. наук, старший викладач*
ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ЗБУДЖЕННЯ І КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ ..... 210

*В. С. Шуляк, студент гр. ПН-71мп*
ТЕПЛОВЕ ПОЛЕ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ ПРИ ПРОТІКАННІ ЗВОРОТНОГО ТЕМНОВОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ВОЛЬТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА ..... 214

## *СЕКЦІЯ 7. ЕФЕКТИВНІСТЬ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА*

*М.С.Воловоденко, студентка групи ПК-71мп*
ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБОК ТЕПЛООБМІННИКІВ ..... 220

*Р.В.Каньоса, студент гр. ПК-81мп*
АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА В ЧАСОВІЙ ТА ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ ..... 224

*О.В. Курасов, студент гр. ПК-71мп.*
УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛУ ЯКОСТІ СТВОЛА МІНОМЕТУ. ..... 227

*С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л.*
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ..... 231

*Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51*
АНАЛІЗ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН ЯК ОБ'ЄКТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ..... 235

## *СЕКЦІЯ 8. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ*

*О.В. Барбул, студент гр. ПБз-71, к.т.н., доц. Безугла Н.В.*
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ДЛЯ НЕІНВАЗИВНОЇ ЛАЗЕРНОЇ ГЛЮКОМЕТРІЇ ..... 240

*А.П. Батурін, студент гр. ПБ-72мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент*
РЕОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПРИ ДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ . 243

*А.О. Большаков, студент гр. ПБ-72мп*
МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ..... 247

*А.Ю.Вождаєнко, студент гр. ПП-72мс, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент, к.т.н., доц.Стельмах Н.В.*
МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ В РІЗНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАНАХ ..... 251

*Р.О. Воронков студент гр. ПБ-72мп, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*
ОПТИЧНА БІОМЕТРІЯ ТКАНИН МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ МЕТОДОМ ДЗЕРКАЛЬНИХ ЕЛІПСОЇДІВ ОБЕРТАННЯ ..... 255

*І.В. Геліч, студент гр. ПБ-72мп*
ВПЛИВ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ФОКАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ НА ФУНКЦІОНАЛ ЕЛІПСОЇДАЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА ..... 258

*О. Гришай, студент гр. ПБз-71, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*
СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ СІРОЇ РЕЧОВИНИ МОЗКУ ЛЮДИНИ В НОРМІ ..... 262

*І.Д.Задумов, студент гр. ПБ-72мп*
МЕТОД ВІДБІЛЮВАННЯ ЗУБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДУЛЬОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ..... 266

*О.В. Зінченко, студент гр. ПБ-з71мп, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент*
ДОСТОВІРНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ МАМОГРАФІЇ ..... 269

*Кавун Є.Д., ст. гр. ПБ-72мп, к.т.н. Клочко Т.Р., Мельник В.К., ст. гр. ПБ-71мп*
АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ІНГАЛЯЦІЙНОЇ ДОСТАВКИ ПРЕПАРАТІВ ..... 273

*Н.М.Кравець, студентка гр. ПБ-з71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доцент*
ДІАГНОСТИКА СЕРЦЯ ЗА МЕТОДОМ ХОЛТЕРА ..... 277

*О.А. Кузьміна, студентка гр. ПБ-з71мп, Т.Р. Клочко, доцент*
АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ СТАНУ ТВАРИНИ ..... 281

*А.Г.Лебединська, студентка гр. ПБ-з71мп, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.*
ІМУНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КРОВІ У ТВАРИН .... 284

*Ю.В. Лобур, студент гр. ПБ-72мп*
МОДУЛЬ НЕІНВАЗИВНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМІ ШТУЧНОГО ПАЛЬЦЯ ..... 288

*Т.Д. Макарова, студентка гр. ПБ-з71мн, асистент Яковенко І.О.*
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРФОРАЦІЇ ШКІРИ ТА ЗАБОРУ КРОВІ ..... 291

*Д. Ю. Маляренко, студентка гр. ПБ-72мп, к.т.н., доц. Безугла Н. В.*
ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ 295

*Б.Е. Нагаєва, студентка гр. ПБ-з71мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент*
ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ПАРАМЕТРИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ..... 298

*Омельченко В.О. студент гр. ПБз-71мп, Омельченко С.С. студентка гр. ПБз-71мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.*
БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСУ ПАЦІЄНТА ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ..... 302

*А.Б Саміляк, студент гр. ПБ-72мп*
ВПЛИВ ОПТИЧНОГО ПРОСВІТЛЕННЯ НА РОЗСІЯННЯ ШКІРОЮ ЛЮДИНИ ПРИ ЕЛІПСОЇДАЛЬНІЙ ФОТОМЕТРІЇ ..... 306

*Т.М. Сіверська, студентка гр. ПБ-71мп, Г.І. Панєвін студент гр. Пбз-71мп*
СИСТЕМА БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗРАЗКІВ КРОВІ ..... 310

*М.В.Цокота, аспірант гр. ПБ-72м*
МЕТОДИ НЕІНВАЗИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ В ДЕРМАТОЛОГІЇ ..... 314

*К.Б. Чавченко, студент гр. ПБ-72мп*
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІЇ МІНІМІЗАЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ МЕТОДУ ІНВЕРСНОГО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ..... 318

## *СЕКЦІЯ 9. МІЖНАРОДНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО В ПРИЛАДОБУДУВАННІ*

*С.В. Войтко, д.е.н., проф.*
БІЗНЕС-МОДЕЛЬ ІНДУСТРІЇ-4.0 У РОЗВИТКУ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ ..... 324

*О. С. Покрас, аспірант, С. В. Войтко, д.е.н., проф.*
ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ВИСОКОТОЧНИХ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ВОДИ ..... 328

## *СЕКЦІЯ 10. ЕФЕКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ У ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ*

*І.Є.Бодак, студент гр. ВВ-71мп*
СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕННЯ ПОШКОДЖУВАННОСТІ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ..... 334

*К.А.Коваль, студентка гр. ВВ-81МП,старший викладач Затока С.А.*
ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕЗНОЛОГІЙ В УЧБОВОМУ ПРОЦЕСІ ..... 338

*О.О. Кононенко, студентка гр. ВВ-71мп, доц. Шведова В.В.*
СИСТЕМА ОПРАЦЮВАННЯ ДАННИХ КЛЮЧОВИХ ЗВІРЕНЬ ..... 341

*І. Б. Мацюк, студентка гр. ВВ-71мн*
ВПЛИВ РОЗПОДІЛУ ПОХИБКИ ЕТАЛОННОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ ..... 345

*З.В.Михова, студент гр. ВВ-71мн*
ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОКАЗАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ НАЛИЧИИ КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ ..... 348

*О.І. Павленко, студент гр. ВВ-71мп*
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ФАРФОРОВИХ ІЗОЛЯТОРІВ ..... 351

*О.В. Пахальчук, аспірант гр. ВВ-81ф*
СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ..... 355

*Р.Л. Піц, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., доц. Дубінець В.І.*
ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРТАТИВНОГО ВІБРОСТЕНДА ..... 359

*Р.С. Семенюк, аспірант, к.т.н., доцент, професор Яремчук Н.А.*
ПОБУДОВА ФУНКЦІЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ЛІНГВІСТИЧНОЇ ЗМІННОЇ З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ..... 363

*Д.Л. Сингх, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.*
ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННОГО АЭРОМАЯТНИКА ..... 367

*Д.М.Чапаєв, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф. Гераїмчук М.Д.*
РОЗРОБКА ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІЗ ТЕРМОКОМПЕНСАЦІЄЮ ..... 371

*Б.Н. Шуба, студент гр. ВВ-81мп*
ВИРТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОНОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ..... 374

*О. Ю. Года, к.т.н., ст. викладач, проф., Н.А. Яремчук, к.т.н., доц.*
СПОСОБИ ОТРИМАННЯ СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИБІРКОВОЇ МЕДІАНИ ..... 378

## *СЕКЦІЯ 11. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ*

*Д.А. Бурлака, студентка гр. ВМ-61-2, С.М. Курсін, к.т.н., М.П.Коваленко, студент гр. ВМ-61-2, М.В. Добролюбова, к.т.н., доц.*
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПОВІРОЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИСТЕМ ОБЛІКУ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМІЦІЇ ТА ВІМІРЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ТЕЛЕФОННИХ РОЗМОВ ..... 382

*А.В. Довгаль, студент гр. ВА-71мп, к.т.н., доцент Самарцев. Ю.М.,*
ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ..... 386

*А.В. Довгаль, студент гр. ВА-71мп, К.В. Притула, студент гр. ВА-71мп , к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.*
ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗВ'ЯЗКУ ЖИВЛЕННЯ ТА ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В ДВОДРОТОВІЙ СХЕМІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ..... 390

*А.Ю. Лівадіна, студентка гр. ВА-71мн*
АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ..... 394

*О.С. Ліщенко, студентка гр. ВА-81ф*
АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ..... 397

*В. В. Мокляков, студент групи ВА-71мп, Стаценко О.В.*
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ..... 401

*Д.С. Недашківський, студент групи ВА-71мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.*
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ ..... 405

*І.О. Нерозна, студентка гр. ВА-81мп*
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЯ СТАБІЛЬНОСТІ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СЕРЕДИНІ БДЖОЛИННОГО ВУЛИКА ..... 409

*Д. М. Семенко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Стаценко О. В.*
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ ..... 413

*М. Г. Скрипковська, студентка, гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. М. Г. Черняк, к.т.н., доц. М. В. Добролюбова*
МОДЕЛЬ ПОХИБОК ТА АЛГОРИТМИ ЇХ КОРЕКЦІЇ У МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ СИСТЕМІ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ НАХИЛУ НЕРУХОМОГО ОБ'ЄКТУ ..... 417

*Р.А. Токар, студентка гр. МгЯС-17*
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ..... 421

*О.В. Токаренко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков*
АНАЛІЗ ПОХИБКИ ДІСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ ДАТЧИКІВ ВІД ЄМНОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ПРОВОДІВ ..... 425

*А.В. Трофімук, студентка гр. МгЯС-17*
ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ ..... 431

# Секція 1.
# Економіка та ефективність використання навігаційних приладів і систем

**УДК 681.200**

*С.С. Афзель, студентка гр. ПГп-61, М. О. Березанська, студентка гр. ПГп-61*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДАТЧИКІВ РУХУ.

***Анотація.*** В роботі був проведений аналіз сучасних датчиків рухів, який показав, що вони поділяються на інфрачервоні, ультразвукові, радіохвильові і комбіновані. Наведено принцип дії кожного з типів датчиків, розглянуті їх недоліки та переваги. Датчики руху знайшли застосування у системах освітлення, охоронних системах, системах кліматичної техніки та ін.

***Ключові слова:*** датчик руху, система освітлення, система охорони, система безпеки.

## ВСТУП

Датчики руху знайшли використання у різних системах. У системах охорони, для виявлення проникнення на територію сторонніх осіб. Також вони використовуються для автоматизації систем освітлення, що дозволяє скоротити витрати на електроенергію. Аналізуючи дані про датчики руху, можна сказати, що вони будуть використовуватись активніше в наступні кілька років, особливо у країнах Європи.

Схема роботи датчика руху полягає в аналізі хвиль, що надходять з зовнішнього середовища до чутливого елементу датчика. За видом датчики руху можна поділити на: інфрачервоні, ультразвукові, радіохвильові і комбіновані.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ РУХУ

Інфрачервоні датчики. Працюють за принципом аналізу температури об’єктів, що потрапляють в середовище, яке охоплюються датчиком. Об’єкт має інакшу температуру від середовища, де знаходиться пристрій [1].

Перевагами інфрачервоних датчиків руху є: можливість точного регулювання роботи і кута виявлення об`єктів; реагує лише на об’єкти які мають власну температуру; не шкодять здоров’ю[1].

Недоліки інфрачервоних датчиків руху: можливі неправдиві спрацювання; низька точність роботи на вулиці; невеликий діапазон робочих температур; не виявляє об’єкти, що покриті матеріалами, які не пропускають випромінювання[1].

Ультразвукові датчики. Для реалізації такого виду датчика руху використовується спеціальний звуковий генератор, коливання якого від 25 до 40 КГц. Такий шум знаходиться поза межами здатності сприйняття звуку вухом людини.

Перевагами ультразвукових датчиків руху є: невелика вартість; оточуюче середовище не впливає на них; визначають рух незалежно від матеріалу об’єкта; висока працездатність в умовах високої вологості та запиленості[2].

Недоліки ультразвукових датчиків руху: може викликати дискомфорт у домашніх тварин, так як деякі з них чують ультразвукові частоти; невеликий радіус дії; спрацьовує тільки на різкі переміщення[2].

Радіохвильові датчики. Радіохвильові датчики за принципом роботи схожі на ультразвукові датчики. Відрізняє їх тип хвиль, що випромінюються.

Радіохвильовий датчик аналізує відбиття не звукових хвиль, а СВЧ-випромінювання.

Перевагами радіохвильових датчиків руху є: може виявляти об'єкти за тонкими стінами, дверима та склом; працездатність не залежить від оточуючого середовища; реагує на незначні переміщення об'єкта; має компактні розміри; може мати декілька зон виявлення[2].

Недоліками радіохвильових датчиків руху є: висока вартість; можливість неправдивих спрацювань; радіохвильове випромінювання небезпечне для життя[3].

Комбіновані датчики. Такі датчики створені шляхом поєднання сенсорів різних типів.

Перевагами комбінованих датчиків руху є: висока точність виявлення переміщення об'єкта; висока надійність; завжди правдиво спрацьовують[3].

Недоліками комбінованих датчиків руху є: висока собівартість; складна конструкція, порівняно з іншими датчиками[3].

## ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ

Датчики руху знайшли застосування майже у всіх сферах сучасного життя. Вони активно використовуються у системах освітлення, охоронних системах, системах кліматичної техніки та ін.

Найчастіше датчики руху застосовуються у системах безпеки, спрацьовування датчика може провокувати включення сирени, вмикати відеоспостереження, викликати снаряд та ін. Поступово набуває популярності застосування датчиків для увімкнення світла[4].

Датчики руху прості у влаштуванні і це дає змогу з легкістю підключити їх до системи освітлення чи системи безпеки. Великою перевагою датчиків руху це те що вони невеликі за розмірами та різні за кольорами і це дає змогу зробити їх непомітними[4].

Датчики руху можна встановлювати будь-де, головне, щоб це було близько до електроприладу яким має керувати датчик. Найпоширенішими є стеля та стіна приміщення. Датчики, що кріпляться до стіни мають не великий кут огляду (90-240 градусів), тобто датчики такого типу краще встановлювати в просторі перед дверима, вікнами, на сходах, перед гаражем. Датчики, що закріплюються на стелі мають найкращий кут огляду, близько 360 градусів [5].

Одним із способів вирішення питання про проблему економії електроенергії є використання датчиків руху. Датчики автоматично вмикають або вимикають освітлення в залежності від інтенсивності світлового потоку або присутності людей.

Головна перевага датчиків руху – це простота в їх установці та налаштуванні, тобто не потрібно використовувати багато різного обладнання. Датчики встановлюються в розрив електричного кола і відразу готові до використання.

Головною метою цих датчиків є забезпечення економії енергії та комфорту. Оскільки з кожним роком вартість електроенергії збільшується, то

використання цих датчиків дозволяє заощадити 65-85% електроенергії, це дозволяє власнику будівлі економити значні кошти при використанні об'єкта.

Аналітики прогнозують зростання використання датчиків руху на 14% щорічно. Найбільше зростання очікується в цілях захисту та в рамках домашньої автоматизації[5].

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

Датчики руху активно використовуються у системах освітлення, охоронних системах, теплових регуляціях та інших системах. Це колосальна економія електроенергії. Особливо важливим напрямком використання датчику руху у побуті є система безпеки. Застосування датчиків могло би скоротити кількість нещасних випадків, які найчастіше відбуваються у сучасному темпі життя, наприклад: не вимкнена плита, не вимкнена праска та ін., що може викликати спалах та завдати шкоди людям та їх майну.

## ВИСНОВКИ

Використання датчиків руху стає важливою частиною в економії електроенергії, а також економії коштів які ідуть на її сплату. Також датчики руху являються невід'ємною частиною систем безпеки. З розвитком сучасних технологій можливі відкриття нових областей використання датчиків руху. І ми впевнені, що з кожним роком буде все більше і більше застосувань датчикам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Как это работает | Датчик движения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.google.com.ua/amp/s/hi-news.ru/eto-interesno/kak-eto-rabotaet-datchik-dvizheniya.html/amp

2. Принцип работы датчиков движения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://progress.online/tehnologii/694-princip-raboty-datchikov-dvizheniya

3. Устройство датчика движения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://rutlib5.com/book/18999/p/6

4. Датчики движения | основные виды и их особенности, области применения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://rozetkaonline.ru/poleznie-stati-o-rozetkah-i-vikluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya

5. Датчики движения: возможности и области применения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.scct.ru/datchiki-dvizheniya-vozmozhnosti-i-oblasti-primeneniya

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

**УДК 531.383-11:531.714.7**

*Ю. І. Кльосов, Д. В. Чаплинська, ст. гр. ПГ-71мп, к.т.н., доц. Мироненко П. С.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ДАТЧИКІВ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ

***Анотація***. Аналізуються основні методи підвищення інформаційних характеристик приладів систем орієнтації і навігації (СОН) та їх функціональної стійкості на основі інтелектуалізації таких датчиків. Під терміном «інтелектуалізація» розуміємо головну властивість таких систем – наявність спеціального інформаційно-програмного оточення, що забезпечує постійну адаптацію вимірювальних приладів до факторів внутрішніх та зовнішніх середовищ, які можуть замінюватися в процесі експлуатації, проводити діагностику, самонавчання, а також розширення кола розв'язуваних задач. На базі виявлених ознак інтелектуальних датчиків СОН запропонована схема, яка дозволяє систематизувати взаємозв'язки представлених методів з розробкою конструктивних елементів цих приладів.

***Ключові слова***: датчики, системи орієнтації і навігації, інтелектуалізація.

## ВСТУП

Ціль роботи – аналіз і систематизація методів і технічних рішень по підвищенню інформаційних характеристик та функціональної стійкості приладів СОН на основі вибраних класифікаційних ознак. Проведений аналіз існуючих і розроблюваних методів і технічних рішень по інтелектуалізації приладів систем орієнтації і навігації дозволяє класифікувати основні ознаки таких приладів, розглянути різні поєднання вибраних методів і схем, з ціллю прискорення пошуку раціональних алгоритмічних і конструктивних рішень при розробці і виготовленню нових приладів , а також структурувати бази даних в системах автоматизованого комп'ютерного проектування і моделювання.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Питанням дослідження методів підвищення функціональних властивостей датчиків присвячено багато робіт. Досвід останніх років у розв'язуванні різних теоретичних задач і створенню практично діючих систем показує, що саме інтелектуальні технології – найбільш конструктивні і економічно виправдані при розробці сучасних автоматичних системах керування рухомими об'єктами.

Відмінністю такої технології від традиційної полягає в наданні їй нових можливостей в керуванні об'єктами в реальному часі на основі максимально повної інформації про стан самого датчика, об'єкту керування та умов експлуатації.

На вході практично любого датчика незалежно від його складності, як правило, знаходяться аналогові чутливі елементи, які на основі простих фізичних принципів перетворюють параметри процесу в електричний сигнал.

Аналоговим чутливим елементам притаманні загальні недоліки: шуми, недостатня кількість засобів автоматичної корекції, наявність однакових відгуків на різні фізичні впливи та інше.

Основний напрямок інтелектуалізації датчиків на першому етапі був пов'язаний з інтелектуалізацією електронної обробки сигналу, в той час як чутливий елемент суттєво не змінювався. Наступний етап інтелектуалізації був зв'язаний з інтеграцією чутливого елемента і мікроелектроніки. При цьому з'явилась можливість контролювати додаткові параметри чутливого елемента і контролювати його справність і достовірність вимірювань.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Сучасний вимірювач параметрів систем орієнтації і навігації розширює поняття «датчик» від поняття «чутливий елемент» до поняття «вимірювальна система», відображаючи процес інтелектуалізації сенсорів.

Такий датчик має багатоваріантну блочну структуру, основними блоками якої є чутливий елемент, що складається з первинних, вторинних і додаткових перетворювачів, аналогово–цифровий перетворювач, блок попередньої обробки сигналу та мікропроцесор. Ці датчики, як правило, є багатофункціональними приладами, які широко використовують можливості свого мікропроцесорного перетворювача для вдосконалення процесу вимірювання: підвищення точності та надійності, вибору діапазону, режиму функціювання та інше.

Можна виділити основні напрямки покращення функцій інтелектуальних датчиків СОН: інформаційний, конфігурування, форматування, самодіагностики та перетворення.

В багатьох випадках покращення цих функції датчиків СОН можуть бути покращені на основі використання додаткової інформації [3], [4],[6].

Використання надлишкових вимірювань для успішного інформаційного забезпечення датчиків рухомих об’єктів в теперішній час стає досить розповсюдженим. Для отримання надлишкової інформації часто використовують первинні датчики , які частково дублюють один одного, але при цьому використовують різні фізичні принципи вимірювання. Це дає можливість, на основі використання методу розрахунку сигналів корекції по моделям, компенсувати динамічну складову похибки в широкому діапазоні частот. В той же час в роботі [4] в якості джерела надлишкової інформації використовується вторинний перетворювач, а в роботі [3] – додатковий датчик.

В сучасних вимірювачах проблема розпізнавання раптових відмов чутливого елемента (діагностика) також може бути реалізована за допомого використання структурної надлишковості [1]. Сутність одного з методів полягає в дублюванні функції чутливого елемента і каналу обробки сигналу в одному чутливому елементі. При цьому виходять з очевидного факту, що одночасні відмова обох чутливих елементів при використанні приладів в допустимих експлуатаційних умовах є мало вірогідна. Вимірювання в такому датчику відбувається з періодичним переключенням з одного вимірювального каналу на інший. Результати кожної пари вимірювань в цих каналах порівнюється один з одним, і, якщо вони відрізняються більш допустимої норми, то датчик видає сигнал відмови.

Завдяки інтеграції блоків обробки сигналів з чутливим елементом з'явилась можливість не тільки зчитувати інформацію з чутливого елементу, але й конфігурувати його за допомогою блоку інтелектуальної обробки. Так, наприклад, комбінований датчик руху LSM6DS3 може проводити вимірювання в одній з трьох конфігурацій: активний тільки гіроскоп; активний тільки акселерометр, активні обидва датчика. При цьому акселерометр і гіроскоп можуть незалежно один від одного змінювати кожен свою конфігурацію для

роботи в чотирьох можливих режимах: живлення виключено, економічне живлення, стандартний режим роботи, швидкісний режим роботи .

У датчику передбачена також реконфігурація режимів роботи, які забезпечують реєстрацію зміни положення об'єкта у просторі по кутовим і лінійним координатам, вимірюванню лінійного прискорення , ударів та інше. Така зміна конфігурації відбувається на основі використання багатофункціонального складеного фільтру, описаного в роботі [2].

## ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовані сучасні датчики систем орієнтації і навігації. Результати аналізу дозволяють говорити про формування нового напрямку в розробці таких датчиків, а саме створенню інтелектуальних сенсорів. Ці датчики характеризуються наявністю нових функціональних можливостей, підвищеними показниками надійності і інформативності, вмінням адаптуватися до змін внутрішніх і зовнішніх умов.

Показано, що сучасні інтелектуальні датчики систем орієнтації і навігації набувають характер не просто інформаційних, а високоінтегрованих інформаційно – керуючих систем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лопатин С.С.. Интеллектуальные пьезоэлектрические датчики в системах управления технологическими процессами./ С. С. Лопатин, А. Е. Панич// Известия ТРТУ – 2007. - №2. – с. 162-177.

2. Алексеев В. Новые многофункциональные МЭМС – датчики движения производства STMicroelectronics.// Компоненты и технологи.- №11, 2015.- с. 7 – 10.

3. Мураховский С. А. Динамика наземного компенсационного маятникового гирокомпаса / С. А. Мураховский, Ю. Ф. Лазарев, П. С. Мироненко // Вісник Інженерної академії України.- 2010.- № 2. С. 125 – 130.

4. Люкшонков, Р.Г. Дифференциальный емкостной датчик перемещений с дополнительной информацией о зазоре / Р.Г. Люкшонков, Н.В. Моисеев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. - 2011. - №4. - С.67-72.

5. Храпов, Ф. И. К вопросу использования различных видов избыточности для оценки состояния измерительных систем с труднодоступными первичными измерительными преобразователями в процессе эксплуатации / Ф. И. Храпов //. Вестник метролога. – 2010. – № 3. – С. 11–15. 5.

6. Евстифеев, М.И. Вопросы обеспечения стойкости микромеханических гироскопов при механических воздействиях /М.И. Евстифеев, И.Б. Челпанов // Гироскопия и навигация. – 2013. – №1. – С.119-133.

***Наук. керівник – доц. Мироненко П. С.***

**УДК 681.200**

*М.С. Лещук, студентка групи ПГ-п61*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МІКРОМЕХАНІЧНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ

***Анотація.*** В статті наведений аналіз галузей, в яких застосовуються мікромеханічні та мікроелектромеханічні акселерометри, їхні переваги. Представлена діаграма обсягу продажу мікроелектромеханічних пристроїх та та прогноз на найближчі роки. Розглянуто широкий спектр застосування мікромеханічних акселерометрів.
***Ключові слова:*** акселерометр, мікромеханічний акселерометр, мікроелектромеханічні сенсори,

## ВСТУП

Розвиток сучасного приладобудування напряму залежить від розробки приладів, які характеризуються рядом властивостей, таких як: малі габарити, маса, енергоспоживання, собівартість. Цими властивостями володіють мікроелектромеханічні сенсори (МЕМС). Основними перевагами мікромеханічних датчиків є висока функціональність, мініатюрність, низька вартість, масовість.

## МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СЕНСОРИ

На основі МЕМС технологій створюють великий спектр пристроїв: МЕМС-генератори, радіочастотні МЕМС-перемикачі, мікродозатори, мікродисплеї, компаси, мікрофони, мікродатчик тиску (МДД), оптичні МЕМС-пристрої, магнітометри. Добре себе зарекомендували і активно використовувані в навігації мікромеханічні акселерометри і гіроскопи(ММГ), а також створені на їх основі комбіновані пристрої [1].

На рисунку 1 показані обсяги продажів МЕМС-пристроїв, починаючи з 2011 року, і частка кожного з приладів в загальній структурі. Так, згідно даними французької фірми YoleDevelopment, ринок МЕМС –пристроїв до 2020 року досягне 21млрд. дол., демонструючи щорічний зріст на 10-15%.

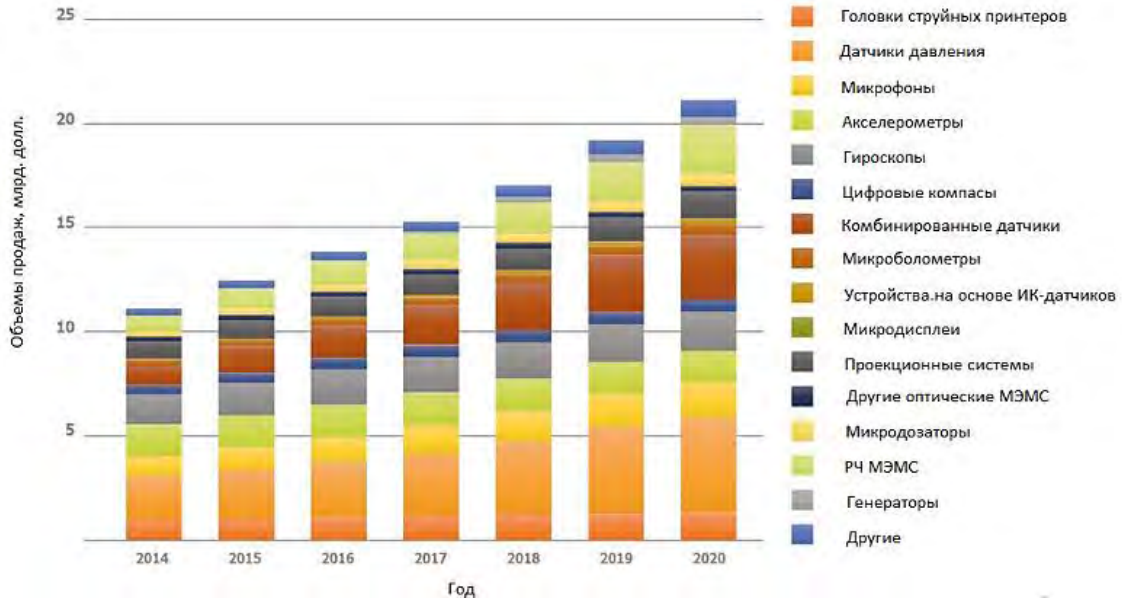



Рис. 1 Структура і об’єми продажу МЕМС-приладів

## ОБЛАСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХІВ АКСЕЛЕРОМЕТРИ

Мікромеханічні акселерометри мають широкий спектр застосування:

— автомобілебудування (забезпечення безпеки руху автомобіля);

— авіація, космічні апарати (вимірювання прискорення поступального руху в умовах невагомості в системах навігації і управління рухом космічних апаратів);

— військова галузь (розробка артилерійської зброї та боєприпасів);

— сільськогосподарська техніка;

— спостереження за сейсмічною активністю;

— вимірювання вібростійкості обладнання, робототехніка.

Акселерометри з малим діапазоном вимірювання використовуються для вимірювання кутів нахилу приладів, вихідний сигнал акселерометра пропорційний синусу кута нахилу по відношенню до горизонту [2].

Застосовувані при виробництві мікромеханічних акселерометрів технології сучасної твердотільної мікроелектроніки, а також використовувані матеріали дозволяють забезпечити малі габарити, вагу і енергоспоживання, високу надійність і стійкість до зовнішніх впливів, низьку вартість мікромеханічних датчиків. Технологічна сумісність механічної частини датчика і сервісної електроніки дозволяють створювати в єдиних технологічних процесах інтегральні модулі - чіпи-гіроскопи і акселерометри, а також збірки інерційних елементів об'ємом 0,5-10 см$^3$ із споживаною потужністю 0,5-1 Вт. Вибір кремнієвої технології визначається можливостями мікроелектронної промисловості, а також унікальними властивостями кремнію як конструкційного матеріалу.[3]

**Автомобільні системи.** Сучасні автомобільні системи потребують інтегрування в єдину систему багато пристроїв, зокрема, наприклад, МЕМС-акселерометрі і гіроскопів, які розміщають на друкованій платі в одному сенсорному блоці. Це забезпечує випуск недорогих багатофункціональних пристроїв у великих обсягах масового виробництва і сприяє розробці нових сенсорних систем автомобільної платформи на їх основі, ефективних в економічному плані [4].

Автомобільна сфера застосування акселерометрів сконцентрована в області систем безпеки, комфорту пасажирів, динамічного контролю руху автомобіля та включає наступні області завдань:

- виявлення аварії;
- активація систем безпеки і контроль розгортання подушок безпеки;
- детектування крену, бічних аварій і перекидань;
- аварійні випробування;
- адаптивний круїз-контроль, контроль зчеплення, контроль динамічної стабільності;
- контроль активної (або напівактивної) підвіски, системи транспортної навігації;
- контроль нерівності дороги.

**Спостереження за сейсмічною активністю**. Збільшення терміну служби будівельних споруд, а також підвищення умов безпеки життєдіяльності є на сьогоднішній день світовою тенденцією. У даному напрямку величезну роль грає розвиток систем безпеки і безперервного моніторингу будівель, мостів, залізничних колій. МЕМС–сейсмодатчики застосовуються за кордоном в якості систем охорони залізничного полотна. На заміну типовому патрулювання приходять інтелектуальні системи моніторингу. У разі спроби підкопати полотно і встановити там підривний заряд спрацьовує сигнал тривоги на пульті чергового[5].

**Авіація**. При виконанні літаками крутих віражів і фігур вищого пілотажу виникають відцентрові сили, що діють на всі частини літака. Ці сили залежать від кутової швидкості обертання літака. Відцентрову силу, що діє на будь-яку частину літака, можна скласти за правилом паралелограма з силою тяжіння. Відношення результуючої сили до сили тяжіння називається перевантаженням і характеризує збільшення напруги в матеріалі в порівнянні з нормальним польотом, коли діє тільки сила тяжіння. У цих задачах мікромеханічний акселерометр необхідний для визначення в польоті величини перевантаження уздовж вертикальної осі літака, що виникають при виконанні літаком еволюції[6].

## ВИСНОВКИ

Розглянуті в даній статті галузі та спектр застосування мікромеханічних акселерометрів показують доцільність виготовлення та використання даних пристроїв. Низька собівартість, невелике електроспоживання, малі габарити – властивості, які обумовлюють економічну доцільність виготовлення та щорічне зростання попиту на мікромеханічні пристрої.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. – М.: Техносфера, 2005.

2. Пешехонов В.Г. Ключевые задачи современной автономной навигации. – Гироскопия и навигация, 1996, № 1, с. 48–55.

3. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.

4. Применение акселерометров в системах пассивной безопасности автомобилей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-akselerometrov-v-sistemah-passivnoy-bezopasnosti-avtomobiley

5. Трёхосевой микромеханический акселерометр для систем мониторинга технического состояния сооружений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C111/058.pdf

6. Браславский Д. А., Логунов С. С. Приборы на самолете. — М.: Оборонгиз. Главная редакция авиационной литературы, 1947. — 524 с.

***Науковий керівник: к.т.н., доц. Лакоза С.Л.***

**УДК 621.372**

*М.О. Мартинюк, студент гр. ПГ-71мп, В.О. Аксініченко, ст. гр ПГ-81мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ДЕФОРМАЦІЇ

***Анотація.*** У даній роботі приведені способи виміру деформацій, проаналізовані датчики деформації, їх переваги та недоліки. З проведеного аналізу показано, що найбільш доцільним є використання волоконно-оптичного датчика.

***Ключові слова:*** датчик деформації, тензодатчик, волоконно-оптичний датчик, пневматичний датчик, п'єзоелектричний датчик, магнітопружний датчик.

## ВСТУП

У процесі контролю технічного стану конструкцій широко впроваджується моніторинг напружено-деформованого стану, який включає в себе оцінку деформації чи інших параметрів матеріалу, викликаних механічною напругою в об'єкті контролю.

Існують різні способи виміру деформації, які можна поділити на:

1. Оптичні. Засновані на вимірюванні малих зміщень поверхні, які реєструються, наприклад, інтерференційними методами, методами муарових візерунків та ін.

2. Пневматичні. Засновані на вимірюванні тиску стисненого повітря в соплі, що прилягає до поверхні досліджуваної деталі.

3. Акустичні. Засновані на вимірюванні змін акустичних параметрів матеріалу (швидкість звуку, акустичний опір, загасання) при дії навантажень. Ці зміни можуть бути виміряні п'єзоелектричними датчиками.

4. Електричні. Використовують зміну електричних параметрів матеріалу чутливого елементу тензодатчика при дії навантажень, як правило, зміни електричного опору або генеруючі напруги при деформаціях (п'єзоелектричні). Недолік останніх – непридатність для вимірювання статичних деформацій, але їм властива висока чутливість.

5. Рентгенівські. Засновані на вимірюванні міжатомних відстаней у кристалічній решітці матеріалу досліджуваного об'єкта [1].

## ВИДИ ДАТЧИКІВ ДЕФОРМАЦІЇ

Датчик деформації перетворює величину деформації в електричний сигнал. Його можна використовувати не тільки за прямим призначенням, але й для вимірювання різних параметрів, та у багатьох інших датчиках, як проміжний елемент [2].

Тензодатчик або тензорезистор. Основний первинний пристрій, який перетворює фізичну величину в нормований електричний сигнал. При розтязі або стиснені чутливих елементів тензорезистора змінюється їх довжина та поперечний переріз, що в свою чергу, збільшує та зменшує опір відповідно. Тензодатчик приведено на рис. 1 [3].

Рисунок 1. Тензодатчик

До основних переваг належать: сприйняття всіх деформацій зовнішнього волокна деталі, реагування на стиск або розтяг, невеликі розміри (безінерційні), можливе розміщення у важкодоступному місці, не спотворюють інформацію, сумісність з вимірами напруги. Маючи такі переваги, тензорезистори набули значного поширення.

До основних недоліків належать: втрата чутливості при критичних перепадах температури та мала зміна опору, через що, під час вимірювання, використовують вимірювальні схеми з високою чутливістю. Датчики можуть включатися в мостові та потенціометричні схеми для вимірювання різноманітних деформацій. При використанні тензодатчиків, можливо вимірювати як статичні, так і динамічні деформації [3].

Пневматичний або датчик тиску. Прилад складається з первинного перетворювача тиску, у склад якого входить чутливий елемент з приймачем тиску, схема вторинної обробки та пристрій виводу, розміщені у корпусі. В таких датчиках створене ними зусилля, яке в свою чергу, через передавальні механізми переходить в кутове або лінійне переміщення стрілки на шкалі приладу, або деформація пружних чутливих елементів визначає тиск. На рис. 2 зображено датчик тиску Сапфір-22МТ [4].

Рисунок 2. Датчик тиску Сапфір-22МТ

Основна відмінність даних датчиків є точність, з якою прилад реєструє тиск, яка залежить від принципу перетворення тиску в електричний сигнал [4].

П'єзоелектричний датчик. В основі його роботи стоїть п'єзоелектричний ефект. Коли до п'єзоелектрику прикладається механічне напруження, він поляризується в зазначеному напрямку, і між його гранями з'являється електрична різниця потенціалів. Величина механічної напруги, прикладеного до кристалу, прямо пов'язана з величиною його деформації, а, отже, і з різницею потенціалів між його гранями. Це дозволяє по виміряній величині напруги дізнатися величину діючої на п'єзокристал сили. П'єзоелектричний датчик використовується для виміру швидкозмінного тиску, якщо тиск змінюється не достатньо швидко, то зростає похибка перетворення через перехід електричного заряду з пластин до корпусу. Якщо п'єзоелектрик деформувати, і залишити його в цьому стані, то напруга між обкладками зменшиться через осідання на них іонів повітря і струму, що протік через систему реєстрації. Таким чином, при незмінній деформації п'єзоелектрика напруга між обкладками буде зменшуватися, поки не досягне

нуля. Тому п'єзодатчик (рис. 3) зручний у використанні тільки при вимірі відносно швидких деформацій [5].

Рисунок 3. П'єзоелектричний датчик

Високі динамічні характеристики та здатність сприймати коливання тиску з частотою від десятків Гц до десятків МГц – це

є основними перевагами п'єзоелектричних датчиків. Застосовуються при вимірах вібрацій і деформацій, а також тензометричних вимірах, у вагових і сортувальних (по вазі) пристроях, тощо [6].

Магнітопружний датчик або магнітострикційний датчик (рис. 4). Це прилад, що вимірює та перетворює механічні деформації або тиск в електричний сигнал. В основі роботи датчика є використання залежності магнітних характеристик таких матеріалів, як пермалой чи інвар, від їх механічної напруги. Такий датчик оптимально використовувати для виміру як постійних, так і швидкозмінних малих деформацій у твердих тілах, для виміру тиску рідин або газів, коли необхідна висока чутливість вимірів, але при втратах точності [6].

Рисунок 4. Магнітострикційний датчик з цифровим виходом [7]

Волоконно-оптичні датчики (рис. 5). Основний принцип роботи полягає в тому, що світло проходячи через оптичне волокно від лазера або суперлюмінесцентного оптичного джерела, зазнає слабких змін своїх параметрів у волокні чи в одній або декількох бреггівських решітках, які оцінюються в схемі детектування [9]. Основні властивості це вибухобезпечність, безіндукційність, еластичність, широкосмуговість, механічна міцність, відсутність взаємної інтерференції, висока електроізоляційна міцність та висока корозійна стійкість, до хімічних розчинників, мастил, води, малі втрати вимірювання, діаметр і маса. А також характеризуються високою точністю вимірювання, підходять для виміру статичних і динамічних напруг, не спотворюючи отримані дані, працюючи навіть в екстремальних умовах, а невеликі розміри дають змогу використовувати датчики практично в будь-яких вимірювальних пристроях, мають низьку собівартість в порівнянні з дорогими аналогами.

Рисунок 5. Волоконно-оптичний датчик [8]

До недоліків належить непрактичне застосування багатомодових оптичних волокон в когерентних лініях зв'язку, через невелику швидкість передачі інформації [6].

## ВИСНОВОК

Розглянувши вищезазначені види датчиків та їхні характеристики, можна зробити висновок, що волоконно-оптичні датчики мають найбільшу кількість переваг, можливість використання в різноманітних задачах, задовольняють критерій цінність-ефективність, володіючи оптимальним поєднанням характеристик.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мартинюк М. О. Вимірювання напружено-деформованого стану будівельних конструкцій / М. О. Мартинюк, Д. В. Шевчук // Нові напрямки розвитку приладобудування : 10-та Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів, 26-28 квітня 2017 р. : тези доповідей і виступів. – Мінськ : БНТУ, 2017. – С. 7-8.

2. Датчики деформації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studopedia.info/5-35478.html

3. Тензодатчик: опис, конструкція і принцип роботи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dovidkam.com/remont/elektrika/tenzodatchik-opis-instrukciya-i-princip-roboti.html

4. Датчик тиску. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://clc.am/wscrMA

5. П'єзодатчики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.heuristic.su/effects/catalog/tech/byId/description/729/index.html

6. Медичні датчики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfiles.net/preview/3904378/

7. Магнітострикційний датчик з цифровим виходом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://clc.am/ONSrNg

8. Волоконно-оптичні датчик . [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.directindustry.com.ru/prod/scaime/product-6999-749487.html

9. Волоконно-оптичні датчики . [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.laser-portal.ru/content_359

***Наук. керівник – к.т.н. Півторак Д.О.***

**УДК 681.5.08**

*Р.О. Римський, студент гр. ПГ-71мп, О.М. Павловський, к.т.н., доц.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ З БЕЗДРОТОВИМ ПІДКЛЮЧЕННЯМ

***Анотація.*** В статті показана можливість створення універсальної системи для збору інформації від навігаційних приладів, що використовує бездротовий інтерфейс зв'язку з використанням модулів Bluetooth. У системі використовується розроблений алгоритм розпізнавання підключених навігаційних приладів. Розпізнавання проводиться за трьома параметрами – пошук контрольного маркеру, визначення довжини пакету, та пошук службової інформації. Після ідентифікації параметрів, система приймає рішення про можливість ідентифікації підключених пристроїв. Програмне забезпечення із алгоритмом розпізнавання було створено на платформі LabVIEW компанії National Instruments, що дозволило реалізувати зручний та функціональний блок візуалізації даних, що автоматично підлаштовується під кожен підключений прилад.

***Ключові слова:*** Бездротове підключення, алгоритм розпізнавання приладів, навігаційні прилади.

## ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На підприємствах які розробляють різного роду апарати чи транспортні засоби, в яких використовують навігаційні системи різних видів та різних виробників, виникає проблема постійного визначення виду приладу, та використання необхідного для нього програмного забезпечення (ПЗ), яке у кожного виробника своє і несумісне між собою. Окрім того, більшість приладів використовують дротове з'єднання, оскільки в залежності від виробника інтерфейсні кабелі мають різні роз'єми і не являються універсальними, це призводить до їх скупчення що зменшує ефективність роботи з приладами.

Із розвитком сучасних мікроелектромеханічних систем, та розповсюдженням сфер застосування навігаційних датчиків, що пов'язані з стрімким прогресом техніки, використання дротового з'єднання стає недоцільним або дуже незручним. На його зміну приходять бездротові інтерфейси, такі як WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1) та ZigBee (IEEE 802.15.4). В залежності від швидкості передачі даних, об'єму інформації та відстані на яку необхідно її передати обирається один із зазначених інтерфейсів. Так для максимальної швидкості та дистанції передачі використовується IEEE 802.11, проте використання WiFi – інтерфейсних плат потребує відносно великих енергозатрат, що у більшості випадків не дозволяє його використовувати в автономному режимі. Оптимальним варіантом для передачі даних від навігаційних систем є Bluetooth інтерфейс, який поєднує в собі наступні характеристики: швидкість передачі даних – до 3 Мбіт/с; енергоспоживання – 30мА (15 для BLE версії) діапазон передачі – до 100 м [1].

Проте при великій кількості опитуваних навігаційних систем, різних виробників, передача даних від яких відбувається через бездротове з'єднання і використовується одне універсальне ПЗ, постає проблема розпізнавання пакету даних і відповідно класифікації підключеного пристрою.

Таким чином метою статті є розробка універсального алгоритму для класифікації пакету отриманої інформації від інерціальних вимірювальних модулів і визначення підключених пристроїв які не були попередньо ідентифіковані.

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ТА АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИЛАДІВ

Для отримання інформації від навігаційних приладів був реалізований вимірювальний канал, який складається із інтерфейсного кабелю на роз'ємах DE-9, конвертора рівнів RS232-TTL, двох спарених Bluetooth модулів та ПК.

Вимірювальний канал використовує інтерфейс обміну даними між двома пристроями, шляхом послідовної передачі даних по стандарту RS-232 або EIA232 [2]. В даному випадку цей інтерфейс можна підключити через роз'єм DE-9, який широко застосовується для підключення приладів до ПК [3]. Щоб підключити канал, до модуля бездротової передачі, було використано конвертер RS232-TTL побудований на мікросхемі MAX3232, ця інтегральна схема перетворює сигнали послідовного порту RS232, в сигнали які використовують в цифрових схемах на базі TTL технологій [4]. Для бездротової передачі було обрано Bluetooth модуль HC-05, який дозволяє налаштувати двосторонньо направлений радіозв'язок по протоколу Bluetooth, для передачі даних між різноманітними об'єктами [1]. Ще один такий модуль був підключений до ПК.

Для реалізації алгоритму розпізнавання, в першу чергу було визначено наступні критерії за якими можна відрізнити прилади маючи тільки їх вихідні дані.

Проаналізувавши вихідні сигнали навігаційних приладів різних виробників було визначено, що з потоку даних пакети виділяються за маркерами, зазвичай це 1 байт інформації на початку пакету. У кожної компанії свої маркери за якими відслідковуються пакети даних. Це первинна стадія ідентифікації, за якою можна визначити прилад якої компанії підключений в цей момент.

Наступним етапом є контроль отриманої інформації за довжиною пакету даних. Кожен прилад в залежності від формату видачі присилає пакети певної довжини і їх розмір майже завжди відрізняється. Таким чином ми визначаємо який прилад підключений до ПК.

В отриманих пакетах даних, декілька байтів містять службову інформацію [5], в якій може бути вказано тип пакету, його номер, розмір, формат, маршрут, та інше. За цією інформацією ми можемо додатково перевірити тип підключеного приладу.

Структуру роботи алгоритму представлено на рисунку 1. Розпізнавання підключеного приладу відбувається в 3 етапи. Спочатку визначаємо маркер пакету, завдяки якому з потоку даних виділяється пакет інформації. Потім порівнюється довжина пакету з тою, що міститься в базі даних і відповідає певним приладам, далі ідентифікується і розшифровується службова інформація.

При вдалій ідетнифікації приладу, якому належить отриманий пакет інформації, відбувається обробка пакету даних, та візуалізація отриманої інформації.

Для демонстрації роботи алгоритму було розроблено віртуальний прилад (ВП), на платформі графічного програмування LabVIEW. LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) – це середовище

розробки і платформа для виконання програм, створених графічною мовою програмування "G" фірми National Instruments (США). Мова програмування "G", що використовується в LabVIEW, заснована на архітектурі потоків даних. Послідовність виконання операторів у таких мовах визначається не порядком їхнього проходження (як у імперативних мовах програмування), а наявністю даних на входах цих операторів. Оператори, не зв'язані за даними, виконуються паралельно в довільному порядку.

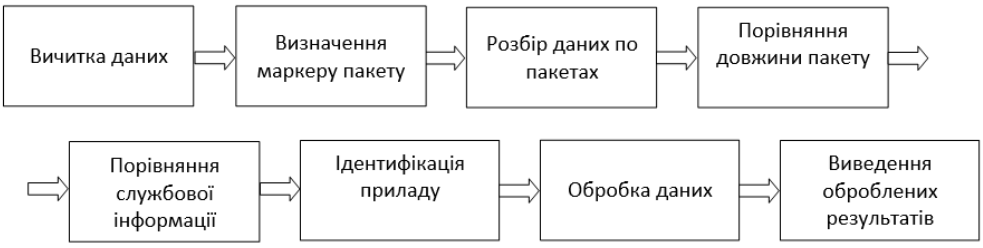



Рисунок 1. Структура роботи алгоритму

LabVIEW використовується в системах збору і обробки даних [6], а також для керування технічними об'єктами та технологічними процесами. Система близька до SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – систем, але на відміну від них більшою мірою орієнтована на рішення завдань не стільки в області автоматичних систем керування технологічними процесами (АСК ТП), скільки в області систем наукових досліджень (АСНД).

Система має ряд переваг [7], серед яких дружній графічний інтерфейс, широка взаємодія із зовнішніми пристроями, а також з найпоширенішими програмними додатками (пакет MS Office, Builder C/C++, MatLab та ін.). Також система має ряд спеціалізованих розширень призначених для рішення складних технічних завдань, у тому числі і завдань розпізнавання підключених приладів та обробки їх даних.

На рисунку 2. зображена фронтальна панель ВП в якому представлена візуалізація обчислених результатів та вид підключеного приладу.

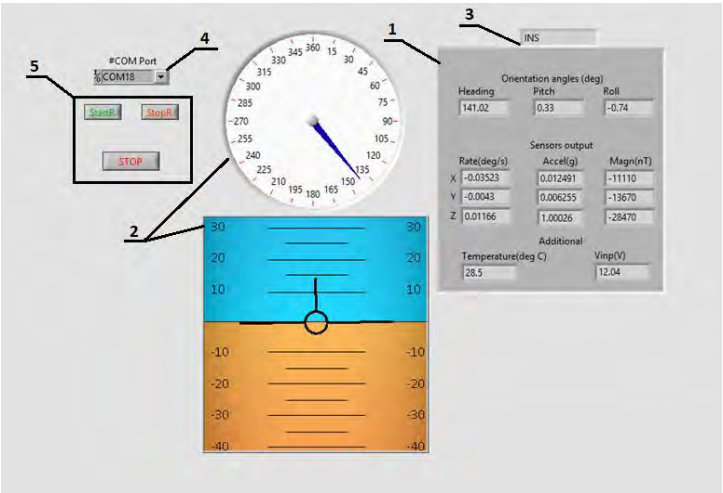



Рисунок 2. Фронтальна панель ВП

де: 1 – Блок індикаторів вихідних даних з приладу, цей блок змінюється в залежності від підключеного приладу; 2 – Датчики курсу крену та тангажу;

3 – Індикатор що виводить назву підключеного приладу; 4 – Панель вибору номера порту до якого підключений спарений модуль бездротової передачі; 5 – Кнопки керування програмою.

Дане ПЗ було розроблено для приладів компанії Inertial Labs, які було взято для експериментів. Проведені дослідження показали що розроблений алгоритм розпізнає підключені прилади та коректно обробляє їх дані.

Проте недоліком такої системи є необхідність створення бази даних з інформацією про маркери пакетів, можливі формати видачі даних з приладів, довжини пакетів і службову інформацію для різних виробників. Також необхідно мати опис структури пакетів для їх подальшої обробки.

## ВИСНОВКИ

В роботі було розроблено алгоритм розпізнавання отриманих пакетів даних для ідентифікації підключених приладів, який дозволив створити універсальне програмне забезпечення для підключення навігаційних приладів різних виробників.

Для підтвердження працездатності та ефективності розробленого алгоритму був створений ВП в середовищі графічного програмування LabVIEW. Дослідження були проведені на приладах компанії Inertial Labs, які показали ефективність розпізнавання та коректність обробки отриманих даних.

Цей проект дозволив звільнитись від кабелів, та зробити універсальну систему яка зможе бути підключена до різних приладів і автоматично обробляти їх дані. Таке рішення в подальшому може призвести до глобальної стандартизації даних та розробки загального ПЗ для різних виробників, що буде економічно вигідно та зручно у використанні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Модуль Bluetooth HC-05 // Arduino Kit. URL: https://arduino-kit.ru/product/modul-bluetooth-hc-05 (дата звернення: 11.11.2018).

2. Интерфейс RS-232 (COM-порт) // Студия Дениса Волкова. URL: http://www.denvo.ru/pub/hardware/rs-232.html (дата звернення: 11.11.2018).

3. D-subminiature // Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/D-subminiature (дата звернення: 11.11.2018).

4. MAX3232 3-V to 5.5-V Multichannel RS-232 Line Driver/Receiver datasheet // Texas Instruments URL: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max3232.pdf (дата звернення: 11.11.2018).

5. Назначение пакетов и их структура // Информатика, информационные технологии URL: http://csaa.ru/naznachenie-paketov-i-ih-struktura (дата звернення: 11.11.2018).

6. Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П. LabVIEW для новичков и специалистов. М.– Горячая линия-Телеком, 2003. – 384 с.

7. Тревис Дж. LabVIEW для всех. – ДМК Пресс: Приборкомплект, 2004. – 544 с.

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

**УДК 658.51**

*Д.О. Тросковець, студент гр. ПГ-71мп*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СЛІДКУЮЧИХ КООРДИНАТОРІВ

***Анотація.*** У роботі було розглянуто основні види та принципи роботи слідкуючих координаторів цілі. Таких як, оптико-електронний та радіотехнічний. Було наведено головні характеристики і параметри, класифікації існуючих координаторів. Показано, що розвиток таких систем пов’язано з тим, що в слідкуючому координаторі підвищують точність вимірювання кутової швидкості обертання в просторі вектора дальності об'єкта до цілі при забезпеченні великої дальності дії координатора, удосконалюють систему перешкодозахищеності, а також збільшують нахил оптичної осі на більші кути пеленгу.

***Ключові слова:*** слідкуючий координатор, оптико-електронний , радіотехнічний.

## ВСТУП

Слідкуюча система - автоматична система, завдання якої полягає в зміні керованої величини відповідно до зазделегідь невідомої функції часу, що визначається задаючим впливом. Існує декілька типів таких систем і в цій роботі буде розглянуто системи зі слідкуючими координаторами. Координаторами називають пристрої, що служать для автоматичного безперервного або дискретного визначення кута (кута неузгодженості) між заданою віссю і напрямком на нерухомий або об'єкт, що рухається.

Останнім часом у зв'язку з розвитком технологій з'явилися нові типи слідкуючих систем - оптико-електронні. Оптико-електронні системи (ОЕС) досить таки швидко знайшли застосування в різних областях життєдіяльності людини. Крім ОЕКЦ існують також радіотехнічні координатори (РТК). Саме РТК забезпечує вироблення сигналів управління антеною та вимір координат цілі. РТК по більшості своїй застосовуються на радіолокаційних станціях (РЛС).

У пропонованій роботі розглянуто класифікацію існуючих координаторів, принцип побудови і вирішувані задачі.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Розробкам систем самонаведення і їх підсистем присвячено багато праць, в числі яких книги, статті, патенти і т.д. Наприклад, винаходи які стосуються слідкуючих координаторів, а це в більшості своїй системи самонаведення, мають одне і те ж призначення, спрямоване на отримання одного і того самого технічного результату принципово одним і тим же шляхом, але різними технічними засобами. Розробки, які відносяться до області оптичного приладобудування знаходять застосування в оптико-електронних приладах, наприклад, в інфрачервоних голівках самонаведення керованих ракет. Приклад цьому запатентований винахід, який стосується оптико-електронного слідкуючого координатора [1]. У число основних завдань, що стоять перед розробками оптико-електронного слідкуючого координатора (ОЕСК), входять:

- забезпечення перешкодозахищеності від помилкових теплових цілей;
- висока точність стабілізації оптичної осі, що суміщається з лінією візування джерела;
- можливість відхилення оптичної осі на великі кути пеленга.

Завдання, яке вирішується кожним з винаходів групи, полягає в здатності ОЕСК здійснювати вибір і автосупровід повітряної цілі при наявності в полі зору пристрої перешкоджаючих джерел оптичного випромінювання, а також в забезпеченні можливості відхилення оптичної осі на великі кути пеленга.

Більшість з досліджуваних мною винаходів відносяться до слідкуючих гіроскопічних координаторів цілі систем самонаведення керованих об'єктів і можуть бути використані при створенні нових і модернізації існуючих систем наведення керованих об'єктів. Таким прикладом є винахід «Слідкуючий координатор цілі» [2]. У даній роботі досліджуються відразу два слідкуючих координатора, оптичний і радіотехнічний. Даний винахід призначений для підвищення точності вимірювання кутової швидкості обертання в просторі вектора дальності об'єкта до мети при забезпеченні великої дальності дії координатора .

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Слідкуючі системи представляють собою замкнуті автоматичні системи, в яких вихідна величина відтворює з певною точністю вхідну величину, довільно змінюється в часі.

Слідкуючі системи з оптико-електронними координаторами (або як їх іноді називають «слідкуючі системи з оптичними зв'язками») широко застосовують в приладобудуванні, вимірювальної техніки, астрономії і космічній техніці. Вони відрізняються високою точністю і при роботі не навантажують регульовані об'єкти додатковими силами і моментами. Дія ОЕК грунтується на відмінності в параметрах власного або відбитого випромінювання об'єкта і навколишнього його фону. Кут неузгодженості і його і його складові в двох взаємно перпендикулярних площинах управління визначаються по положенню зображення об'єкта у фокальній площині оптичної системи.

Оптико-електронні координатори складаються з елементів (які виконують певні функції), основними з яких є [3]:

-оптична система, яка збирає потік випромінювання об'єкта і концентрує його на чутливий елемент потоку випромінювання;

-приймач випромінювання, що перетворює приходить до нього енергію оптичного випромінювання в електричний струм;

-оптичний фільтр, що послабляє випромінювання фону;

-аналізірующій елемент, службовець для аналізу картинній площині і визначення координат зображення об'єкта;

-підсилювач фотоструму, з пристроями для автоматичного регулювання посилення;

Крім ОЕКЦ існують також радіотехнічні координатори (РТК). Саме РТК забезпечує вироблення сигналів управління антеною та вимір координат цілі. РТК по більшості своїй застосовуються на радіолокаційних станціях (РЛС). РЛС вирішує завдання супроводу цілі, яка досягається за рахунок визначення координат положення цілі в просторі і видачі сигналів управління на

переміщення антени, тим самим забезпечуючи постійне відстежування положення цілі в мінливу повітряну обстановку.

Радіотехнічні координатори - це пристрої, що забезпечують безперервне і точне вимірювання координат цілі (наприклад ракети) і параметрів їх руху в заданій вимірювальної системі координат і є невід'ємним елементом побудови радіолокаційних станцій огляду та супроводу. Для вирішення завдання виявлення і супроводу цілей в радіотехнічних координаторах використовується ряд радіотехнічних пристроїв (систем) працюють в комплексі і тісно взаємопов'язаних між собою.

Вимірювання координат цілі здійснюється в системі координат пов'язаній координатором. Як приклад на рисунку 1 наведено систему координат [4] пов’язану з координатором. Вважаємо, що початок цієї системи збігається з антеною координатора, при цьому, як уже зазначалося, вісь координатора може і не збігатися з віссю антени. Напрямок ОЦ відповідає дальності до цілі $r_ц$ , а кутові координати вимірюються або в полярній, або декартовій системі координат.

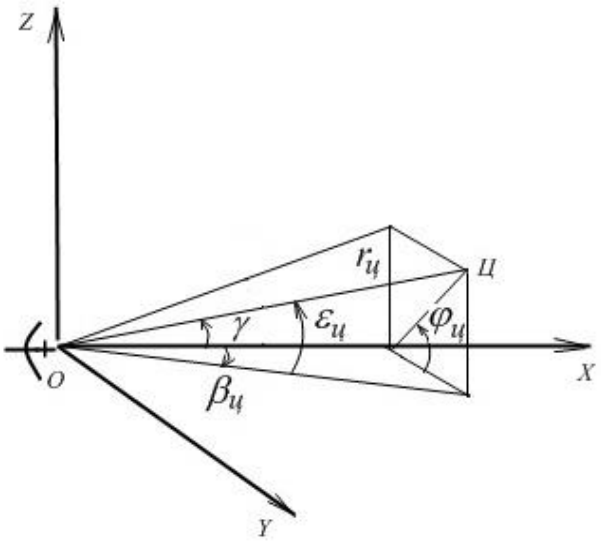



Рисунок 1. Система координат, яка зв’язана з антеною координатора

В полярній системі координат вимірюються кути: $\gamma$ - кут між площиною XOY і XOЦ; $\varphi_ц$ - фазовий кут, кут між площинами XOУ і XOЦ.

У декартовій системі координат вимірюються кути: $\beta_ц$ - азимут, $\varepsilon_ц$ кут місця.

В реальних системах практично всі елементи слідкуючого координатора мають статичні характеристики, відмінні від лінійних залежностей. Найбільш поширенними нелінійними характеристиками в таких системах є нелінійності типу «зона нечутливості» та «зона нечутливості з насиченням». Такі нелінійності негативно впливають на точність системи керування, зменшують запаси стійкості, ускладнюють синтез та аналіз слідкуючих координаторів. Для зменшення негативного впливу таких нелінійностей, або для її усунення можна застосувати цифровий регулятор на основі нечіткої логіки.

Використання цифрового нечіткого (працюючого на базі нечіткої логіки) регулятора вимагає додаткового включення в структурну схему слідкуючого координатора аналого-цифрового і цифроаналогового перетворювачів. Для такого координатора в літературі [5] пропонується використання алгоритмів керування на основі нечіткої логіки. Застосування регулятора на основі нечіткої логіки дозволяє отримати високу якість автоматичного керування за умови простоти реалізації і налаштування регулятора. Тому застосування таких регуляторів в системах слідкуючих координаторів є доцільним.

## ВИСНОВКИ

У роботі було проведено огляд існуючих сучасних слідкуючих координаторів, таких як оптико-електронний та радіотехнічний. Наведено перелік запатентованих робіт в яких слідкуючі координатори піддалися вдосконаленню. Показано, що для вдосконалення слідкуючого координатора можуть застосовуватись регулятори на основі нечіткої логіки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пат. 2042101 Российская федерация, МПК F41G7/00. Следящий координатор цели / В.Г. Григорьев, Д.В. Григорьев. - №93026340/09; заявл. 07.05.1993, опубл. 20.08.1995.

2. Пат. 2395108 Российская федерация, МПК G02B26/10. Оптико-электронный следящий координатор (варианты) / В.И. Вольнов, Г.В. Родин, Г.С. Морозов, В.В. Медведев, Л.Н. Рисунов; патентообладатель(и): Федеральное государственное унитарное предприятие "Производственное объединение "Уральский оптико-механический завод" имени Э.С. Яламова" (RU); заявка: 2008135849/28, 04.09.2008, опубл. 20.07.2010.

3. Криксунов Л. З. Следящие системы с оптико-электронными координаторами / Л. З. Криксунов., 1991. – 156 с.

4. Кравченко В. И. Радиотехнические координаторы – как элемент построения РЛС [Електронний ресурс] / В. И. Кравченко. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://mirznanii.com/a/122234/radiotekhnicheskie-koordinatory-kak-element-postroeniya-rls

5. Гостев В. И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.:Радіоаматор, 2003. – 510 с.

***Наук. керівник - д.т.н., проф. Бурау Н.І.***

**УДК 681.586**

*В.М. Шелевер, студент гр. ПГ-71мп, В.В. Аврутов, к.т.н., доц.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ ШТУЧНОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ

***Анотація:*** Компенсація температурних дрейфів ММГ є актуальною темою дослідження, оскільки від цього залежить його точність. Враховуючи нелінійну залежність зміщення нульового сигналу ММГ від температури середовища виникає необхідність врахування температурних похибок. В роботі розглянуто застосування ШНМ для компенсації температурного дрейфу ММГ, наведено модель алгоритму та результати експериментального порівняння з методом апроксимації поліномом.

***Ключові слова:*** Штучна нейронна мережа; мікромеханічний гіроскоп; температурний дрейф.

## ВСТУП

Проведений аналіз публікацій в області сучасних датчиків кутової швидкості дозволяє стверджувати, що важливими причинами, які впливають на точність мікромеханічних гіроскопів (ММГ), є технологічні недосконалості виготовлення датчиків, механічні та температурні впливи, що мають складний детерміновано-випадковий характер, наявність рухомої основи, а також взаємодія і взаємовплив цих факторів [1]. Це викликає дрейф нульового сигналу ММГ, який найбільше залежить від температури середовища. На практиці для його нівелювання застосовують алгоритмічну термокомпенсацію, яка полягає у програмному врахуванні температурних похибок. Існує багато методів термокомпенсації, а саме: апроксимація температурних залежностей поліномом, методи інтерполяції, застосування різноманітних фільтрів, та принципово новий метод – застосування штучних нейронних мереж (ШНМ).

## МОДЕЛЬ АЛГОРИТМУ

Для моделювання нелінійного зв’язку між зміщенням нульового сигналу ММГ та його температурою пропонується алгоритм на основі ШНМ, які широко застосовуються для встановлення аналітичних залежностей.

В роботі розглядаються ШНМ прямого поширення сигналу двох типів: зворотного поширення помилки (ЗПП) та радіальних базисних функцій (РБФ).

Назва мереж вказує на те, що в них існує виділений напрям поширення сигналів, які рухаються, починаючи з входу, через один або декілька прихованих шарів до вихідного шару [2].

Вирішення конкретної задачі нейромережевим методом включає декілька основних етапів: збір і підготовка даних, створення ШНМ, її навчання та моделювання (використання ШНМ для поставленої задачі).

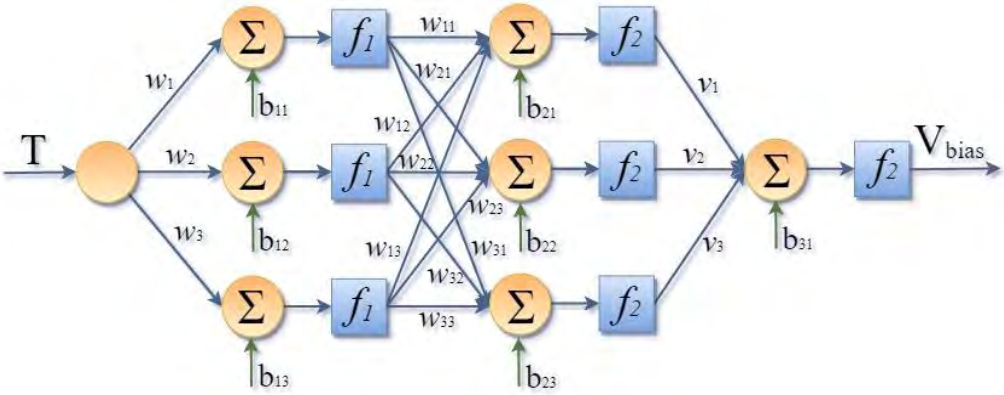
Пари “температура-зміщення нуля”, отримані в результаті температурного калібрування датчика, використовуються для навчання ШНМ, в процесі якого визначаються вагові коефіцієнти (синаптичні ваги) нейронів.

По завершенню процесу навчання ШНМ повинна коректно перетворювати вхідне значення поточної температури датчика у відповідне вихідне значення зміщення нульового сигналу, яке необхідно вирахувати з фактичного вихідного сигналу ММГ, причому це перетворення задається значеннями ваг мережі. Таким чином здійснюється компенсація температурного дрейфу ММГ.

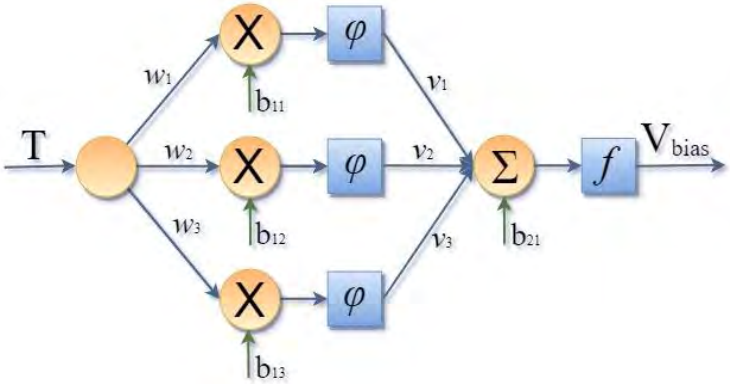
ШНМ зворотного поширення помилки складається з трьох шарів нейронів – вхідного, прихованого та вихідного. Необхідна кількість нейронів в прихованому шарі обиралась згідно рекомендацій [3-4], які базуються на теоремі Колмогорова та Хехт-Нільсона про представлення функцій. Передавальні (активаційні) функції та гіперпараметри (параметри навчання) ШНМ підбиралися експериментальним шляхом.

Нейронна мережа радіальних базисних функцій містить у найбільш простій формі три шари [5]: вхідний шар, що виконує розподіл даних зразка для першого шару ваг; шар прихованих нейронів з радіально симетричними передавальними функціями, кожен з яких призначений для зберігання окремого еталонного вектора у вигляді вектора ваг, вихідний шар.

Архітектури ШНМ представлені на рисунку 1.




а)




б)

Рисунок 1. Архітектура ШНМ: а) зворотного поширення помилки; б) радіальних базисних функцій

де: T – поточна температура термодатчика; $V_{bias}$ – розраховане зміщення нульового сигналу ММГ; $w_i$ – синаптичні ваги $i$-го нейрона; $v_i$ – синаптичні ваги вихідного нейрона; $b_i$ – нейрон зміщення; $f_1$ – логістична передавальна функція; $f, f_2$ – лінійні передавальні функції; $\varphi$ – радіальна базисна функція.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В експериментальних дослідженнях використовувався одновісний ДКШ компанії Systron Donner моделі LCG50-00500-100. Після процедури калібрування датчика на обертальному стенді при температурах -20, +25, та +50

°С, було отримано необхідну вибірку даних для навчання ШНМ. Для перевірки алгоритму компенсації на всьому температурному діапазоні виконаний прохід в кліматичній камері по заданому профілю в діапазоні температур -20…+50 °С. Вихідний сигнал термодатчика ММГ наведено на рисунку 2.

Рисунок 2. Вихідний сигнал термодатчика ММГ

Для дослідження ефективності застосування алгоритмів ШНМ, було проведено компенсацію температурних похибок ММГ різними методами. Моделювання алгоритмів проводилося у Neural Network Toolbox програмного середовища MATLAB. Результати компенсації температурного дрейфу ММГ наведено на рисунку 3.

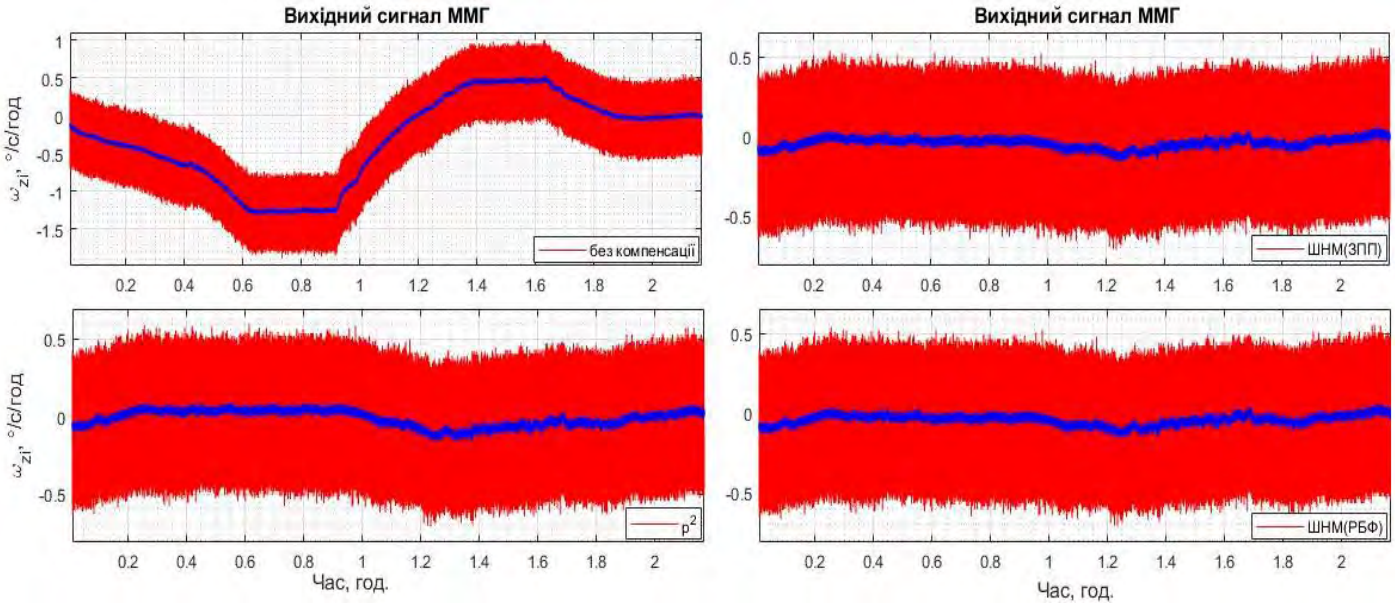



Рисунок 3. Результати компенсації температурного дрейфу ММГ

де: $p^2$ – апроксимація температурних залежностей поліномом другого порядку; ШНМ(ЗПП) – компенсація ШНМ зворотного поширення помилки; ШНМ(РБФ) – компенсація ШНМ радіальних базисних функцій.

Кількісні показники ефективності алгоритмів наведено в таблиці 1

Таблиця1. Значення СКВ та амплітуди дрейфів до та після компенсації

| *Алгоритм компенсації* | *СКВ, °/год* | *Амплітуда, °/год* |
|---|---|---|
| Без компенсації | 0.572 | 1.008 |
| Апроксимація поліномом | 0.052 | 0.149 |
| ШНМ ЗПП | 0.032 | 0.112 |
| ШНМ РБФ | 0.031 | 0.109 |

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто алгоритм термокомпенсації дрейфу ММГ на основі ШНМ. Експериментальне порівняння з традиційним методом апроксимації поліномом показали незначне покращення точності, зменшивши СКВ та амплітуди дрейфів. Для підвищення стабільності нульового сигналу зазвичай збільшують вибірку температур калібрування, при цьому підвищуючи порядок апроксимуючого поліному, проте у випадку використання ШНМ ускладнювати архітектуру немає необхідності. Крім того, алгоритми ШНМ показав більшу стійкість до шумів вхідного сигналу. Порівнюючи ж різні архітектури ШНМ можна зробити висновок, що для апроксимації краще підходять ШНМ радіальних базисних функцій, оскільки вони моделюють довільну нелінійну функцію за допомогою всього одного проміжного шару, тим самим, позбавляючи розробника від необхідності вирішувати питання про кількість шарів. По-друге їх алгоритм навчання позбавлений вірогідності попадання в локальні мінімуми, тим самим пришвидшуючи процес навчання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барулина М. А. Температурные и технологические погрешности микромеханических гироскопов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: спец. 05.11.03 / Барулина Марина Александровна; [Сарат. гос. техн. ун-т]. - Саратов: 2004. - 19, [1] с.

2. М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту математики НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.

3. Rita Fontanella, Domenico Accardo, Rosario Schiano Lo Moriello, Leopoldo Angrisani, Domenico De Simone, “MEMS Gyros Temperature Calibration through Artificial Neural Networks”, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 279, pp. 553-565, 15 August 2018.

4. Книга Kevin Swingler "Applying Neural Networks. A practical Guide" (перевод Ю.П.Маслобоева). Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book4/3_2.php — 2001–2014 г.

5. Golrokh Araghi, René Jr Landry, “Temperature compensation model of MEMS inertial sensors based on neural network”, 2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 301-309, 2018.

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

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

**UDC 628.9:519.6**

*Averin D.; Borovytsky V., Dr.Tech.Sc, professor*
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

# MEASURRING LEDS INDICATRISSE

***Annotation.*** This paper describes one of the cheap and simple methods for determining the shape and orientation of the indicatrix of LEDs. Also, the article presents the results of experiments on the measurement of LED indicatrices.

***Key words :*** LED, indicatrices, measurement.

## INTRODUCTION

For many systems, it is necessary to provide a given indicatrix. But in most cases, the LEDs differ from the matting parameters both in the orientation of the indicatrix and in its form. Therefore, it is necessary to have the means to quickly and cheaply measure the indicatrix. The purpose of this work is to create a device and software to automatically determine the indicatrix of the LED.

## KNOWN METHODS

The most common method of measuring the indicatrix is the goniometric method. The method is based on step-by-step fixation of the values of the light intensity of the LED when it is rotated at a known angle. The instruments used for this purpose are a goniometer with a sufficient angular resolution and a photometric head with a known conversion factor. Reducing the measurement error and obtaining the most reliable angular distribution is possible with the minimum step of the angle of rotation of the LED relative to the photometer (or vice versa). Modern goniophotometric installations have a step of several angular minutes. [1]

Although this method is accurate, it can take a lot of time.

VISHAY uses the following method: an external swivel bracket with an angular scale is installed to measure the LED. After measuring the axial light intensity (angle setting 0 °), the installation is rotated left and right until the light intensity values fall to half this basic value. Then two angles of semi-intensity can be read from the angle scale. For fast automatic measurement, a photodiode array can be used; It is located in a circular shape around the LED for measurement. Then evaluate the data using a microcomputer. It should be noted that the measurement of the breakdown voltage, if it is performed without special attention, can lead to the destruction of the device under test. Only a precision current source will be fast enough to provide a constant current in the LED without spikes. DC voltage sources in current limiting mode are not applicable at all. AllnGaP LEDs in particular are susceptible to destruction. Therefore, the matching voltage of the current source should be limited to a maximum of 10 V. If the actual value of the breakdown voltage is of little interest, it is recommended to measure the reverse current at a fixed reverse voltage. On the other hand, it is rather difficult to get stable readings with standard test equipment, because the reverse current values of LEDs usually lie in the range of nanoamp or even picoamp. [2]

This method is faster, but if more than 100 diodes are to be measured then it will take a lot of time.

## DESCRIPTION OF THE PROPOSED METHOD

The essence of the method is shown in Fig.1.

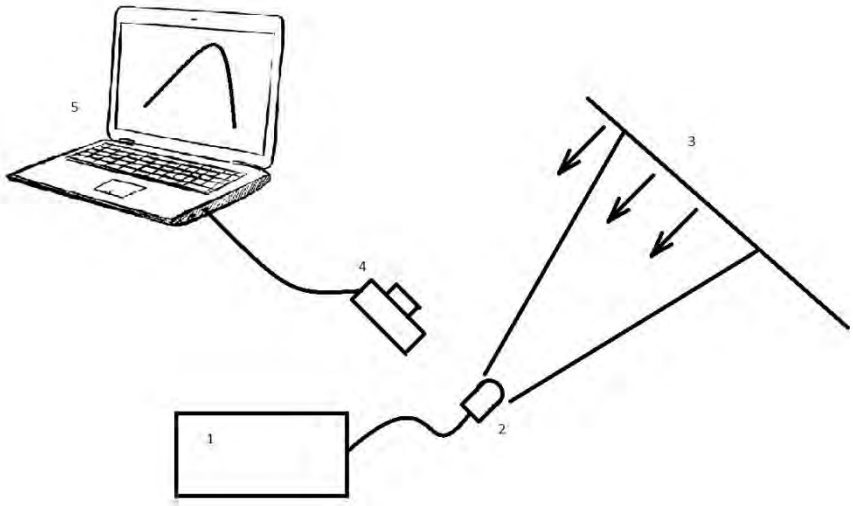



Fig. 1 - Functional scheme of the method

The method is based on the fact that the diode (2) is fixed motion at a certain distance (d) from the screen (3). A diode supplies a current of a certain voltage and power from the power supply unit (1), which is also a control unit for changing the current or voltage. A light propagation image appears on the screen. This image is recorded by the camera (4) and fed to the PC (5) where it is processed. On the PC, the indicatrix image is displayed. Next you need to compare the received indicatrix with the deducted. To do this, use the light dependence formula (E):

$$E = \frac{I * (\cos(\theta))^{g+2}}{d} \qquad (1)$$

where I – is the intensity normal to the source itself and m > 0.

## EXPERIMENTAL PART

The experiment used was the installation shown in Fig. 2.

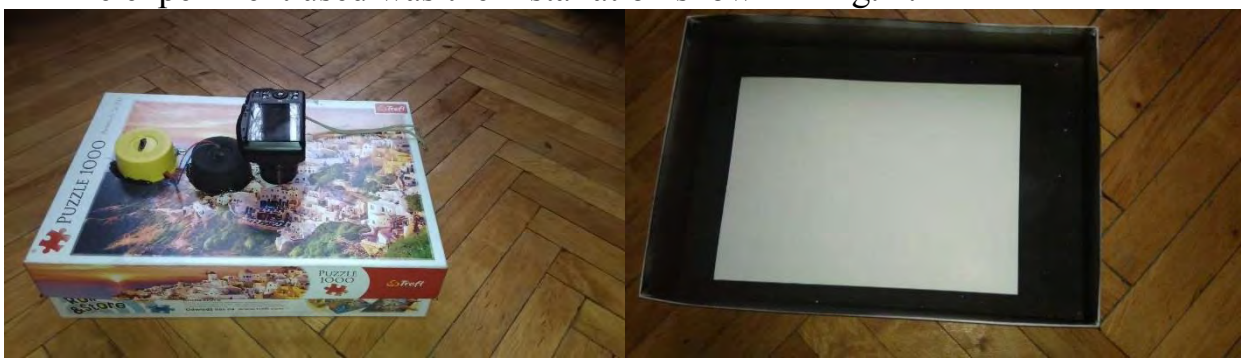



Fig.2 - Experimental installation

As test object diode TSAL6100 was used.

By inserting a test object, a photo with radiation propagation was received. Next, with Matlab, we obtained graphs of illumination of pixels, which is indicative radiation of a light-emitting diode, and comparison of this distribution with the graph

obtained from the formula (1). The fig.3 shows the original image. The results are shown in Fig.4.

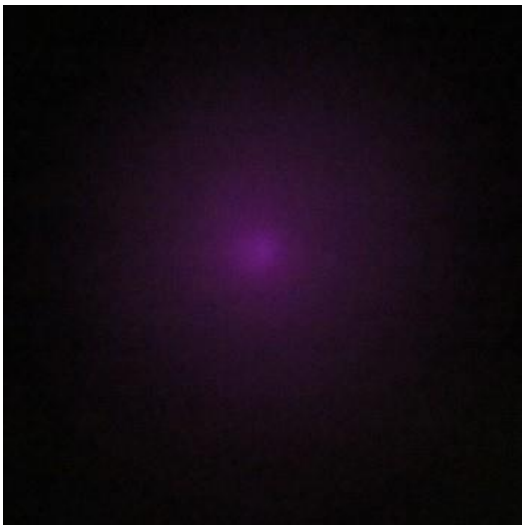


Fig.3 – Original image

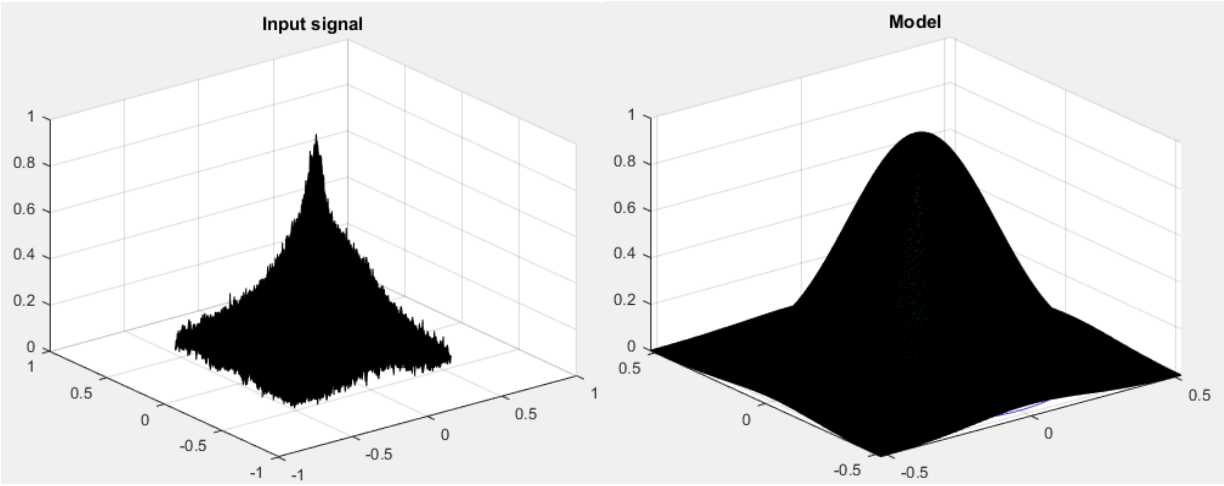



Fig.4 – Results

**CONCLUSION**

The presented method, though not highly accurate, can be used to quickly check the indicatrix of LEDs and make a decision whether this LED is suitable or not.

**REFERENCES**

1. В.М. Новиков, С.С. Шибаев Методические указания к лабораторной работе «Измерение индикатрис излучения светодиодов» по дисциплине «Источники и приемники излучения». – Таганрог: Изд-во Технологического ин-та ЮФУ, 2007. – 12с.

2. Measuring Technique VISHAY [Electronic resource] - Access mode: https://www.vishay.com/docs/led_measure.pdf

3. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электрронных приборов. Учебник /Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2004. – 472 с.

Scientific director– Dr.Tech.Sc, professor Borovytsky V.

UDC 004.932.2

*I.I. Avdeionok, student gr. PI-51o.Ph.D., prof. Borovitsky V.M.*
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

# MTF MEASUREMENTS

***Annotation*** This article describes the importance of the MTF, its methods of measurement, as well as the benefits of measuring by the method of tilting the edge.

***Keywords:*** Measuring technology, slanted edge technique, MTF

## INTRODUCTION

A universal characteristic of the quality of image is an optical transfer function, which includes 2 components:

-modulation transfer function (MTF)

-phase transfer function

These characteristics describe the mathematical equation. It shows the dependence of the luminance in the image plane and in the object plane.

$$E(x',y') = \pi\tau \cdot \sin^2 U \iint_{-\infty}^{\infty} A(x'-x_1', y'-y_1') \cdot L\left(\frac{x_1'}{\beta}, \frac{y_1'}{\beta}\right) dx_1' dy_1'$$

where $E(x',y')$ - a function that characterizes the distribution of illumination in the image plane near the point with the coordinates $x', y'$;

$\tau$ - optical transmittance;

$U$ - aperture angle of the optical system in the image plane;

$A(x'-x_1')(y'-y_1')$ - optical scattering function;

$x_1'$, $y'$ - variable coordinates near the point with coordinates $x', y'$;

$L\left(\frac{x_1'}{\beta}, \frac{y_1'}{\beta}\right)$ - a function that characterizes the brightness in the plane of the object at a point with coordinates $\frac{x_1'}{\beta}$ i $\frac{y_1'}{\beta}$ ;

$\beta$ - optical axis magnification.

OPF is a universal criterion that fully characterizes the quality of the optical system. It shows how the OS plays different spatial frequencies.

Formally, the optical transfer function can be obtained from the equation of the process of obtaining the image recorded in the frequency formula. Mathematically, OPF is the result of the Fourier transform of the scattering function.

$$\widetilde{A}(\nu_x', \nu_y') = \iint_{-\infty}^{\infty} A(x',y') \cdot e^{-j \cdot 2\pi(\nu_x' \cdot x' + \nu_y' \cdot y')} dx' dy'$$

*Advantages of using MTF*:

First, quite often optical systems in which numerous components are used (lenses, films, etc.) have an MTF system equal to the MTF product of individual nodes. That allows you to test in the process of mounting the node.

Secondly, the MTF can be specified at one wavelength or in the wavelength range.

Thirdly, testing of MTF is objective and universal. The engineer is not required to judge the contrast, resolution or image quality.[1]

## MEASURING TECHNOLOGY OF ITF

*Frequency generation methods*

In this method, the operator measures the padding directly. The object of the study consists of templates that have one spatial frequency and are displayed by the object under test. Various mechanisms have been developed that allow you to change the frequency of the source when the image contrast is constantly measured. As one of the example, a rotating radial lattice with a slit hole is used as an object. A pinhole is placed in the focal plane of the lens and the light passing through it is monitored with a detector.

When this grid rotates, black and white stripes are displaced through the hole. Spatial lattices can be changed by moving the lattice relative to the slit. The detector output is synchronized to the rotation and is a direct measure of the MTF at the radial grating spatial frequency and its harmonics.

The advantage of this method is to measure the output directly. The disadvantage of this system is that it is necessary to simultaneously manipulate the source and the detectors.[1]

*Scan method*

The principles of linear systems theory are used for scanning systems. MTF is combed out from the image by the created lens with the specified input. The image of an infinitely small source will be blurred. Because the speaker output with a single audio input frequency will be tonal. The frequency response of the objective correlates with the quality of the blur. The qualities of the blur similarly indicate the frequency response of the lens.

LSF is typically created by scanning the edge of an image of a pinhole with mechanical dimming. Next, differentiate the output that can be created using the slit sources by moving the hole or the slit. Sagittal and tangential orientation is determined by the vertical and horizontal orientation of the knife. The image is scanned horizontally and vertically when the edge of the knife has a right angle and passes diagonally through the image. Fourier transform LSF is a one-dimensional MTF. Computer algorithms can quickly correct MTF data for a finite aperture size.

We can get a high resolution with the help of scanning systems. Using scanning systems equipped with precision lead screws driven by stepper motors or accurate synchronous motors.[1]

The disadvantage of this method is the duration of the scan. Also, insufficient sampling can significantly affect the measurement accuracy.

*Video Methods*

Typically, a solid state array is placed at the focal plane of the lens-under-test.

Using the direct Fourier transform we obtain a two-dimensional OTF. Integrating the point distribution functions, we recognize the Edge traces and line spread functions. If the source is used as a source, then performing the one-dimensional Fourier transform is calculated by the OTF.

The advantage of this method is the measurement speed. The MTF can be updated as quickly as the solid state array can be electronically sampled and the Fourier transform calculated. This provides a continuously updated spread function and MTF curve.[1]

The disadvantage is the design of electronic solid state arrays. Since the dimensions of the elements of the detector are of the order of a few microns, the relay optics must be of high quality. It must have a high numerical aperture and must be diffraction limited so as not to affect measurements.

*Interferometric Methods*

MTF can also be measured using an interferometer. There are two ways: auto-correlating the pupil function of the lens-under-test or analyzing the PSF calculated by Fourier transforming the pupil wavefront. This is very convenient for systems which are suitable for testing in an interferometer and do not exhibit significant chromatic aberrations, and whose wavefront errors do not vary substantially over the wavelength of interest. With scanning, video or discrete frequency methods, the wavelength range can be adjusted by using wide band sources and spectral filters for full polychromatic testing. Interferometers rely on monochromatic sources (i.e. lasers) so that MTF is only available at these wavelengths. [1]

In addition, since phase measuring interferometers have limited wavefront sampling capabilities, the wavefront should be fairly well corrected. Lenses with excessive wavefront errors are difficult to measure with interferometers.

Full polychromatic testing of a wide variety of optical systems is possible using MTF testing methods such as edge scanning, video and discrete frequency targets.[2]

Investigating scanning methods found that one of perspective method for measurement of the modulation transfer function (MTF) is the slanted edge technique.[3] It is based on the numerical analysis of the digital image of an inclined half-plane. This half-plane has a small inclination angle relatively periodical structure of a focal plane array (FPA). The vertically oriented edge (along the FPA columns) allows you calculation of the MTF in the horizontal direction and the horizontally oriented edge is used for identification of the vertical MTF. The principal advantage of the slated edge technique is that only one image is necessary for MTF measurements. For example, using the multi-bar or sinusoidal test-pattern requires the capturing and processing formation of at least one image for each spatial frequency or separation of image parts in a field of view. In case of Fuko technique, the number of input images depends on the desired spatial discretization. In addition, after each test-pattern shift, it is necessary to repeat focusing procedure. It is important that the optical setups for MTF measurements using the slanted edge, multi-bar or stochastic test-pattern are the same: an illumination system that produces uniform irradiation, a unit with a set of test-objects (generally on a motorized rotating

stage), a long focal length collimator and the digital camera under test or measurements.

**CONCLUSION**

One disadvantage of the slated edge technique is absence of precise requirement how to select the optimal edge and its acceptable variations depending on characteristics of an optical system and a FPA of a digital camera. The only recommendation is that the number of pixels on a slanted edge image should be sufficient for the correct MFT measurement. Thus, the smaller angle of the edge requires the bigger area for measurement. The paper discusses the requirement that guarantees the accurate MFT measurement with minimal number of used pixels.

**REFERENCES**

1. How to Measure MTF and other Properties of Lenses Optikos Corporation 107 Audubon Road, Bldg. 3Wakefield, MA 01880 USA c.25
2. Fast MTF measurement of CMOS imagers using ISO 12233 slantededge methodology M.Estribeau*, P.Magnan** SUPAERO – Integrated Image Sensors Laboratory, 10 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse,France c.6
3. David P. Haefner, "MTF measurements, identifying bias, and estimating uncertainty," Proc. SPIE 10625, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing c.3

***Science Head - Doctor of Technical Sciences, Professor Borovitsky V.M.***

**УДК 629.05**

*V.A. Antonenko, student, ПО-72мп, Doctor of Science, Professor Borovytsky V.M.*
NTUU "Igor Sikorsky KPI"

# FEATURES AND COST COMPARISON OF BIOLOGICALLY INSPIRED VISION SYSTEMS

***Annotation.*** The economic analysis of the advantages of known analogues of biologically inspired systems for unmanned aerial vehicles (UAVs), quadrocopters, etc.

***Key words:*** UAV, vision system, navigation.

## INTRODUCTION

With the advancement of technical progress, in our time, it is possible to use natural models of vision for the development of new optoelectronic devices in the field of navigation and machine observation. Such models are able to reduce an amount of performing operations while improving the performance of the entire system. The simplicity of their implementation allows the use of inexpensive and small components that can perform basic or auxiliary functions of guidance, recognition, control, etc. These models include the structure of insect compound eyes, which has a number of advantages and disadvantages. Now there are known analogues that use in such models.

The principle of building facet eyes can be used to create integrated optical-electronic systems with a wide field of view, including circular systems. This gives a large spatial resolution. One of such system is the monocentric, large-scale camera AWARE-2 (Fig. 1) [1].

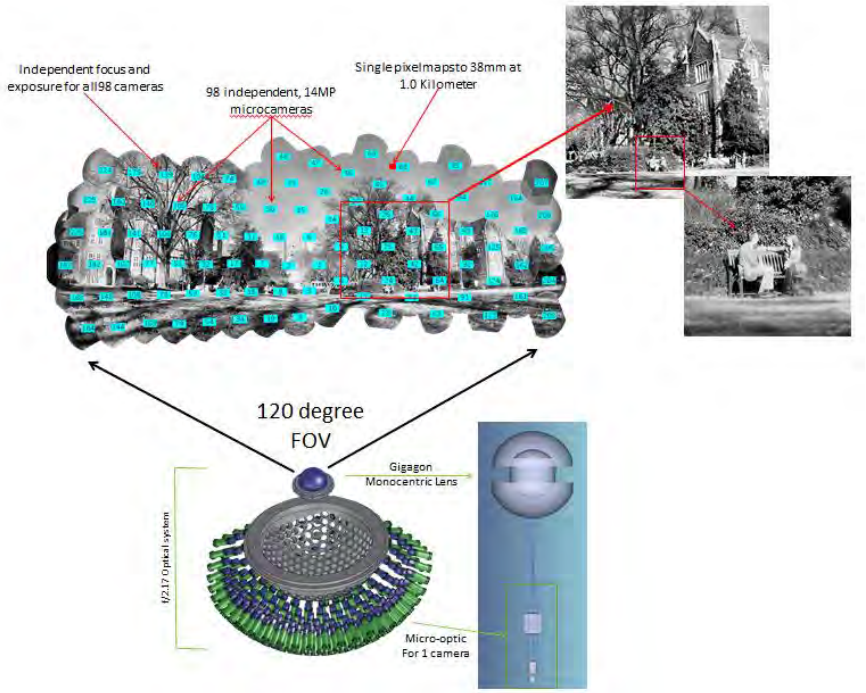



Figure 1 – The main structure and image formation of monocentric camera AWARE-2

This system allows us to create an image in size of one gigapixel at a viewing angle of 120° to 50°. However, the disadvantage is the transfer of large amount of information in real time via an electronic channel, further processing and recording. The use of multi-chamber optoelectronic systems with a specific form of optical components in one device also increases the cost of the entire device.

Another example of using the facet vision system is the development of an artificial compound eye, called CurvACE (Fig. 2) [2, 3]. The angle of view of such a prototype is 180° to 60°. As a model, the eyes of fruit fly of Drosophila species were taken. Such a curved sensor can be useful in air and terrestrial modes of transport, medical equipment, navigation and tracking systems.

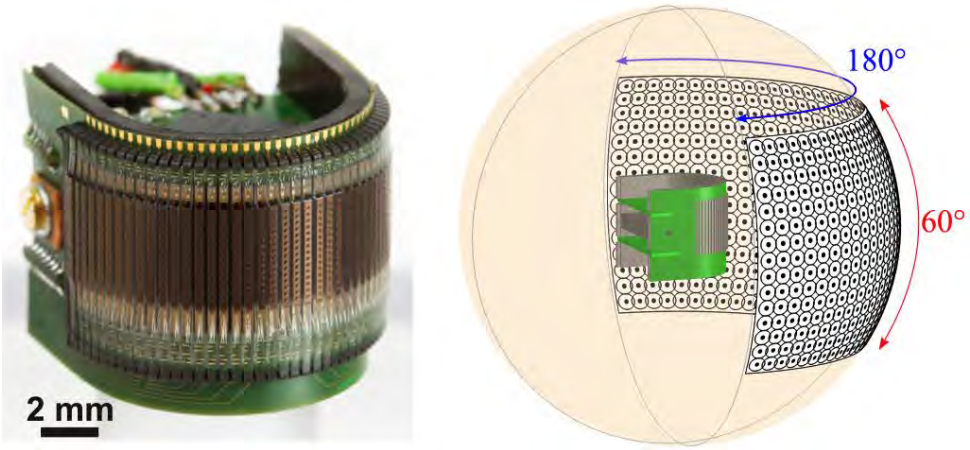



Figure 2 – Artificial compound eye CurvACE

As in the biological compound eye, CurvACE contains three material and functional layers (Fig. 3).

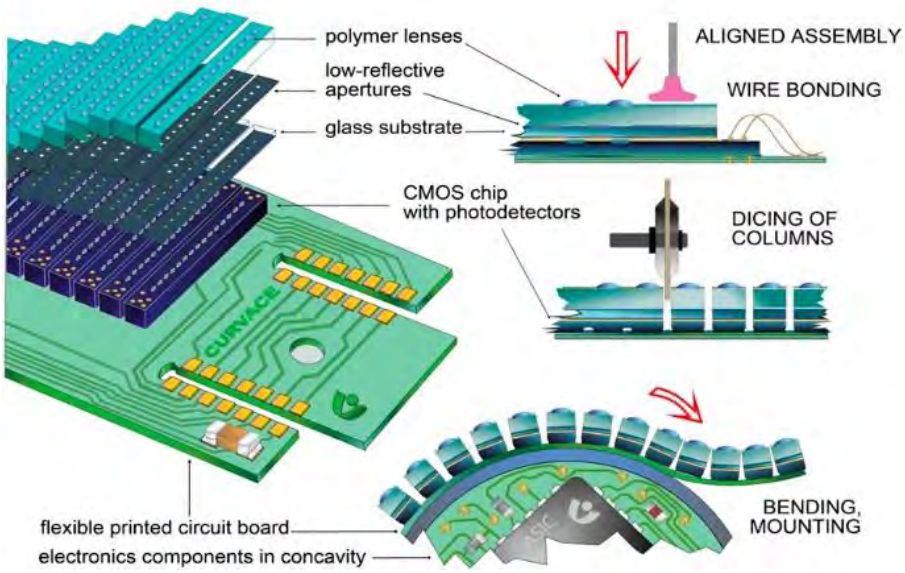



Figure 3 – Main structure of an artificial eye CurvACE

The first layer consists of an array of polymeric microlenses that have a high level of transparency. They focusing light on the second layer, where there is an array of radiation detectors. The third layer is a flexible electromechanical board that transmits output signals to processor units. A pre-designed algorithm then performs analysis of incoming data and give result about direction and velocity. The total thickness of all layers reaches less than 1 mm. Since in many facet eyes there is a pigment that prevents light from one ommatidium in the adjacent one, in this case the solution is used in two opaque metal layers. The main disadvantage of this solution is data computation by one processor in which requires high calculation speed and may affect the price increase of the microprocessor.

**CONCLUSIONS**

In conclusion we can say that biologically inspired systems is a great solution for creating simple and inexpensive devices that must perform such functions like navigation, guidance, obtaining obstacles and searching of fast moving objects, etc. A simple preprocessing of visual information can reduce the number of executed operations, which significantly affects the response rate of the rest of the system. At the same time, it should be noted that information about speed, direction of self-moving that can be taken from a wide field of view are in demand in automobiles with autopilot, miniature aircrafts, UAVs, video surveillance systems and more.

**REFERENCES**

1. Marks D.L. Engineering a gigapixel monocentric multiscale camera D.L. Marks, H.S. Son, J. Kim, D.J. Brady // Journal Optical Engineering / Duke University. – 2012. – Vol. 51. – 14 P.

2. Floreano D. Miniature curved artificial compound eyes D. Floreano, R. Pericet-Camara, S. Viollet / Scientific Journal PNAS // Laboratory of Intelligent Systems, École Polytechnique Fédérale de Lausanne. – 2013. – Vol. 110, №23. – 6 P.

3. EP 2 306 230 A1, J. Duparré, A. Brückner, F. Wippermann, Jean-Christophe Zufferey, D. Floreano, N. Franceschini, S. Viollet, F. Ruffier, Artificial compound eye and method for fabrication thereof, April 6, 2011.

***Science Head - Doctor of Technical Sciences, Professor Borovitsky V.M.***

**UDC 681.5**

*Bortnik V.A, professor Borovytsky V. M*
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

# EFFICIENCY OF CALIBRATION OF DISTORTION IN UAV VISION SYSTEMS

***Annotation:*** The UAV vision system is used for various tasks, such as cartography, the construction of 3d object models, the creation of gigapixel shots, and for navigation. Many of these tasks require image stitching. An obstacle to high-quality image stitching is the presence of aberrations in the lens of the camera, especially the distortion. Therefore, elimination of this aberration will allow more accurately and with less computer expenses to perform the task of image stitchin.

***Key words:*** UAV, image stitching, distortion calibration.

## CAMERA MODELS

Digital image is 2D projection of scene of 3D world. Every point of 3D world can represent as matrix:

$$M = (X_0, Y_0, Z_0)^T \tag{1}$$

Also we can find corresponding projection on the homogeneous plane of this point:

$$m = (x, y)^T \tag{2}$$

The projection relationship between these points can represent as:

$$\lambda m = PM \tag{3}$$

where $\lambda$ is scale matrix, P is 3x4 projection matrix, which can be expressed as:

$$P = K[RT] \tag{4}$$

where K is the intrinsic parameters matrix, R is a 3D rotation, T is a translation vector.

## DISTORTION MODELS

Distortion is a deviation from rectilinear projection; a projection in which straight lines in a scene remain straight in an image. It is a form of optical aberration. Although distortion can be irregular or follow many patterns, the most commonly encountered distortions are radially symmetric, or approximately so, arising from the symmetry of a photographic lens. These radial distortions can usually be classified as either barrel distortions or pincushion distortions [1].

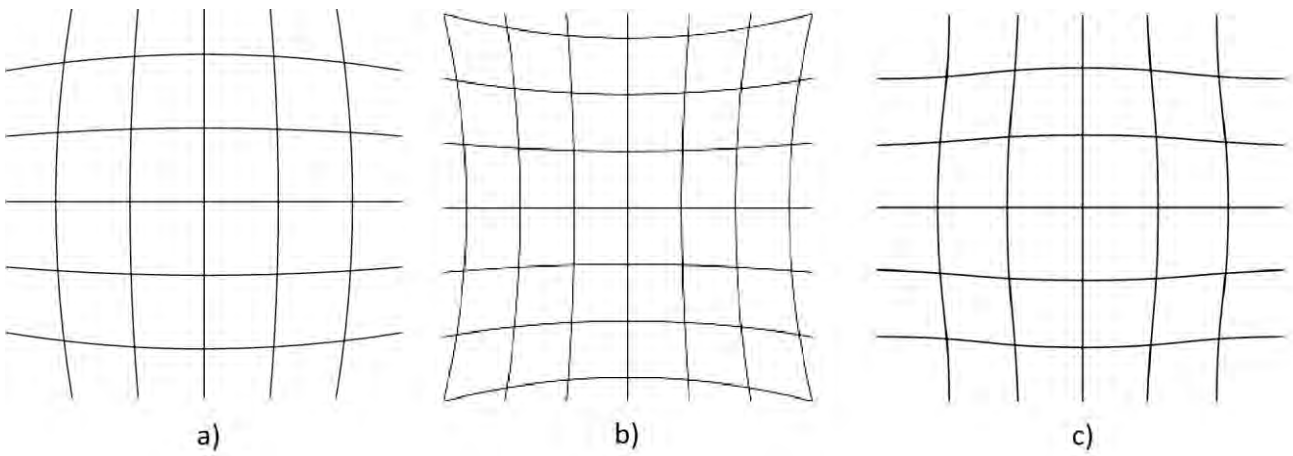



Figure 1. а) barrel distortion; б) pincushion distortion; в) mix of barrel and pincushion distortion.

If optical system has distortion matrix of point projection can represent as:

$$\mathrm{m}_d = (x_d, y_d)^T \tag{5}$$

where $\mathrm{m}_d$ is[2]:

$$\mathrm{m}_d = \begin{bmatrix} f(r)\cdot \mathrm{x} + 2\cdot k_3 \cdot x \cdot y + k_4(\mathrm{r}^2 + 2\cdot x^2) \\ f(r)\cdot \mathrm{x} + 2\cdot k_4 \cdot x \cdot y + k_3(\mathrm{r}^2 + 2\cdot y^2) \end{bmatrix} \tag{6}$$

where $f(r) = 1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_5 r^6$, and $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , $k_i$ is distortion coefficient.

**DISTORTION CALIBRATION**

In this section two methods of calibration of distortion were considered: on a periodic linear structure and concentric method.

**PERIODIC LINEAR STRUCTURE**

The calibration process on a periodic linear structure can be divided into four steps[3]:

1. Detection of points on curved line segments
2. Linkage of curved line segments
3. Outlier elimination
4. Final parameter estimation of the inverse radial distortion function

To begin with, it is assumed for the given that the direct 3D lines of space pass into the curve of the line on the image in the presence of distortion and remain straight in its correction. Correspondingly, for the beginning, find the points of the curve lines with the help of line detectors.

Since using short lines, the algorithm becomes sensitive to noise, it is necessary to use long lines and short throw away. It is also necessary to correctly determine the affiliation of individual points to one line, for this the distance between the points and the direction of each point in the line is analyzed. Also, the distance between the points of one line to the other is analyzed. As a result of filtration and communication, we obtain a set of lines, where each line is represented by a set of points.

Next it is necessary to determine the inverse function of distortion, on which the true image will be restored. To do this, select a random line from the set. Next, it is analyzed using the RANSAC method to exclude false inclusions of points. Then the reverse function of the distortion is calculated and applied to the given line. If we have found the correct function, then its application to all curves should give a straight line. To minimize the error, use the LM method. If for this line it was not possible to determine the correct function, then the next line from the set is taken and for it the function of distortion is invented. The procedure is repeated until a function is found that converts all curves from a set to a straight line.

At the end, minimization of the loss function for each parameter of the distortion function for each set of lines is performed.

## CONCENTRIC CIRCLE METHOD

The second method involves the use of two concentric circles and a marker on the x-axis. This method described in [4]. First we need to restore the ellipses in the image. For example, using the computer vision library OpenCV we need find boundary using the Canny detector and after fit the ellipse.

As we get the 3D projection of the world, there is the possibility that the center of the ellipse in the image may not coincide with a real center. Therefore, we need to find the real center of two projecting ellipses, for example using [5].

Next, we need to restore the true position of these two circles using the marker on the x-axis. This can be done using the rotation and shift matrix.

Prior to this, it was assumed that the optical axis of the camera and the center of the circles coincided. Therefore, it is necessary to list the center of the ellipses given that the optical axis of the camera can be shifted. Then we can use the ellipse data to calculate the effect of distortion and its correction.

## SUMMARY

In this paper the distortion model and methods of its calibration were considered. This allows you to get better image cross-links with low cost of computer facilities.

## REFERENCES

1. Wang, J., Shi, F., Zhang, J., Liu, Y.: A new calibration model and method of camera lens distortion. PR 41(2), 607–615 (2008).
2. Thorm¨ahlen, T., Broszio, H., Wassermann, I.: Robust line-based calibration of lens distortion from a single view. Computer Vision / Computer Graphics Collaboration for Model-based Imaging Rendering, Image Analysis and Graphical Special Effects, 105–112 (2003).
3. Textures Zhengdong Zhang, Yasuyuki Matsushita and Yi Ma.: Camera Calibration with Lens Distortion from Low-rank. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 2011
4. Abad F., Camahort E., Vivó R. Camera Calibration Using Two Concentric Circles. Image Analysis and Recognition. ICIAR (2004). Lecture Notes in Computer Science, vol 3211. Springer, Berlin, Heidelberg.
5. Forsyth, D., Mundy, et al.: Invariant Descriptors for 3-D Object Recognition and Pose. IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol. 13.

***Science Head-Doctor of Technical Sciences, Professor Borovitsky V.M.***

**УДК 535.232**

*М.Т. Васильчук, Д.М. Климанський, студент гр. П0-72мп,к.т.н., Микитенко В.І.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СПОСОБИ СУМІЩЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ КАНАЛІВ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ ОЕП

***Анотація***. В даній статті здійснюється огляд найпростіших методів суміщення оптико-електронних каналів, огляд недоліків та переваг різних рішень.

***Ключові слова***: комплексування зображень, злиття зображень, багатоспектральні оптико-електронні системи.

## ВСТУП

Дистанційне спостереження в умовах низької освітленності, або повної відстутності освітленості є одним з найважливіших напрямків оптико-електронного приладобудування. Сучасні досягнення в оптиці та обробці зображень сприяли до появи багатоканальних оптико-електронних систем (ОЕС) дистанційного спостереження. Дані системи містять декілька інформаційних каналів (як мінімум два – тепловізійний та телевізійний). Для об'єднання каналів застосовують комлексування сигналів.

Комплексування зображеннь показали істотну якісну і кількісну вигоду у вирішенні задач виявлення, розрізнення, розпізнавання об'єктів, стеження та цілевказання [1]. Комплексування дає змогу отримати більш інформативне результуюче зображення, ніж від зображень, що отримані окремо, кожне своїм каналом. Це значно покращує якісь роботи оператора, що працює з ним.

Комплексування складається з таких етапів:

- реєстрація зображень;
- аналіз зображення та виділення цікавих нам зон на зображенні;
- власне компексування.

В данній роботі розглянуто різні методи реєстрації зображень в багатоканальних оптико-електронних системах; недоліки та переваги їхних конструкцій.

Метою даної роботи є аналіз відомих рішень реєстрації зображень для подальшого обґрунтування економічно доцільної схеми макету на базі двоканальної ОЕС, яка буде використовуватись в учбовому процесі КПІ ім. Ігоря Сікорського.

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ

Найпростішою схемою побудови дво- і багатодіапазонних ОЕС є механічне об'єднання двох або більше автономних систем, кожна з яких має власні оптичну систему і приймач випромінювання, забезпечують роботу в певних спектральних каналах. У таких системах легше забезпечити високу (близьке до граничного) просторову роздільну здатність у всіх робочих спектральних діапазонах.

На приклад, в них простіше вирішити проблему ахроматизації у всіх робочих діапазонах за рахунок роздільної хроматичної корекції об'єктивів окремих спектральних каналів. Крім того, в таких схемах легше вибирати

розташування спектральних піддіапазонів і управляти їх шириною, наприклад, за допомогою інтерференційних фільтрів. (Рисунок 1). [2]

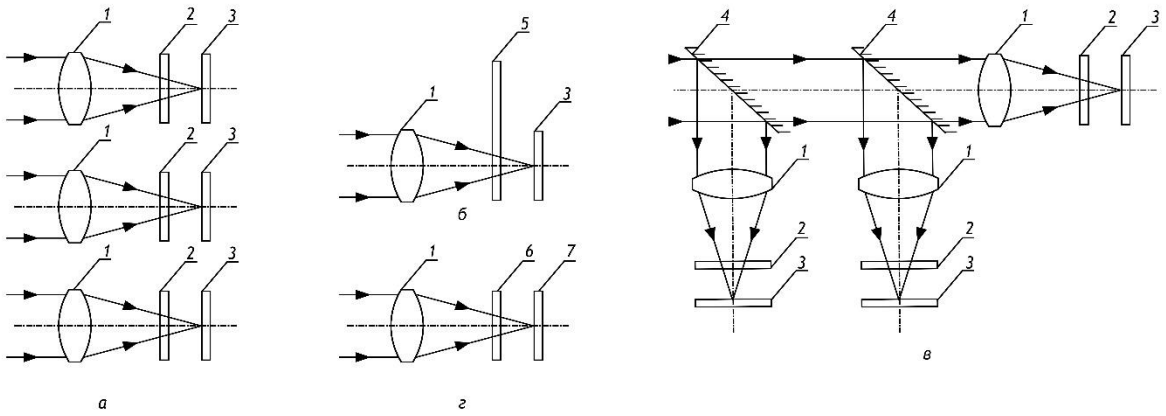



Рисунок 1. Схеми поділу оптичних спектральних діапазонів[2]: а - з повністю автономними спектральними каналами; б - з обоймою змінних оптичних фільтрів; в - зі спектроделітелямі (дихроїчними дзеркалами); г - з дво- або багатосмуговми МПІ; 1 - об'єктив, 2 - вузькосмуговий оптичний фільтр, 3 - однодіапазонний МПІ, 4 - спектроділітель, 5 - обойма зі змінними вузькосмуговими оптичними фільтрами, 6 - широкосмуговий оптичний фільтр, 7 - дво- або багатодіапазонний МПІ

В системах 1.а простіше вирішити проблему виправлення аберацій, адже кожен блок працює на своїй довжині хвилі.

Найчастіше візирні осі в таких схемах являються паралельними, що призводить до зміщення зображення об'єкту в площинах чутливого шару приймачів. Зведення зображень проводиться за допомогою цифрової обробки зображень. Знехтувати паралаксом можна, якщо відстань до об'єкту спостереження набагато менше відстаней між осями спектральних каналів.[3]

В схемах типу 1.б просто контролювати активний спектральний діапазон за допомогою оправи зі змінними світлофільтрами. Також вдається позбутися паралаксу, оскільки ми маємо лише один об'єктив. Через складність підібрати оптичні матеріали для об'єктиву, щоб він працював у широкому діапазоні використовують дзеркальні об'єктиви (за схемами Кассагрена, Грегорі, інші) (Рис. 2).

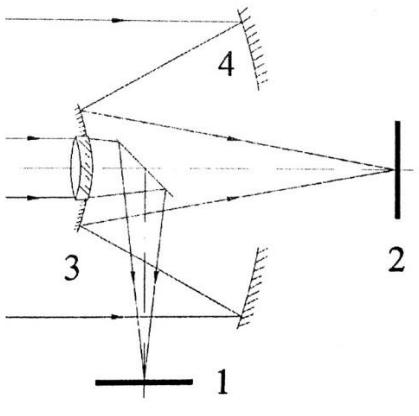



Рисунок 2. Схема з дзеркальним об’єктивом[4]

Схемами з роздільними об'єктивами (рис. 1, а, в) притаманні порівняно великі габарити, складність юстування, необхідність мати велику кількість оптичних компонентів і МПІ. При використанні охолоджуваних МПІ зазвичай різко зростають труднощі конструювання таких систем і їх вартість при забезпеченні надійності їх експлуатації. У цих системах не тільки важко досягається ідентичність зображень, одержуваних у різних спектральних піддіапазонах, але і може виникнути складнощі в обробці з метою фільтрації корисного сигналу на тлі перешкод, ніж в МОЕС із загальною для всіх діапазонів оптичною системою або в МОЕС з одним двох - або багато-діапазонним МПІ (рис. 1, г)

У МОЕС з дво- або багатосмугових МПІ значно легше забезпечити одночасну або практично одночасну роботу МОЕС у всіх спектральних діапазонах, тобто роботу в реальному масштабі часу. При наявності одного об'єктива спрощується юстирування оптичної системи і МПІ, а також геометрооптичне узгодження пікселів окремих каналів. За рахунок менш складної конструкції підвищується її надійність, знижуються вимоги до системи охолодження, і, з огляду на успіхи сучасної технології виготовлення МПІ, вже можна говорити про помітне зниження вартості таких МОЕС. Однак в схемах з окремими вузькосмуговими оптичними фільтрами (рис. 1, а, б, в) легше управляти розташуванням і шириною вузьких спектральних піддіапазонів, ніж в системах, що працюють за схемою (рис. 1, г)

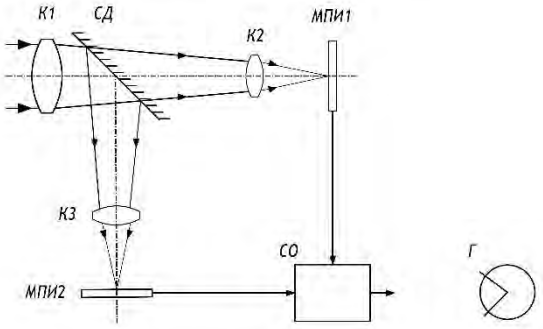



Рисунок 3. Схема двухдіапазонної ОЕС з спільним першим компонентом

У двухдіапазонної ОЕС із спільним для двох спектральних каналів першим компонентом К1 і спектроділітелем СД (Рисунок 3) компоненти К2 і КЗ служать для корекції якості зображення в кожному з каналів і узгодження параметрів об'єктива і МПІ 1 і 2, які застосовуються в системі. В якості системи відображення СО може використовуватися дисплей або телевізійний монітор, на екрані якого формується видиме зображення, що спостерігається оком Г. Очевидно, що найбільш важко підібрати оптичний матеріал (матеріали) для першого компонента К1, який повинен пропускати випромінювання у всіх спектральних каналах (діапазонах) МОЕС. З цієї причини часто пропонується робити його повністю дзеркальним. Компоненти К2, КЗ і подібні до них в багатоканальних системах працюють в порівняно вузьких ділянках спектра, тобто для них вибір матеріалу менш критичний, а корекція хроматичних аберацій простіше.

## ВИСНОВОК

В результаті проведеного огляду відомих рішень було визначено метод суміщення каналів, який може бути використаний в недорогому макеті двухканальної системи для виконання лабораторних робіт в галузі проектування оптико-електронних систем спостережень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.Медведев, Мультиспектральные системы различного назначения / А.Гринкевич, С.Князева // Оптические устройства и системы – 2015. - №5. – С. 68 – 81.

2. Тарасов, В. В. Двух- и много диапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения: пособие / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. - М.: Университетская книга, Логос, 2007. - 192 с.

3. Климанський, Д. М. Способи розділення спектральних діапазонів при комплексуванні зображень / Климанський Д. М., Микитенко В. І. // Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали доповідей XI науково-практичної конференції студентів та аспірантів, 15-16 травня. – К. : КПІ ім. Сікорського, 2018. – С. 118–121

4. Микитенко В.І., Комплексування зображень в багатоканальних ОЕС з різноформатними матричними приймачами випромінювання / Микитенко В.І., Котовський В.Й. // Вісті академії інженерних наук України – 2008. – №3 – 39с.

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

**UDC 535.232**

*O.Y. Hudz, student group П0-71м, doctor of eng. sciences, prof. Borovytsky V.M.*
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

# AMPLITUDE AND INTENSITY DISTRIBUTION AROUND A FOCAL POINT OF ANY OPTICAL SYSTEM

***Abstract.*** The paper describes optimal methodology for calculation amplitude and intensity distribution around a focal plane of an optical system

***Key words:*** amplitude, intensity, distribution, optical system

## INTRODUCTION

Focusing of light is an exciting physical phenomenon. With the development of engineering and information technologies, it became possible to use more complicated mathematical apparatus for calculation of an amplitude and an intensity of a spherical wave without making many simplifications or approximations.

## AMPLITUDE DISTRIBUTION

According to Huygens-Fresnel principle, each point on a spherical wave front plays a role of a secondary point source [1, 2]. The resulted complex amplitude in any point around a focal point is proportional to the superposition with interference of all waves coming from these secondary point sources. It is possible to find the optical path length of the beam coming from the point A at the wave front to the point B near the focal point F [1]. Then we write the following expression for calculation of the complex amplitude in the point B made by the point source A [3]:

$$E_P(s,r,t) = E_O \cdot \frac{\exp\left\{j2\pi\left[\frac{1}{\lambda}\cdot n\cdot L(s,r) - \frac{t}{T}\right]\right\}}{L(s,r)} \approx E_O \cdot \frac{\exp\left\{j2\pi\left[\frac{n}{\lambda}\cdot L_A(s,r) - \frac{t}{T}\right]\right\}}{L_A(s,r)} =$$

$$= E_O \cdot \frac{\exp\left\{j2\pi\left[\frac{n}{\lambda}\cdot (R + s\bullet r) - \frac{t}{T}\right]\right\}}{(R + s\bullet r)} \approx E_O \cdot \frac{\exp\left(j2\pi\cdot\frac{n}{\lambda}\cdot R\right)\cdot\exp\left\{j2\pi\left[\frac{n}{\lambda}\cdot(s\bullet r) - \frac{t}{T}\right]\right\}}{R} = \tag{1}$$

$$= E_O \cdot C_R \cdot \frac{\exp\left[j2\pi\cdot\frac{n}{\lambda}\cdot(s\bullet r)\right]}{\exp\left(j2\pi\frac{t}{T}\right)}$$

where $E_P(s, r,t)$ – the complex amplitude of the wave coming from the point A to the point B; $n\cdot L(s,r)$,$n\cdot L_A(s, r)$ – the precise and approximated values of the optical path length; $s = (s_X, s_Z)$ – this vector defines the Cartesian coordinates of the point A relatively to the focal point F, its length is equal to 1: $|s| = 1$, its coordinates are equal to $s_X=\sin(\phi)$ and $s_Z=\cos(\phi)$; $\phi$ – the angular coordinate of the vector s relatively the optical axis z ;

r = (x,z) – this vector defines the coordinates of the point B relatively to the focal point F, this vector has the Cartesian linear coordinates (x, z), and according to the assumptions $\lambda << R$, $|r| << R$ , $(r \bullet s) << R$; $E_O$ – the initial amplitude of the spherical wave coming from the point A; R – the radius of the spherical wave front coming from the aperture stop; • – the symbol of the scalar product of two vectors; j, $C_R$ – the constants:

$$j^2 = -1; \qquad C_R = \frac{1}{R} \cdot \exp\left\{ j2\pi \cdot \frac{n}{\lambda} \cdot R \right\}$$

The expression (1) helps to calculate the distribution of complex amplitudes in the object space around the focal point F. According to Huygens-Fresnel principle, each complex amplitude in the point (x, z) is a result of the superposition with interference of secondary spherical waves coming from points at the wave front (1). To get this distribution it has to calculate the following integral for all points (x, z) (Fig.1) [3]:

$$E(r) = \int_{-\sigma}^{+\sigma} p\left[s(\varphi)\right] \cdot c\left[s(\varphi)\right] \cdot E_p\left[s(\varphi), r\right] d\varphi \approx$$

$$\approx \int_{-\sigma}^{+\sigma} p\left[s(\varphi)\right] \cdot c\left[s(\varphi)\right] \cdot E_O \cdot C_R \cdot \frac{\exp\left\{ j2\pi \cdot \frac{n}{\lambda} \cdot \left[s(\varphi) \bullet r\right] \right\}}{\exp\left( j2\pi \frac{t}{T} \right)} d\varphi = E(x,z) =$$

$$= E_O \cdot \frac{C_R}{\exp\left( j2\pi \frac{t}{T} \right)} \cdot \int_{-\sigma}^{+\sigma} p(\varphi) \cdot c(\varphi) \cdot \exp\left\{ \frac{j2\pi n}{\lambda} \cdot \left[x \cdot \sin(\varphi) + z \cdot \cos(\varphi)\right] \right\} d\varphi \qquad (2)$$

where E(r) = E(x, z) – the distribution of complex amplitudes around the focal point as the function of the coordinates (x,z) ; p(s) – the complex pupil function that describes amplitude and phase modulation introduced by an OS, if it is no modulation then p(s)=1; c(s) – the weight function that takes into account the beam inclination.

**INTENSITY DISTRIBUTION**

Relevant time averaged intensity may also be found:

$$I(x,z) = C_I \cdot \left|E(x,z)\right|^2 = C_I \cdot E(x,z) \cdot E^*(x,z)$$

where I(x, z) – the distribution of intensity around the focal point as the function of the coordinates (x,z) ; $C_I$ – the constant [1, 2].

To make a good illustration of this process in two-dimensional space there have been developed the mathematical apparatus and free software package. It allows placing the definite number of points on a circular curve. Each point acts as a point source and it emits a spherical wave with a given wavelength. Application of Huygens-Fresnel principle makes possible to calculate the distributions of

summarized amplitude and intensity in any point round these point sources. As a result, we can observe the two dimensional distributions round a focal point. It helps to students and schoolchildren to understand wave optics (Fig. 1).

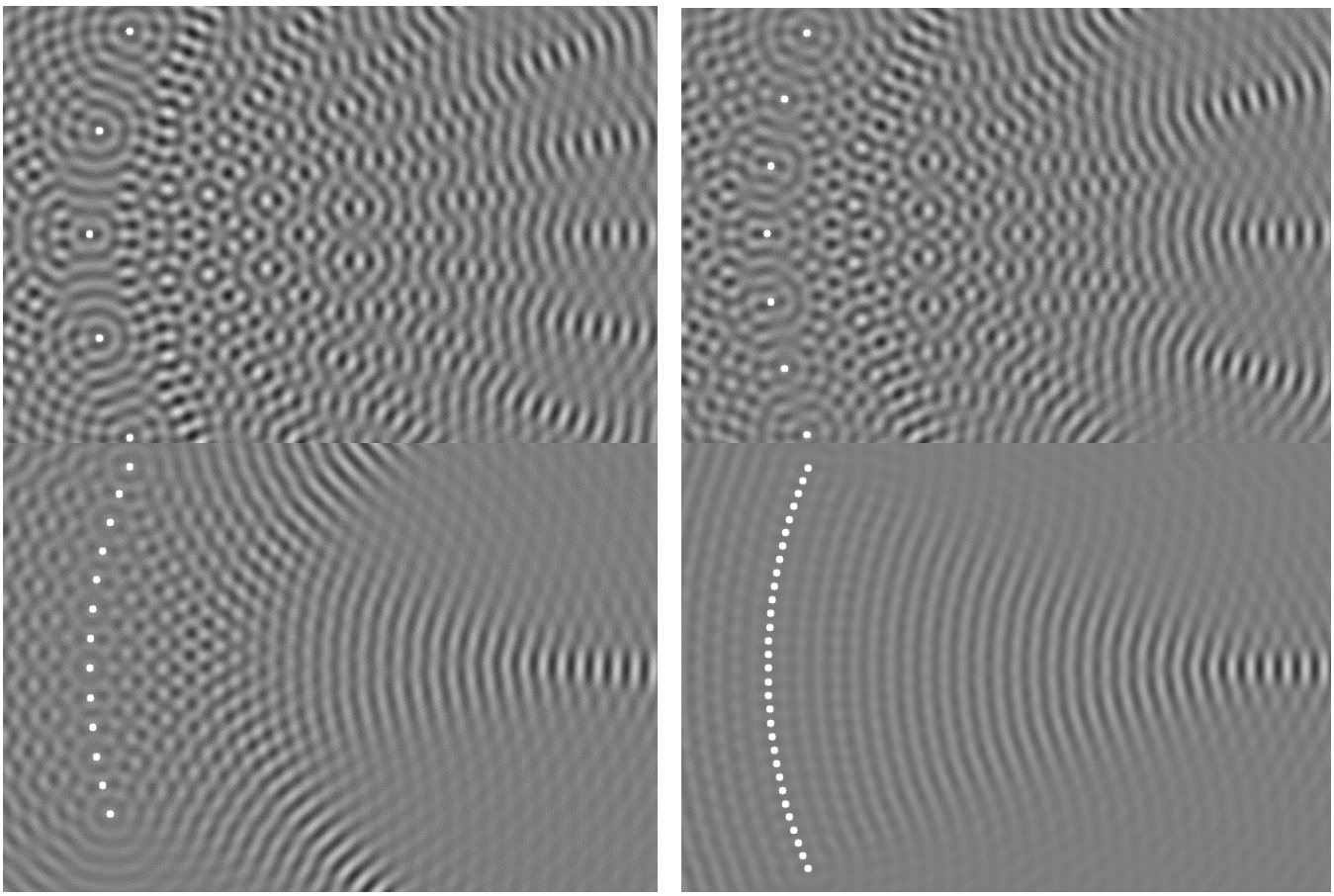


Fig 1. Two dimensional distribution of amplitude generated for the cases with various number of point sources

**REFERENCES**

1. M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, 5th ed., Pergamon, Oxford (1975).
2. J. W. Goodman, Introduction to Fourier optics, McGraw Hill, San Francisco (1968).
3. V. Borovytsky, “Huygens-Fresnel principle and the spatial bandwidth of an optical system,” Proc. SPIE 10612, 15.1- 15.8 (2017) [doi: 10.1117/12.2304913].

***Science Head-Doctor of Technical Sciences, Professor Borovitsky V.M.***

**УДК 535.232**

*Д.М. Климанський, М.Т. Васильчук, студенти гр. П0-72мп,*
*к.т.н., Микитенко В.І.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МЕТОДИ ЗЛИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ

***Анотація.*** В даній статті здійснюється огляд найпростіших методів злиття зображень, огляд недоліків та переваг різних рішень.

***Ключові слова:*** комплексування зображень, злиття зображень, багатоспектральні оптико-електронні системи.

## ВСТУП

Дистанційне спостереження в умовах низької освітленності, або повної відстутності освітленості є одним з найважливіших напрямків оптико-електронного приладобудування. Сучасні досягнення в оптиці та обробці зображень сприяли до появи багатоканальних оптико-елетронних приладів дистанційного спостереження. Дані системи містять декілька інформаційних каналів (як мінімум два – тепловізійний та телевізійний). Для об'єднання каналів застосовують комлексування сигналів.

Комплексування зображеннь показали істотну якісну і кількісну вигоду у вирішенні задач виявлення, розрізнення, розпізнавання об'єктів, стеження та цілевказання. Комплексування дає змогу отримати більш інформативне результуюче зображення, ніж від зображень, що отримані окремо, кожне своїм каналом. Це значно покращує якісь роботи оператора, що працює з ним. [1-2]

Комплексування складається з таких етапів:

- реєстрація зображень;
- аналіз зображення та виділення цікавих нам зон на зображенні;
- власне злиття зображень.

В данній роботі розглянуто найпростіші методи злиття зображень в багатоканальних оптико-електронних системах; їхні недоліки та переваги.

Метою даної роботи є обгрунтування методу злиття зображень, який може бути використаний в недорогому макеті двуханальної системи для виконання лабораторних робіт в галузі проектування оптико-електронних систем спостережень.

## ОГЛЯД ІСНУЧИХ МЕТОДІВ

Найпростішим методом злиття зображень є метод усереднення вихідних зображень. Метод усереднення заснований на знаходженні середнього арифметичного від вихідних зображень *F1(x, y)* та *F2(x, y)*. (1)

$$Z = \frac{F_1(x,y) + F_2(x,y)}{2}, \qquad (1)$$

В результаті отримується зображення зі згладженими деталями об'єктів, контраст комплексованого зобрадження суттєво зменшується відносно вихідних зображень, але в той самий час зменшеється шумова складова.

Одним з популярних арифметичних методів злиття зображень є метод сумування яскравостей пікселів [3], при якому яскравість кожного пікселя

суміщенного зображення розраховується як напівсума яскравостей пікселів двух різнодіапазонних зображень за формулою (2).

$$I_k(i,j) = \frac{I_{iч}(i,j) + I_в(i,j)}{2}, \qquad (2)$$

де $I_k(i,j)$ – яскравість пікселя комплексованого зображення;

$I_{iч}(i,j)$ – яскравість пікселя зображення отриманого в інфрачервоному спектрі;

$I_в(i,j)$ – яскравість пікселя отриманого в видимому спектрі.

Відомим методом злиття зображень є метод степеневого перетворення. Метод степеневого перетворення заключається у зведенні вихідного зображення $F_1(x,y)$ в показник ступеня, рівний нормованому значенню зображення $F_2(x,y)$. Данний метод являється модифікацією методу, що запропонував Ж. Лю і Р. Лаганьєр, де в якості показника степеню використовувалося відношення двух вихідних зображеннь с попередньою просторовою фільтрацією [4]. Реалізація методу з застосуванням негативного зображення в показнику степені доволило виконувати комплексування в режимі реального часу. Комплексування по методу степеневого перетворення здійснюється за допомогою формули (3).

$$Z(x,y) = F_1(x,y)^{1-F_2(x,y)/2^n}, \qquad (3)$$

де *n* – розрядність вихідного зображення $F_2(x,y)$.

Таким чином, в показнику ступеня буде значення в діапазоні [0,1]. В результаті на комплексованому зображенні мінімальним значенням яскравості зображення $F_2(x,y)$ залижаться такими самими, а для максимальні суттєво зміняться. Таким чином, вузьким діапазон зображення $F_1(x,y)$ перетвориться в широкий діапазон значень, що дає покращення контраста на результуючому зображенні *Z(x, y)*.

Одним з найпростіших методів злиття зображень є метод максимума. Він заключається в заміщенні значення зображення *F1(x, y)* значеннями зображення *F2(x, y)* в тому випадку, якщо значення другого зображення більше. На виході формується нове зображення, в якому будуть присутні інформаційні ознаки зображення *F1(x, y)* та яскраво вираженні ознаки *F2(x, y)*. Метод максимума реалізується відношенням (4)

$$Z(x,y) = \max\{F_1(x,y), F_2(x,y)\}, \qquad (4)$$

Метод максимума являється неадаптавним і результат повністю залежить від рівня яскравості зареєстрованого зображення.

Прогрересивним методом злиття зображень є метод, що реалізується реалізується на основі порядкового чередування одного зображення відносно

іншого [4]. При цьому результат комплексування для пари зображень розміром $M \times N$ в загальному випадку буду мати вигляд $M \times 2N$

$$Z(x,q) = \begin{cases} Z(x,2y) = F_1(x,y) \\ Z(x,2y+1) = F_2(x,y) \end{cases}, \quad (5)$$

де $q$ = 1…2N – просторове розширення комплексованого зображення по вертикалі.

Данний метод може бути реалізований зі збереженням просторової здатності вихідних зображень шляхом складення комплексованого зображення чередуванням парних та непарних рядків відновідно зображень *F1(x, y)* та *F2(x, y).* Тоді вираз 5 приймає вигляд:

$$(x,q) = \begin{cases} F_1(x,y), y \in 1,3,5\ldots N \\ F_2(x,y), y \in 2,4,6\ldots N-1 \end{cases}, \quad (6)$$

Одним із недоліків методу черезрядкового комплексування ж вираженна періодична структуа на результуючому зображенні, обумовлена принципом роботи цього методу. В просторовій області дефект проявляється в періодичній складовій по вертикальній осі зображення з відомим періодом чергування (1 піксель), а в частотній – в виді ярко вираженій складовій на самих високих частотах спектру, яка може бути вирішенна вузькополосовим високочастотним фільтром.

## ВИСНОВОК

В результаті проведеного огляду відомих рішень було визначено метод злиття зображень, який може бути використаний в недорогому макеті двуханальної системи для виконання лабораторних робіт в галузі проектування оптико-електронних систем спостережень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Климанський, Д. М. Способи розділення спектральних діапазонів при комплексуванні зображень / Климанський Д. М., Микитенко В. І. // Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали доповідей XI науково-практичної конференції студентів та аспірантів, 15-16 травня. – К. : КПІ ім. Сікорського, 2018. – С. 118–121.

1. А.Медведев, Мультиспектральные системы различного назначения / А.Гринкевич, С.Князева // Оптические устройства и системы – 2015. - №5. – С. 68 – 81.

2. Фролов В. Н. Методы информационного совмещения изображений в многоканальных оптико-электронных системах / Фролов В. Н., В. М. Кравцов // Известия Тульского Государственного Университета. Технические Науки. — 2016. — № 16. — С. 95-104.

3. Liu Z. "Context Enhancement through Infrared Vision: A Modified Fusion Scheme"/ Liu Z., Laganiere R.//Signal, Image and Video Processing – 2007. - Vol. 1, №. 4, - P. 293-301.

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

**УДК 001.8**

*О.Є.Левицький, студент гр. ПО-71мп*
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

# ОПТИМЕТРІЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ВАРІОЛІНЗИ

***Анотація:*** У статті показано метод визначення оптичної сили. Цей метод зроблений для того, щоб перевірити, що на практиці оптична сила варіолінзи при певній напрузі еквівалентна тій, що вказано в документації.
***Ключові слова:*** фокусна відстань, оптична сила, варіолінза, формула, рідка лінза, визначення.

## ВСТУП

Оптична сила – це величина, що характеризує ступінь сходження або розсіювання світла оптичною системою. Вона дорівнює зворотній фокусній відстані пристрою. Оптична сила вимірюється в діоптріях (дптр). Збиральні лінзи мають позитивну оптичну силу, тоді як розсіюючи лінзи навпаки – негативну. Коли об’єктив занурюється в рефракційне середовище, його оптична сила, та відповідно, фокусна відстань, змінюються.

Рідкі лінзи (варіолінзи) – це оптична система зі змінним фокусом, що контролюється напруженням, що на неї подається.

Варіолінзи складаються з двох речовин, олії, що використовується як ізолятор, та води – як провідника. Подача та зміна напруги призводить до зміни кривизни між речовинами, через що змінюється фокусна відстань рідкої лінзи.

Основні переваги варіолінзи:

- Швидкість відпрацювання;
- Низькі енерговитрати;
- Невеликі розміри;

## ОПИС МЕТОДУ

Метод, що описаний у цій статті, зроблений для того, щоб проконтролювати, чи дійсно ту саму оптичну силу видає варіолінза, яку повинна.

Даний метод показаний на рис.1

З лазеру 1 виходить пучок, довжиною хвилі 555 нм, і проходить через вимірювальну варіолінзу 2, після цього фокусується між світлодільниками 3. Екрани 5 потрібні для того, щоб проконтролювати фокусну відстань варіолінзи 2, а щілина 4, що закриває половину пучка, потрібна для того, щоб була можливість проконтролювати також і уявний фокус у варіолінзи 2.

Світлодільники використовуються для того, щоб зображення пучка передавалось на них, і дані, які ми отримуємо з цього зображення ми використаємо в розрахунках фокусної відстані варіолінзи.

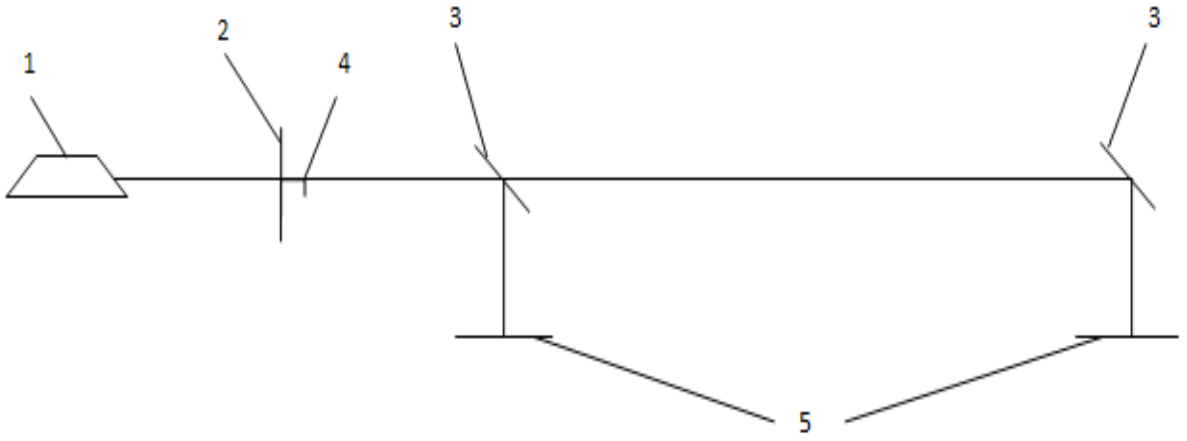



Рисунок 1. Схема методу вимірювання оптичної сили варіолінзи

Щоб схема працювала коректно, спочатку ми юстуємо екрани 5, що являють собою по факту міліметрові листи з розміченими на ними мітками радіуса, з центром 0.

Після юстування екранів, ми встановлюємо нашу варіолінзу 2, яку хочемо перевірити, виставляємо на рідкій лінзі 2 якусь певну напругу і запускаємо лазер 1, що проходить через варіолінзу 2, і частково відсікається щілиною 4. Після цього, на екранах, що встановлені на таких відстанях(приблизно 50 та 1200 мм з урахуванням відхилень), що пучок може сфокусуватися тільки у цій зоні(не враховуючи уявного фокуса) ми отримуємо зображення пучків. Ми беремо радіуси пучків і приймаємо їх за значення $h_1$ та $h_2$ (рис.2).

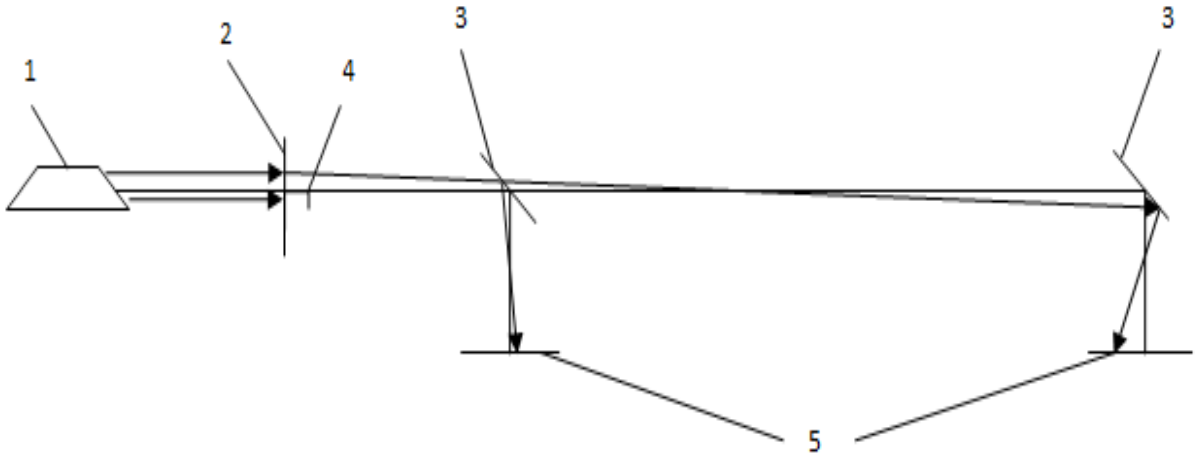



Рисунок 2. Приклад роботи схеми.

Після цього робота з установкою закінчується і ми переходимо до розрахункової частини.

Вона побудована на подібності трикутників.

Спочатку ми вкажемо константи, відстані між варіолінзою та першим екраном літерою a, відстань між варіолінзою та другим екраном b, та відстань між двома екранами c.

$$a = 50\ мм;$$

$$b = 1200\ мм;$$

$$c = b - a = 1200 - 50 = 1150\ мм. \quad (1)$$

Потім ми отримаємо величину $H_{12}$ з різниці величин $h_1$ та $h_2$

$$H_{12} = h_1 - h_2; \quad (2)$$

Наступний крок, це визначення тангенсу кута α, що знаходиться між променем та віссю приладу, використовуючи тригонометричну залежність

$$tg(\alpha) = \frac{H_{12}}{c}; \quad (3)$$

Фінальний крок визначення фокусної відстані варіолінзи

$$f' = a + \frac{h_1}{tg(\alpha)}; \quad (4)$$

Щоб дізнатися оптичну силу рідкої лінзи використаємо наступну формулу

$$\Phi = \frac{1000}{f'}; \quad (5)$$

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чиж І.Г. Теорія оптичних систем: конспект лекцій для студентів усіх напрямів підготовки бакалаврів денної форми навчання / Чиж І.Г. – К. КПІ, 2015. – 96с.

2. Розенблюм Ю.З. Оптометрия. — СПб.: Гиппократ, 1996. — 247 с.

3. Вариолинза [Електронный ресурс] / varioptic. Arctic 39N family. – Режим доступа: http://www.varioptic.com/products/variable-focus/arctic-39n/

4. Вариолинза [Електронный ресурс] / varioptic. Arctic 39N family. –
Режим доступа: http://www.varioptic.com/products/variable-focus/arctic-39n/

5. Рідкі лінзи [електронний ресурс] / metrologicЖидкие линзы. – Режим доступу: https://www.metrologic.ru/index.php/zhidkie-linzyi.html

***Науковий керівник-проф. Чиж І. Г.***

**УДК 681.785**

*В. П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

***Анотація.*** В даній статті розглядається ефективність використання оптичної обробки інформації. Це спричинено визначенням нового методу обробки інформації, який матиме підвищену швидкість обробки інформації. Особлива увага приділена порівнянню оптичних та цифрових методів обробки інформації. Автором проаналізовані ключові переваги і недоліки кожного з методів.

***Ключові слова:*** методи оптичної обробки інформації, аналогові і цифрові системи оптичної обробки інформації

## ВСТУП

Разом зі стрімким розвитком інформаційних технологій зростає інтерес до вирішення проблеми підвищення швидкості обробки інформації. Ця необхідність постала зараз у зв'язку з створенням «хмари» – серверу (або групи серверів), на якому користувач, застосовуючи мережу Інтернет, зберігає інформацію (хмарне сховище даних) або робить обчислення (хмарні обчислення). Тобто з'явилась взаємодія великих та швидко змінюваних даних. Великі дані потребують громіздких обчислень, які при цьому мають швидко виконуватись. З огляду на те, що розміри електричних пристроїв обробки інформації зменшаться до менш ніж 5 нанометрів протягом найближчих 10 років [1], очікується, що масштабування скоро досягне фізичних меж або досягне точки, де питання вартості та надійності набагато переважатимуть, тобто масштабування більше не буде основним двигуном технології для розвитку цієї галузі. Це призводить до завдання розробки нових методів і систем обробки інформації, які б задовольняли вимоги, наведені вище. Одним з таких методів вважають метод оптичної обробки інформації, увага якому буде приділена в цій статті.

## ЦИФРОВІ ТА ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

В сучасній науці і техніці цифрові системи обробки інформації грають основну роль. Після появи електронної цифрової обчислювальної машини (ЕОМ) – кібернетичного пристрою, призначеного для автоматизованої обробки інформації. Цифрова обробка інформації — це арифметична обробка в реальному масштабі часу послідовності значень амплітуди сигналу, що визначається через рівні часові проміжки [2].

Цифрова обробка інформації має наступні переваги [3]:

- Гарантована точність, яка визначається тільки числом задіяних бітів – одиниць вимірювання кількості інформації.
- Досконала відтворюваність, що дозволяє ідентично відтворити кожен елемент. Це можна побачити на прикладі цифрового запису, який можна копіювати або відтворювати багатократно без погіршення якості сигналу.
- Відсутнє спотворення характеристик через температуру або старіння.
- Напівпровідникові технології дозволяють підвищити надійність, зменшити габарити, знизити вартість та підвищити швидкість роботи
- Цифрові системи обробки інформації можна запрограмувати або

перепрограмувати на виконання різноманітних функцій без зміни компонентів самої системи.

В системах цифрової обробки інформації є і наступні недоліки:

- Проекти можуть бути дорогими, особливо при великій ширині смуги сигналу. В даний час швидкісні АЦП / ЦАП або занадто дорогі, або не володіють достатнім розділенням для великої ширини смуги. На даний момент для обробки сигналів в мегагерцевому діапазоні можна використовувати тільки спеціалізовані інтегральні схеми, але вони досить дорогі. Окрім того, більшість пристроїв цифрової обробки інформації не володіють достатньою швидкістю і можуть оброблювати сигнали тільки з середньою шириною смуги.
- Розробка засобів цифрової обробки інформації забирає дуже багато часу, а в деяких випадках майже неможлива.
- У реальних ситуаціях з економічних міркувань визначають використання в алгоритмах цифрової обробки інформації обмежене число бітів. Якщо для подання змінної задіяно недостатнє число бітів, то це призводить до істотного зниження якості роботи системи.
- Швидкість обробки обмежується фізичними межами швидкості поширення електричного сигналу по чіпу і визначається часом перезарядки ланцюга.

В основі оптичних методів і систем обробки інформації лежать явища перетворення просторово-модульованих оптичних сигналів в оптичних пристроях і системах на принципах як геометричної, так і хвильової оптики. Обробка інформації в даному контексті означає перетворення, аналіз і синтез багатовимірних функцій, які описують властивості і стан об’єктів матеріального світу [4].

Таким чином, до переваг оптичних систем обробки інформації можна віднести [5, 6]:

- Велику інформаційну ємність, яка обумовлена тим, що частота оптичного випромінювання становить 1012-1016 ГГц. Вона дозволяє створити до 105 інформаційних каналів зі спектральною шириною 100 ГГц.
- Можливість багатоканальної обробки. Використання двовимірного (зображення) і тривимірного (голограми) характеру світлових полів дозволяє значно збільшити щільність і швидкість передачі інформації;
- Високу швидкодію. Оптичні системи мають високу швидкодію, тому що теоретично швидкість обробки визначається швидкістю поширення світла в середовищі, і обробка інформації в оптичній системі здійснюється за час проходження світла в цій системі. На практиці, однак, час обмежується швидкістю введення і виведення інформації.
- Багатофункціональність. Застосування оптичних методів дозволяє досить просто реалізувати різні математичні операції, зокрема, операції множення, інтегрування, перетворення Фур'є, Френеля, обчислення функції згортки, кореляції і т.д.

Недоліками даних методів і систем є:

- Для точності результатів система повинна мати високу точність

позиціювання.

- Дані методи знаходяться в процесі розробки, хоча і вважаються досить перспективними.
- Оптичні системи обробки інформації поки що є досить габаритними.
- Проектування оптичних систем обробки інформації ще не популяризовано, тобто потребує більших затрат часу та коштів.

## ВИСНОВКИ

Порівнюючи цифрові та оптичні методи обробки інформації, можна прийти до висновку, що оптичні методи інформації є ефективнішими за цифрові і дають наступні переваги при використанні:

1. Швидкість обробки інформації в середньому більша в 20-30 разів;
2. Більша ширина смуги при менших затратах коштів та ресурсів;
3. Інформаційна ємність оптичного сигналу у вигляді деякого зображення, переданого за час $\Delta t$, більше обсягу інформації, що передається за цей же час за допомогою електричного сигналу;
4. Можливість вести обробку інформації паралельно на багатьох каналах.

Не зважаючи на те, що цифрові методи обробки інформації на сьогодні продовжують розвиватися, в недалекому майбутньому з'явиться необхідність у розробці нових методів для обробки даних. Оптичні системи обробки інформації мають достатньо суттєвих переваг для витіснення в майбутньому цифрових систем, проте наразі знаходяться в процесі розробки і в більшості випадків використовуються лише експериментально.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Roadmap For Devices And Systems 2017 Edition. Metrology/ The International Roadmap For Devices And Systems: 2017 Copyright. 2018 IEEE. — Режим доступу: URL: https://irds.ieee.org/images/files/pdf/2017/ 2017IRDS_MET.pdf/ — 30.10.2018 р.
2. Круг, П.Г. Процессоры цифровой обработки сигналов : учебное пособие / П. Г. Круг. – М.: Издательство МЭИ. 2001 – 128 с
3. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов, 2-е издание: книга / , Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис; пер. з англ. И. Дорошенко, А. Назаренко. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
4. Богатырева, В.В. Оптические методы обработки информации : учебное пособие. / В.В. Богатырева, А. Л. Дмитриев. – СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 74 с.
5. Колобродов В. Г., Тимчик Г. С., Колобродов М. С. Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик, М. С. Колобродов. – К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – 180 с.
6. Белов П.А. Оптические процессоры: достижения и новые идеи/ П.А. Белов, В.Г. Беспалов, В.Н. Васильев, С.А. Козлов, А.В. Павлов, К.Р. Симовский, Ю.А. Шполянский / В книге: Проблемы когерентной и нелинейной оптики. — СПб, 2006. — С. 6 — 36.

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

**УДК 681.7.013.8**

*Р.А. Пашков, студент гр. ПО-81мп, к.ф.-м.н. Балахонова Н.О.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЯКОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШУМІВ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КАНАЛУ ОГЛЯДОВИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

***Анотація***. Аналіз ефективності застосування фільтрів для усунення шумів зображень, сформованих у телевізійному каналі оглядових оптико-електронних пристроїв зазвичай проводиться за допомогою статистичних метрик -середньоквадратичної помилки (MSE) та пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR). Для повної картини роботи фільтрів пропонується додати метрики SSIM (індекс структурної збіжності) та CC (нормалізовану кореляцію)

***Ключові слова:*** тепловізор, цифрова обробка зображення, метрики MSE, PSNR, SSIM, CC.

## ВСТУП

Тепловізійне зображення [1-2] формується завдяки випромінюванню об’єкта в інфрачервоній області спектра електромагнітних хвиль. Принцип роботи тепловізора заснований на різниці температури поверхні різних тіл, відмінності у коефіцієнтах відбивання або поглинання інфрачервоного випромінювання різними матеріалами. Нерівномірність нагріву поверхні дозволяє формувати картину розподілу температури на ній. При цьому можна обрати різни типи відтворення зображення – воно може бути монохромним, або кольоровим – коли співставляють певний колір на дисплеї з конкретною температурою. Перетворювання інфрачервоного зображення в електричний телевізійний сигнал супроводжується втратами корисного сигналу та його спотворенням. Це відбувається внаслідок таких факторів, як [1-2]:

- технологічні похибки - виникають під час виготовлення тепловізійного датчика;
- виникнення імпульсних шумів електричних складових пристрою під час передачі сигналу;
- низька контрастність досліджуваних об’єктів, порівняно з приладами спостереження видимого діапазону.

Для усунення недоліків, перерахованих вище, використовують фільтрацію шумів зображень тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв. Але разом із фільтрацією постає питання стосовно критеріїв ефективності роботи фільтрів. Тому аналіз існуючих критеріїв ефективності фільтрації шумів двовимірних монохромних зображень є актуальним.

## МЕТРИКИ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Оскільки зображення, що формується в тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв є монохромним, його можна відобразити за допомогою двовимірної матриці інтенсивностей $S\left(x_i, y_j\right)$. Для тестування роботи знешумлюючих фільтрів створюється тестове ідеальне зображення [2-3] $S_0\left(x_i, y_j\right)$ і формуються спотворенні зображення $S\left(x_i, y_j\right)$. Враховуючи випадковість виникнення шуму, якість цифрових зображень оцінюється стандартними статистичними характеристиками випадкової величини.

Основною величиною, яка може оцінити різницю між двома наборами даних, є дисперсія - MSE – середньоквадратична помилка (Mean Square Error):

$$MSE\left(x_i, y_i\right) = \frac{1}{Nx \cdot Ny} \sum_{i=1}^{Nx} \sum_{j=1}^{Ny} \left( S\left(x_i, y_j\right) - S_0\left(x_i, y_j\right) \right)^2, \quad (1)$$

де $S\left(x_i, y_j\right)$ – зображення із шумом, $S_0\left(x_i, y_j\right)$ – ідеальне зображення із пікселями $x_i, y_j$. Нульове значення середньоквадратичної помилки означає повний збіг зображень $S\left(x_i, y_j\right)$ та $S_0\left(x_i, y_j\right)$. Зі зростанням відмінностей між $S\left(x_i, y_j\right)$ та $S_0\left(x_i, y_j\right)$ значення MSE зростає.

Другою величиною, яка може дати відомості стосовно відмінності між двома наборами даних є PSNR – пікове співвідношення сигнал/шум (Peak Signal-to-Noise Ratio), яке визначається формулою:

$$\mathrm{PSNR}\left(x_i, y_j\right) = 10 \cdot \log_{10}\left( MAX\left(S_{i,j}\right)^2 \Big/ MSE \right), \quad (2)$$

де $MAX\left(S_{i,j}\right)$ – різниця між максимально можливим і мінімально можливим значеннями пікселів, що для розрядності 8-м біт приймає значення 255:

$$\mathrm{PSNR}\left(x_i, y_j\right) = 20 \cdot \log_{10}\left( 255 \big/ \sqrt{MSE} \right), \quad (3)$$

Метрика $\mathrm{PSNR}\left(x_i, y_i\right)$ вимірюється у ДБ і чим ближче відфільтроване зображення до оригіналу, тим більше значення приймає метрика PSNR, і тим вище вважається якість відфільтрованого зображення.

Індекс структурної збіжності – SSIM (Structural Similarity) приймає значення від 0 (незбіжність) до 1 (повна збіжність) [5]:

$$\mathrm{SSIM}\left(x_i, y_i\right) = \frac{\left(2\mu_x\mu_y + c_1\right)\left(2\sigma_{xy} + c_2\right)}{\left(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1\right)\left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2\right)}, \quad (4)$$

де $\mu_x$, $\mu_y$, – математичні сподівання - для зображень $x$ та $y$ мають сутність середньої інтенсивності зображення

$$\mu_x = \frac{1}{Nx} \sum_{i=1}^{Nx} x_i, \quad (5)$$

$Nx$ – загальне число пікселів у зображенні;

$x_i$ – значення інтенсивності *i-го* пікселя;

$\sigma_x^2$, $\sigma_y^2$ – дисперсія, що для зображень має сутність контрастності;

$\sigma_{xy}$ – коваріація $x$ і $y$:

$$\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{Nx - 1} \sum_{i=1}^{Nx} \left(x_i - \mu_x\right)\left(y_i - \mu_y\right), \quad (6)$$

та $c_1 = \left(L \cdot k_1\right)^2$ , $c_2 = \left(L \cdot k_2\right)^2$— динамічний діапазон значень пікселів, де константи $k_1 = 0.01$ та $k_2 = 0.01$, а $L = 2^p$ , де $p$ - кількість біт на піксель. Як правило, метрика SSIM розраховується на вікно зображення розміром 8×8

пікселів і значення +1 має тільки при повній автентичності зображень – ідеального та з шумом.

Для аналізу даної метрики всього зображення, як цілого, будемо застосовувати метрику, позначену нами як MSSIM - середнє арифметичне від всіх значень SSIM для всіх вікон з 8×8 пікселів.

Розбіжність між двома величинами дає нормалізована кореляція — CC. що приймає значення від 0 (розбіжність) до 1 (повний збіг матриць) [5]:

$$CC = \sigma_x \sigma_y \big/ \sigma_{xy}, \tag{7}$$

Таким чином, крім стандартних статистичних оцінок роботи фільтрів по видаленню шумів з двомірних зображень, пропонується розраховувати метрики SSIM, MSSIM та CC для визначення найкращої збіжності між тестовим та знешумленим зображеннями.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семёнов В. Цифровая обработка сигнала микроболометра // Современная электроника. — 2008. — № 3. — С. 44-47.
1. Колобродов В. Г. Проектування тепловізійних систем спостереження: підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.
2. Игнатьев В. Ю., Матвеев И.А., Мурынин А.Б., Трекин А.Н. Оценка качества изображений при повышении разрешения на основе пространственного спектрального синтеза // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. № 1. С. 124-141. 5
3. Гонсалес Р., Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс М.: Техносфера, 2006. 1072 с 6
4. Визильтер Ю. В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов. Механика, управление и информатика. 2011. № 6. С. 11–44.

**УДК 621.387.462**

*М.Л. Пінчук, студент гр. ПО-71мп, к.ф.-м.н., доц. Богатирьова Г.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИЧНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ В ОПТИЦІ ШОРСТКИХ ПОВЕРХОНЬ

***Анотація:*** Розглянуто закономірності відбивання поляризованого випромінювання від границь розділу шорстких поверхонь із заданими оптичними властивостями. Запропоновані методи вимірювання оптико-геометричних параметрів шорстких поверхонь на основі стокс-поляриметричних вимірювань .

***Ключові слова:*** Параметри Стокса, поляризація, дифракція, розсіяння, аналізатор, розсіювання.

## ВСТУП

Теорія розсіяння випромінювання шорсткою поверхнею базується на представленні поверхні у вигляді неперервного випадкового набору висот та впадин а також кутів нахилу нерівностей або хаотично розподілених мікроплощин. Структура реальної шорсткої поверхні буде залежати від технології її отримання. Так, при травленні поверхні переважають гладкі нерівності, а при шліфуванні абразивом реалізуються поверхні із нерівностями у вигляді статистичного набору мікроплощин. Дана робота базується на можливості застосування стокс поляриметричних вимірювань для досягнення максимальної точності вимірювань шорсткості оптичних поверхонь.

## ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ

Перетворювання інтенсивності і стану поляризації світла в результаті його взаємодії з об’єктом дуже багато описуються за допомогою матриці перетворення параметрів Стокса поля випромінювання – матрицею розсіяння (1).

$$F_{ik} = \begin{matrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} & F_{24} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} & F_{34} \\ F_{41} & F_{42} & F_{43} & F_{44} \end{matrix} \qquad (1)$$

Елемент матриці, що складається на перехресті І-ного рядку і К- того стовбця представляє собою міру перетворення К-того параметру Стокса опромінюваного пучка в І-ний параметр Стокса результуючого пучка.

В багатьох виразах стокс-параметричні описи стану поляризації світла виходять більш зручними, порівняно з традиційними. Головна перевага цього методу в тому , що стан поляризації описується в термінах інтенсивності-безпосередньо вимірюваних величин.

Параметри Стокса (2) можна визначити через складові вектора комплексних амплітуд поля, існує простий зв’язок цих параметрів з складовими тензора когерентності поля.

Експериментально параметри стокса знаходяться через поляризовані компоненти поля випромінювання:

$$S_1 = I_0 - I_{90} = I_{45} - I_{-45} = I_{пр} + I_{лев} \qquad (2)$$

$$S_1 = I_0 - I_{90}$$

$$S_1 = I_{45} - I_{-45} \tag{3}$$

$$S_1 = I_{пр} + I_{лев}$$

Одним із можливих способів розрахунку елементів матриці розсіяння через параметри Стокса відповідає формулам(4):

$$F_{i1} = 0,5[S_i^1 + S_i^2]$$

$$F_{i2} = 0,5[S_i^1 + S_i^2] \tag{4}$$

$$F_{i3} = S_i^3 + F_{i1}$$

$$F_{i4} = S_i^4 + F_{i1}$$

Де $S_i^k$ параметри Стокса перетвореного поля випромінювання. Індекси I-4 відповідають умовам випромінювання.

Елементи матриці розсіяння мають статистичний сенс. Статистика проявляється хоча б в тому , що 16-ю дійсними числами можна повністю описати загальні властивості скільком завгодно сильно розсіяних частинок з довільно складним механізмом розсіяння. При деяких довільно загальних умов структура матриці розсіяння спрощується. Окремі елементи матриці можуть виявитись рівносильними з однаковими або протилежними знаками, деякі рівні нулю. Матриця виявляється в окремому сенсі симетричною відносно своєї головної діагоналі. Симетрія матриці являється наслідком статистичної симетрії оптичних характеристик розсіяного середовища, обумовленою як конфігураційними факторами, так і оптичними властивостями розсіяння частинок.

В літературі досить змістовно викладене питання про характер симетрії матриці розсіяння стосовно до розсіяння часток. Подібні результати виходять і в процесі аналітичного рішення задачі розсіяння світла з шорсткими поверхнями бугеровського типу з урахування дифракції.

## ДОСЛІДИ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ТА ЗНАХОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАТРИЦІ

Симетрія матриці розсіяння являється універсальним властивістю розсіювачів і відбиває деякі загальні характеристики цих об’єктів. Це справедливо для розсіювальних поверхонь різних походжень.

В різних дослідженнях поляризаційні експерименти ставляться неоднакові. Деякі із них мають висновки про поляризаційні властивості об’єкту, отримані на основі експериментів, виконаних в лінійно поляризаційному світлі, причому і поляризатор, і аналізатор виділяють P- і S- компоненти світла. В інших роботах опромінювання об’єкту проводилось також лінійно-поляризованим світлом з азимутом поляризації 45 градусів. Проводився дослід з освітленням об’єкта світлом P- і S- поляризацією без використання аналізатора. Часткові висновки про оптичні властивості об’єктів, отримані в кожній із цих робіт експериментально достатньо обумовлені. Однак, вони можуть виявитись

недостатніми для судження про справжні механізми взаємодії, та природи явища світлорозсіяння.

В роботі підмічено несумісність результатів згаданих випробувань а це значить що із таких часткових результатів неможна синтезувати загальне уявлення. Труднощі порівняльного аналізу і інтерпретації результатів поляризаційних дослідах визначаються відсутністю видимих взаємозв'язків поляризаційних характеристик розсіяного світла.

В роботі кут максимуму степені поляризації світла зміщується з збільшенням мікрорельєфу зразку в область більших кутів випромінювання і нагляду. Для аналогічних зразків досліджених в нашій роботі мають місце зміщення кута, згідно максимуму деполяризації, в область менших кутів при збільшені мікрорельєфу зразків. Відмінності в поведінці поляризаційних характеристик розсіяного світла з цього можна зробити висновки про механізм розсіяння світла шліфованим склом. Своєчасним є представлення зауваження про невідповідність результатів досліджень, зроблені в роботі, в висновках яких автори виділили увагу як раз умовам експериментів.

Новітня поляризаційна методика випробувань, основана на вектор-параметричному опису поля випромінювання і дозволяє знайти всі 16 елементів матриці розсіяння, забезпечує повноту оптичного експерименту, в аспекті фотометричних і поляризаційних характеристик світла.

На основі вимірювань, виконаних в роботі, можна побудувати методику знаходження чотирьох елементів, які находяться в лівому верхньому кутку 2х2 матриці розсіяння. Використовуючи сукупність вимірювань, зроблених в роботі , можна також знайти елементи лівого верхнього кутка 2х2 матриці. Однак в загальному випадку знаходяться лише елементи $F_{11}$ і $F_{12}$. Подібний підхід до результатів роботи знаходить, що отримана в цій роботі кількість інформації відповідає знаходженню елементів матриці які знаходяться в лівому верхньому 3х3 кутку. Очевидно що порівняно велика область характерна для результатів роботи. З позиції роботи ці результати пояснити не вийде. Але з цієї позиції можна пояснити результати роботи.

Статистична симетрія неоднорідності, яка складає розсіюваний об'єкт виражається в симетрії матриці розсіяння. Тільки в цьому випадку поли $F_{12} = F_{21}$ степінь поляризації розсіяного світла $P_*$ при опромінені простим світлом і аналізовані поляризаційним фільтрами з кутом поляризації від 0 до 90 градусів, однакові по величині при опромінені об'єкту світлом P і S поляризації і при відсутності аналізатора, і виражається значеннями елементів $F_{12} = F_{12} \setminus F_{11}$ або $F_{21} = F_{21} \setminus F_{11}$. Степені поляризації розсіяного світла $P_{\|}$ і $P_{\perp}$ коли поляризатор і аналізатор виділяються P- і S- компоненти світла вони виражаються відношеннями(5,6,7):

$$P_{\|} = \left[ \frac{F_{22} + F_{21}}{1 + F_{12}} \right] = \left[ \frac{F_{22} + P_*}{1 + P_*} \right]$$
$$P_{\perp} = \left[ \frac{F_{22} + F_{21}}{1 + F_{12}} \right] = \left[ \frac{F_{22} + P_*}{1 + P_*} \right] \qquad (5)$$

Або:

$$P_{\parallel} + P_{\parallel}P_{*} = F_{22} + P_{*}$$
$$P_{\perp} + P_{\perp}P_{*} = F_{22} + P_{*} \qquad (6)$$

Тоді:

$$P_{*} = \frac{P_{\parallel} + P_{\perp}}{2 + (\mathrm{P}_{\parallel} + P_{\perp})} = \frac{\Delta_{\parallel} + \Delta_{\perp}}{\Delta_{\parallel} + \Delta_{\perp}} \qquad (7)$$

Де $\Delta_{\parallel} = \mathrm{I} - \mathrm{P}_{\parallel}$ і $\Delta_{\perp} = \mathrm{I} - \mathrm{P}_{\perp}$ відповідні степені деполяризації світла. Із формули витікає зворотня залежність величин $P_{*}$ і $P_{\parallel}$ або $P_{\perp}$.

Таким чином є зрозумілий факт протилежне зміщення кутів, відповідних максимумів величин $P_{*}$ і $\Delta_{\parallel}$ з збільшеним мікрорельєфом зразків. Підмітимо що величини $P_{*}$, отримані нами експериментально і шляхом обрахунків, згідно формулі на основі $P_{\parallel}$ і $P_{\perp}$, також отримані експериментально.

**ВИСНОВОК**

Задачею цієї роботи було дослід явища розсіяння світла об’єктами з шероховатою поверхнею виявлення слою мікротріщин прилягаючих до рельєфного шару шліфованого скла. Та спрощення обрахунку шорсткості поверхонь.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Топорец А.С. Оптика шероховатой поверхности. – Ленинград: Машиностроение, 1982.
2. Бас Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972.
3. Garcia N., Gelli V. Exact multiple scattering waves from random rough surfaces // Optics Communications. – 1979. – 30, No.3. – P.278-281.
4. Кошелёв Е.М., Бородулин В.П., Зембрицкий А.П., Пузанов А.А. Диффузное отражение света от неровной поверхности // Вестник Моск. ун-та, сер. Физика, астрономия. – 1977. – 18, вып.
5. – С.25-34. 5. Полянский В.К. Матрица рассеяний излучения на матовой поверхности в дифракционном приближении // Оптика и спектроскопия. – 1968. – 24, вып. 2. – С.989-994.
6. Сахновский М.Ю., Сербунов Я.М., Кунецкий М.Г. Применения матриц отражения для изучения оптических свойств шероховатых поверхностей // Журнал прикладной спектроскопии. – 1983. – 39, вып.1. – С.118-125.

***Наук.керівник-, к.ф.-м.н., доц. Богатирьова Г.В.***

**УДК 681.7.535**

*Д.О. Рудюк, студент гр. П0-71мп; к.т.н., доц. Сокуренко В.М..*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО НОВІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ КОМПАКТНИХ СКАНЕРІВ РАЙДУЖКИ

***Анотація.*** Метою роботи є пошук нових інженерних рішень для компактних сканерів. В роботі досліджено дві оптичні системи сканерів, синтезовані на основі сучасного методу глобальної оптимізації. Проведене чисельне моделювання підтверджує високу якість зображення отриманих систем.

***Ключові слова:*** сканер, райдужка ока, оптична система, об'єктив, асферична поверхня, якість зображення, глобальна оптимізація

## ВСТУП

В даний час поширеними є різні методи та засоби біометричної автентифікації. Один з надійних методів полягає на фотореєстрації зображення райдужки ока. Згідно з даними виробників похибка помилкового допуску особи (FAR) у таких системах не перевищує 0,0001% [1]. Однак, існуючі апаратні засоби є доволі габаритними та вимагають відносно великої робочої відстані, яка має перевищувати, щонайменше, десятки мм. Крім того, вони не забезпечують велику частоту проведення процедур зчитування.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На рис. 1 представлені сучасні моделі сканерів райдужки.

Система CMITECH EMA-30 (рис. 1, *а*) розпізнавання райдужної оболонки очей призначена, переважно, для систем контролю доступу фізичних осіб до різних приміщень [2]. Для її належного функціонування робоча відстань (від приладу до райдужки) має бути в межах від 315 до 345 мм. Вага дорівнює 790 г.

*а*) *б*) *в*)

Рис. 1. Комерційні варіанти сучасних сканерів райдужки ока:
*а* – монокулярний сканер CMITECH EMA-30 [2]; *б* – бінокулярний сканер CMITECH BMT-20 [2]; в – сканер на базі камери смартфона компанії Samsung

Бінокулярний варіант CMITECH BMT-20 (рис. 1, *б*) розроблений для реєстрації особи по зображенню райдужної оболонок обох очей [2]. Він підходить для великих національних та громадянських ID програм. Робоча відстань – від 350 до 380 мм, а вага – 680 г.

Основний функціонал сканерів райдужки може бути реалізований також на базі цифрових камер високої роздільної здатності та відповідного

програмного забезпечення в сучасних мобільних телефонах (рис. 1, *в*). Типова робоча відстань знаходиться в діапазоні від 250 до 350 мм.

Метою роботи є знаходження нових інженерних рішень для мініатюризації сканерів райдужки ока.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Головна ідея, покладена в основу даної роботи, полягає у розміщенні мініатюрного оптико-електронного модуля сканера на оправі класичних окулярів в безпосередній близькості до ока.

Освітлення райдужки пропонується здійснити за допомогою світлодіоду білого світла або світлодіоду інфрачервоного випромінювання. Сам світлодіод буде розташований на оптичній осі приладу, з якою суміщається візуальна вісь ока людини під час процедури зчитування. В результаті шкідливе відблискове зображення від зовнішньої поверхні рогівки опиниться в центральній зоні зображення зіниці, а тому не перешкоджатиме процедурі розпізнавання райдужки.

Фотореєстрація зображення райдужки відбувається за допомогою ПЗЗ-матриці з діагоналлю чутливої площадки 1/3 дюйми. Освітлювальний та фотоприймальний канали мають спільний елемент – світлоподільний куб малого розміру (зі стороною кубу від 6 до 10 мм).

В даній роботі було синтезовано дві оптичні системи:

- система А – чотирилінзова оптична система зі сферичними поверхнями;
- система Б – трилінзова оптична система з асферичними поверхнями другого порядку.

Параметричний синтез зазначених двох систем було здійснено в програмі проектування оптичних систем “PODIL”.

На рис. 2-5 показані оптичні схеми та характеристики якості зображення.

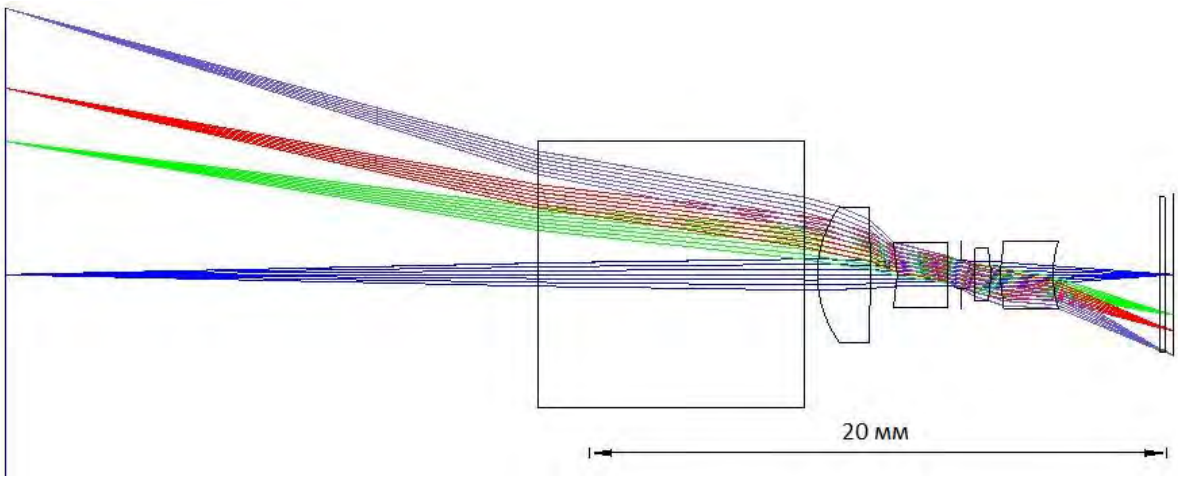



Рис. 2. Оптична схема з ходом променів чотирилінзової системи

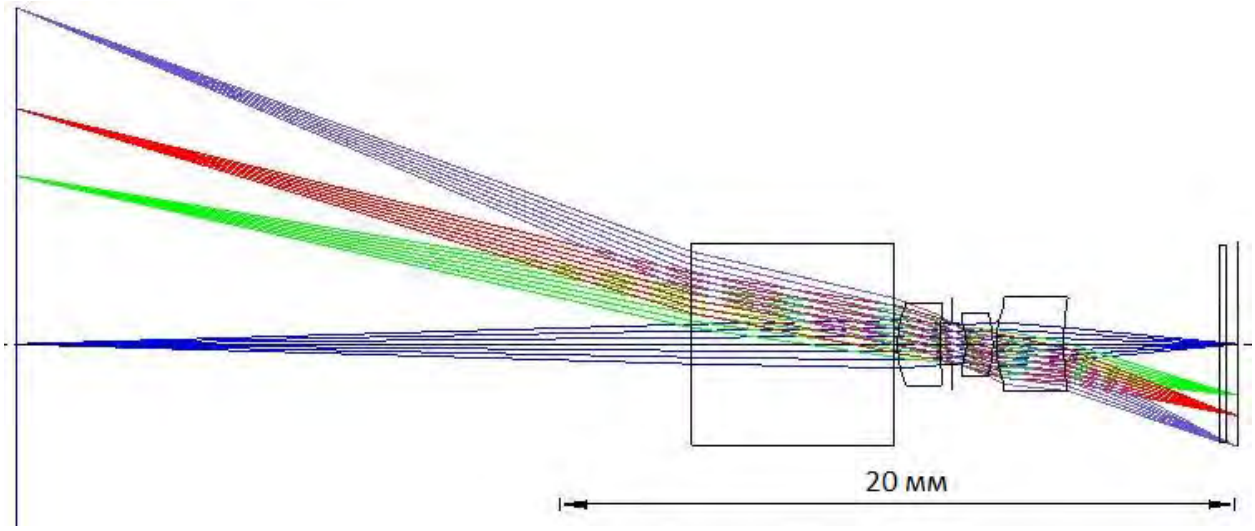
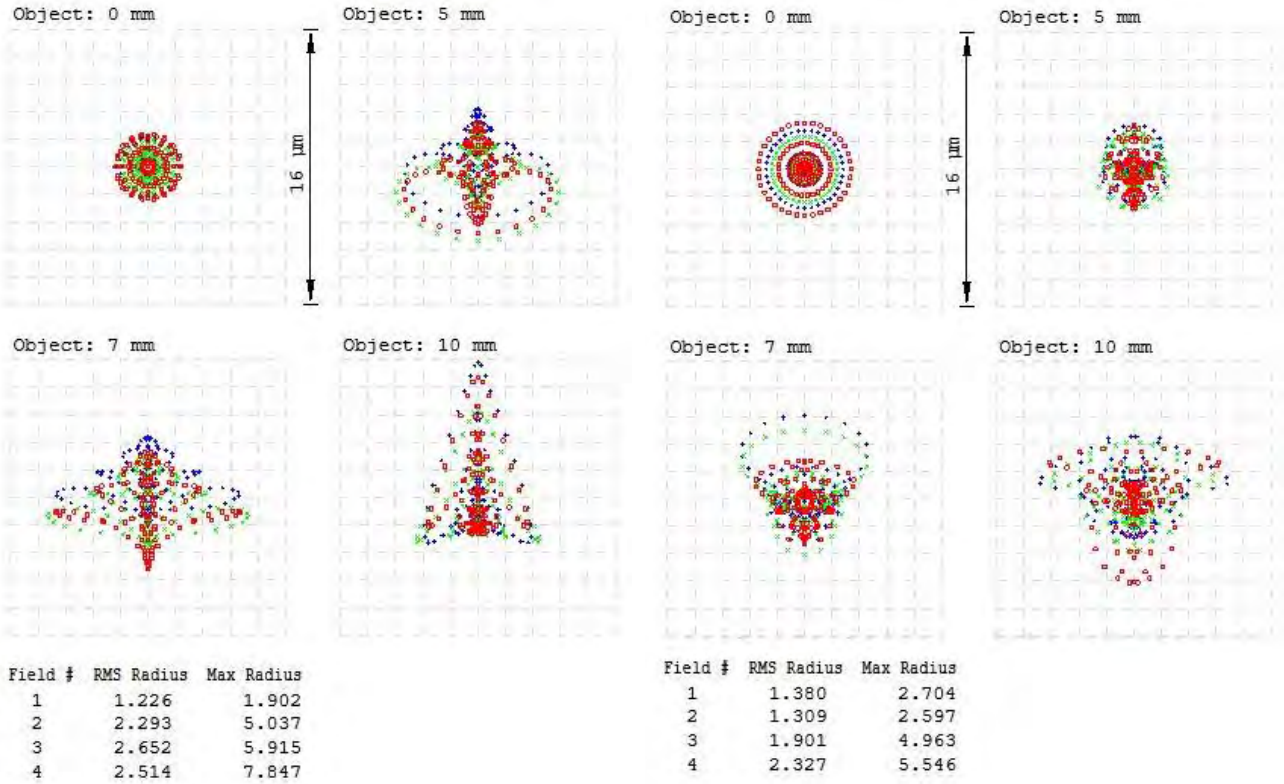
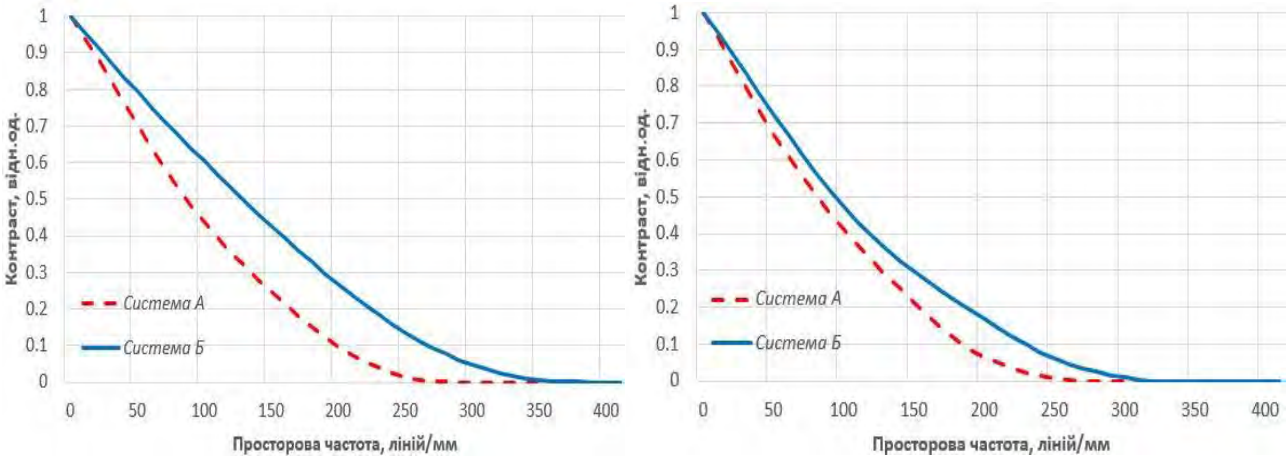



Рис. 3. Оптична схема з ходом променів трилінзової системи




*а*) *б*)

Рис. 4. Точкові діаграми (в площині зображень):
*а* – для чотирилінзової системи; *б* – для трилінзової системи




*а*) *б*)

Рис. 5. Графіки поліхроматичних дифракційних МПФ розроблених оптичних систем: *а* – для осьового пучка; *б* – для периферійного пучка

## ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновані нові інженерні рішення для сканерів райдужки. Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило можливість отримання мініатюрних сканерів райдужки ока з високою якістю зображення по всьому полю зору.

Розроблений трилінзовий варіант оптичної систем сканера, складений з асферичних поверхонь другого порядку, забезпечує більш високу якість зображення та менші габарити. В свою чергу, перевагами чотирилінзової системи, що містить лише сферичні оптичні поверхні, є менші витрати на виготовлення та краща технологічність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лисенко А.М., Мельник О.С. Застосування біометричних систем для ідентифікації особи [Текст] // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка, серія «Юридичні науки». – 2004. – №60- 62. – с. 87-91.

2. Биометрические системы доступа по радужной оболочке глаза. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.biometricsecurity.ru/index.php?page=/products/bio

3. Гарасим, Ю. Дослідження та аналіз перспективних технологій ідентифікації особи в захищених корпоративних мережах зв'язку [Текст] / Ю. Р. Герасим, Т. Б. Крет. // Системи обробки інформації. / Харківський університет Повітряних Сил. – 2010, вип. 3(84). – с. 7-10. – ISSN 1681-7710.

4. U.S. Patent 10,101,565 B2. Imaging Lens and Imaging Apparatus. R. Nagami and T. Suzuki. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Oct. 16, 2018.

***Наук.керівник- к.т.н., доц. Сокуренко В.М.,***

**УДК 338.5.018.2**

*В.О. Цовбун, студентка гр.ПО-72 мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПРОБЛЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕДИЧНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ В УКРАЇНІ

***Анотація.*** Коротко представлено загальну інформацію про тепловізійні прилади та системи, їх основні складові. Розглянуто переваги та важливість медичної термографії та перспективи її розвитку в Україні. Розглянуто ціновий діапазон вартості тепловізорів в цілому та окремих основних компонентів приладу. Проаналізовано та узагальнено цінову політику провідних виробників тепловізорів на світому ринку. Розглянуто можливі варіанти зменшення ціни на прилади та зроблено висновки щодо доцільності власного виробництва тепловізійних приладів в Україні.

***Ключові слова:*** тепловізор, медична теермографія, тепловізійні системи.

## ВСТУП

Однією з перспективних та важливих напрямків застосування тепловізійних приладів (ТП) сьогодні є медична термографія. Через високу вартість якісних іноземних тепловізорів термографія в Україні не має належного розвитку та популярності, тому розвиток власного виробництва тепловізорів в Україні є актуальним та необхідним завданням. Складність вирішення проблеми зумовлена особливостями конструкцій основних складових тепловізійного приладу.

## ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЇ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Сьогодні тепловізійні системи (ТС) знаходять широке застосування в найрізноманітніших напрямках діяльності людини (охоронні системи, приціли для зброї, діагностичне обслуговування механізмів, автомобільні пристрої, неруйнівний контроль деталей, астрономія, ветеринарія тощо). [1] Одним з перспективних, але і проблематичних, для України є напрямок медичної термографії, яка являє собою пасивну діагностику захворювань за допомогою тепловізорів.

Тепловізор (або інфрачервона камера) являє собою оптико-електронний прилад для візуалізації температурного поля та вимірювання температури. Основним завданням тепловізійних систем (ТС) є перетворення невидимого інфрачервоного випромінювання теплоконтрастних об'єктів спостереження в аналог видимого зображення на екрані відеооглядового пристрою для їх виявлення, розпізнавання і дослідження. Функціональна схема тепловізійної системи зображена на Рисунку 1.[2]

Рисунок 1. Узагальнена функціональна схема ТС

Головними складовими ТП є об’єктив та приймач випромінювання (ПВ). Саме ці два компоненти визначають вартість тепловізора на 90%. [1,2]

ПВ або детектори є найбільш важливими елементами ТС, так як вони здійснюють перетворення слабких потоків випромінювання з низьким контрастом в електричний сигнал. У більшості сучасних тепловізорів використовують матричні приймачі теплового випромінювання, зібрані із мікроболометрів – резисторів, електричний опір яких змінюється залежно від поглинутого теплового випромінювання. Від кількості мікроболометрів у матриці залежить якість зображення і, звісно ж, вартість тепловізора. [1,3] Таким чином виробництво матриць складне та наукомістке, їх виготовляють лише декілька компаній у світі (Flir, Ulis, Sndc тощо).

Для зменшення загальної вартості та спрощення конструкції ТП використовують теплові ПВ без охолодження. Такі тепловізори є компактними, працюють при кімнатній температурі та мають миттєву активацію. [1,3] Проте у випадку застосування тепловізорів в медицині доцільно використовувати ПВ з кріогенним охолодженням, оскільки матриця при своїй роботі також нагрівається та випромінює інфрачервоне світло створюючи цим зайвий шум. ТП з кріогенним охолодженням дозволяє отримати надзвичайно високу точність зображення (такі тепловізори розрізняють об’єкти з різницею температур у 0,1 градуса Цельсія) [1] , що є необхідним в отриманні фототермограм задля їх точного та детального аналізу.

Іншою і головною проблемою тепловізорів є об'єктиви. Найпоширенішим матеріалом для оптики об'єктиву ТП є дуже дорогий матеріал - чистий германій, який, на відміну від звичайного скла, що не пропускає теплове випромінювання, є прозорим для теплових інфрачервоних хвиль. Через високу вартість матеріалу вартість об'єктива становить близько 45% вартості всього приладу. [2]

В період із січня 2016 по 2018 року його ціна на світовому ринку коливалася в межах 1000$ до 1750$ за кг. [4] Аналогами германію, для виготовлення лінз є інші, але також дорогі, матеріали: селенід цинку, сульфід цинку, флюорид кальцію та халькогенідне скло. [2] Таким чином вартість лише одного інфрачервоного об’єктива становить до 50% вартості ТП.

Вартість тепловізора залежить як від окремих компонентів, так і від параметрів, якості зображення та фірми виробника. Ціновий діапазон якісних приладів розпочинається від близько 600 $. [5] Професійні тепловізори вищого рівня від провідних виробників таких як Dali Technology, Flir Systems мають вартість від 60 000 грн. і вище. [5]

**Метою роботи** є підтвердження важливості розвитку виробництва тепловізійних приладів в Україні, пошук варіантів максимально здешевити тепловізори (за умови збереження якісного зображення), зробивши їх більш доступними для медичних закладів, та самої послуги для пацієнтів.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ТС знаходять все більше застосування в різних напрямках медицини для виявлення новоутворень, діагностування захворюваня, контролю та

моніторингу вже існуючих проблем з погіршенням здоров'я. Медична термографія сьогодні є перспективним напрямком інвестування та розвитку біомедицини в цілому. Такий метод діагностування є безпечним, безконтактним, не має обмежень у віці пацієнтів та дозволяє на досить ранніх стадіях виявити патології та зміни всередині організму людини. Термографія в перспективі – це нові технології, які свідчать про технічний розвиток країни та значного підвищення рівня медицини в Україні.

Проте через високу вартість обладнання, яке є іноземним, та компонентів приладів термографія в Україні не є поширеним методом діагностики та моніторингу патологій різного походження. Новий напрям сьогодні замінюють більш громісткими та застарілими приладами, проведенням шкідливих та обмежених в умовах застосування процедурами, які не завжди дають змогу вчасно виявити патології через недостатню якість та точність отриманих результатів.

Доцільно налагоджувати власне виробництво ТС в Україні задля зменшення їх загальної вартості та більшої доступності для медичних центрів та клінік. Для налагодження виробництва необхідним є також інвестування в спеціальне обладнання для виготовлення приладів. Варіантом зменшення вартості приладу може бути також закупка закордонних розробок та окремих складових (оптики об’єктиву, мікроболометричних матриць) і власне українське виготовлення корпусу, деталей приладу та збірка ТП в цілому.

## ВИСНОВКИ

Медична термографія є сучасним та перспективним напрямком медицини, яка варта інвестування та розвитку в Україні. Проте проблеми виробництва тепловізорів в Україні полягають у високій собівартості сировини для виробництва приладів, відсутності належної кількості обладнання для виготовлення компонентів тепловізорів. Налогодження виробництва тепловізійних систем в Україні дало б значний поштовх розвитку термографії як процедури, адже значно зменшило б ціну на тепловізори, зробивши їх більш доступними та поширеними в застосуванні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колобродов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): підруч. / В. Г. Колобродов, Н. Шустер. — К. , 1999. — 340 с.
2. Ачасова А. Тепловізори : секрети популярності [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://www.50northspatial.org/ua/about-thermal-imaging-cameras/
3. Принципи роботи тепловізора [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://techtoday.in.ua/news/bachiti-vnochi-yak-uden-29309.html
4. Германий. Цена на мировом рынке [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://www.infogeo.ru/metalls/worldprice/?vid=5
5. SIMVOLT. Маркет вимірювальних приладів [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://simvolt.ua/teplovizory-ua/

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

# Секція 3.
# Ефективність автоматизованих виробничих систем та технологій приладобудування

**УДК 658.51.015**

*В.М. Бодашко, студент гр. ПБ-71мп, Федочук В.Л., студент гр. ПБ-51*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

***Анотація***. Задача ідентифікації являється ключовою при побудові систем керування. Характерною особливістю проблеми керування являється неможливість проведення експериментів над реальною системою. Проте, SCADA-системи дають змогу в реальному часі відслідковувати стан процесів, що відбуваються в автоматизованій системі керування технологічним процесом механічної обробки та ідентифікувати параметри технологічного процесу.

***Ключові слова:*** АСК ТП механічної обробки, SCADA, ідентифікація параметрів технологічного процесу.

## ВСТУП

Сучасні підприємства це великі та складні виробничі комплекси, які використовують науково- і ресурсномісткі технологічні процеси. З кожним збільшенням і ускладненням процесу виготовлення, ускладнюються і системи управління, як технологічними процесами, так підприємством в цілому. В даний час виробництво характеризується широким впровадженням систем автоматизації, комп'ютеризованих інтегрованих виробництв та гнучких виробничих систем, що призводить до появи нових систем з керуючими засобами. На рівні управління технологічними процесами та виробництвом в цілому інформаційна підтримка прийняття рішень здійснюється автоматизованими системами керування, де функції моніторингу забезпечують розподілені системи спостереження та керування SCADA. Але ключовою задачею побудови систем керування є задача ідентифікації параметрів технологічних процесів виготовлення виробів.

## ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Технологічний процес механічної обробки це сукупність операцій з обробки або перетворення сировини, реалізованих на спеціальному обладнанні з метою отримання продукту з заданими споживчими властивостями. Будь-який технологічний процес, як об'єкт керування, характеризується набором параметрів або ідентифікаторів, за значеннями яких можна сказати про його протікання. В [1] вказано, при розробці нових технологічних процесів передбачається, що вони протікають в стаціонарному режимі, тобто їх параметри з часом не змінюються.

Практично всі технологічні операції приладобудівної галузі внаслідок впливу та збурюючих дій на виробничу систему функціонують в умовах невизначеності. Тобто, в багатьох випадках, не можливо синтезувати прості та зручні моделі ідентифікації об'єктів, які б відображали вплив збурюючих впливів на процес роботи як окремих частин, так і технологічного процесу в цілому, та давали можливість визначати оптимальні режими роботи в залежності від умов протікання технологічного процесу.

Основним фактором, який визначає можливість синтезу таких моделей, вибір способу їх розроблення, складність та компактність є кількість обладнання, що входить у виробничу систему

Взаємодія об'єкта з навколишнім середовищем пояснює найпростіша схема (рис. 1) наведена в [2]. Вплив зовнішнього середовища на об'єкт в узагальненому вигляді зображені стрілками, спрямованими до об'єкту. Об'єкт, в свою чергу, впливає на навколишнє середовище. Цей вплив показано стрілкою, спрямованої від об'єкта та позначено через **y**, як вихідний вплив або вихідна величина об'єкта. Розглянемо вплив середовища на об'єкт, як об’єкт керування та ідентифікації. Сукупність таких дій на об'єкт можна розділити на дві групи відповідно до характеру впливу середовища на змінні стану (фазові координати) об'єкта. До першої групи входять ті впливи, які в точці прикладання змінюють змінні стану адитивно. Це означає, що сигнали, пропорційні цим впливам, підсумовуються з сигналами, пропорційними відповідним змінним стану.

Рис. 1 Взаємодія об'єкта з навколишнім середовищем

Ці дії є «вхідними», або «зовнішніми», впливами. Вхідні впливу можуть бути корисними (керуючими сигналами ***u***) і перешкодами (впливами ***f***). Друга група впливів зовнішнього середовища змінює змінні стану об'єкта побічно, зазвичай не адитивно. Ці дії призводять до зміни оператора об'єкта (системи) А, під яким розуміють закон перетворення вхідних впливів у вихідні змінні об'єкта. Другу групу впливів будемо називати операторною, а впливи - операторними.

У загальному випадку вхідні і вихідні впливу можуть бути описані певними функціями (зазвичай функціями часу). Математично відповідність між вхідною і вихідною функціями можна записати як:

$$y(t) = A(f)u(t), \tag{1}$$

де A(*f*) - оператор, що залежить від збурень (операторних впливів); y(*t*) - вектор вихідних координат об'єкта; u(*t*) ~ вектор управління (входу). Оператор об'єкта є його математичною характеристикою, тобто математичною моделлю об'єкта.

Математично оператори визначаються у відповідних просторах, тобто на множинах елементів, над якими здійснюються перетворення. Прикладами таких просторів є простори: безперервних функцій, що мають безперервні похідні до n-го порядку ($n > 0$), тощо. Множина вхідних і вихідних сигналів об'єктів і систем можуть розглядатися як ті чи інші метричні простори [3]. Формально оператор характеризується структурою і параметрами. Таким

чином, завдання ідентифікації в загальному вигляді можна ставити як задачу визначення оператора об'єкта, що перетворює вхідні впливи у вихідні.

Як вже зазначалось вище, в загальному вигляді задача ідентифікації параметрів технологічного процесу механічної обробки полягає в визначенні оператора об’єкту, який перетворює вхідні впливи в вихідні. У зв’язку з цим виділяють задачі структурної та параметричної ідентифікації.

При структурній ідентифікації визначають структуру та вид оператора об’єкту, або іншими словами вид математичної моделі об’єкту. Після того як математична модель об’єкту визначена, проводять параметричну ідентифікацію, що заключає собою визначення числових параметрів математичної моделі.

Задачею структурної ідентифікації являється представлення реального об’єкту керування у вигляді математичної моделі. Конкретний вибір математичної моделі залежить від типу об’єкту. В якості математичних моделей технологічної систем виготовлення виробів застосовують диференційні рівняння в звичайних і часткових похідних. При вирішенні задач керування перевагу віддають моделям в просторі станів і структурованим моделям, які описують диференційні рівняння в звичайних похідних.

Задачу параметричної ідентифікації можливо сформулювати наступним чином. Нехай є повністю спостережуваний і контрольований об’єкт, який задається рівняннями стану

$$\begin{aligned} dx/dt &= Ax + Au, \\ y &= Cx, \\ X(t0) &= x(0) \end{aligned} \tag{2}$$

де B – *n*-мірний вектор – стовпчик, а C – *n*-мірний вектор – рядок, A – квадратна матриця розміром *n* x *n*. Елементи цих векторів A, B і C невідомі числа. Задачею ідентифікації є визначення цих чисел.

Під ідентифікацією далі будемо розуміти знаходження параметрів технологічного процесу, припускаючи, що рівняння моделей заздалегідь готові і задаються за допомогою узагальненої структурної схеми об’єкта (рис. 2), тобто будемо розглядати питання параметричної ідентифікації [4].

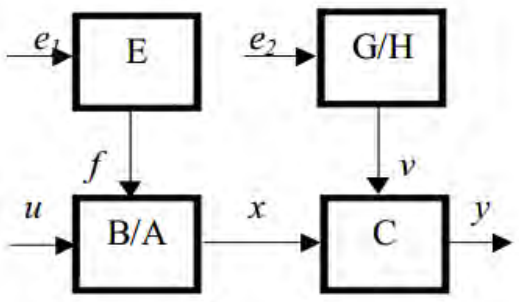



Рис. 2 Узагальнена структурна схема об’єкта

На схемі прийняті наступні позначення:

- *u* та *y* – вхідний та вихідний сигнали, що спостерігаються при виконанні технологічного процесу;

- $x$ – скрита змінна, що не спостерігається і оцінюється опосередковано по сигналам $u$ та $y$, які отримуються в результаті перетворення в системі операторами A, B і H;
- A, B, C, E, G, H – оператори, вид яких відомий, але невідомі параметри.
- Основними постановками задач ідентифікації є:
- ідентифікація, або визначення характеристики технологічного процесу (по значенням $u$ та $y$ визначити оператори A, B і C);
- генерація випадкових сигналів з заданими характеристиками, або визначення характеристик сигналів (по значенню $f$ та $v$ визначить оператор E або G, H);
- спостереження за скритими змінними, або визначення змінних стану (по значенням $u$ та $y$, відомим операторам A, B, C, E, G, H визначити $x$).

Формально оператори характеризуються структурою та параметрами. Таким чином, задачу ідентифікації технологічного процесу механічної обробки можна поставити як задачу визначення оператору об’єкта, який перетворює вхідні впливи в вихідні.

## ВИСНОВОК

Рішення задач ідентифікації параметрів технологічного процесу механічної обробки як об’єкту керування, що здійснюється за допомогою методів параметричної та непараметричної ідентифікації, дозволяє знайти коефіцієнти передаточної функції або рівняння об’єкта, а також визначити часові або частотні характеристики об’єктів та характеристики випадкових процесів, які можуть генеруватися об’єктами. Після отримання характеристик визначається передаточна функція або рівняння об’єкту, необхідне для керування як технологічним процесом виготовлення, так й виробничою системою в цілому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 328 с.
2. А. О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. — Харків: ХНАМГ, 2006. — 185 с.
3. Щагин, А. В. Основы автоматизации техпроцессов: учеб. пособие / А. В. Щагин, В. И. Демкин, В. Ю. Кононов, А. Б. Кабанова. — М.: Высшее образование, 2009. — 163 с.
4. Касьянова Е.Н. SCADA-СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСУ ТП / Научное сообщество студентов: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сб. ст. по мат. II междунар. студ. науч.-практ. конф. № 3, 2016. — 128 с.

***Наук. керівник – к.т.н., доцент, Філіппова М.В.***

**УДК 621.951.1**

*О.М. Буковський, магістр гр. ПБ-71мп, к.т.н., доцент Шевченко В.В.*
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

# ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ НЕВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

***Анотація*** Розглянуто високошвидкісну обробку отворів малого діаметру на виробництві, висвітлено актуальність процесу високошвидкісного свердління та розкрито його сутність. На основі високошвидкісного свердління проведено експериментальне дослідження, що підтверджує проблематику процесу обробки отворів малого діаметру.

***Ключові слова:*** якість, ефективність, свердління, отвори невеликих розмірів, високошвидкісна обробка, автоматизоване виробництво, свердло, корозійно-стійкі сталі, важкооброблювальні сплави.

## ВСТУП

На виробництві досить часто виникає потреба виконати один або декілька отворів невеликих розмірів на деталі. Для вирішення цієї задачі допускається використання спеціально призначених для цього методів: механічний (свердління), ультразвуковий, електроерозії, оптичний (випалювання лазером) та інші, але вони не завжди виправдовують свою собівартість, тому задля підвищення продуктивності праці та точності обробки різанням в сучасному приладобудуванні не припиняють займати важливе місце традиційні методи обробки різанням.

Свердління отворів невеликих розмірів є технологічно-складним механічним процесом обробки матеріалів різанням. Незважаючи на розвиток нових технологій високоякісна обробка отворів невеликих розмірів в важкооброблювальних металах досі є проблематичною задачею. В першу чергу, це обумовлено неможливістю виконання додаткових технологічних операцій (наприклад, протяжка, розгортка та ін.) в отворах малого діаметру, а також складність обробки важкооброблювальних металів в умовах автоматизованого виробництва [1].

Іншою вагомою проблемою цього процесу є ускладнення видалення стружки із зони різання, оскільки у більшості випадків при обробці будь-якого металу вона є неперервною і тому залишається в отворі, що в подальшому спричиняє напруження та нагрівання інструмента і може спричинити поломку свердла. Окрім високої трудомісткості отримання отворів невеликих розмірів, технологи стикаються з малою стійкістю інструмента, низькою продуктивністю і нестабільною якістю отриманих поверхонь.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Найпоширенішою обробкою отворів на виробництвах є свердління спіральними свердлами. Згідно режимів різання швидкість різання при свердлінні отворів невеликих розмірів є невисокою, тому отримані отвори після виконання першої технологічної операції досить низької якості. Для отримання точних отворів використовується свердління з подальшою чистовою обробкою шляхом чистового або чорнового розгортання (якщо це передбачається технологією) із дотриманням усіх необхідних розмірів отвору. Окрім того, це

потребує використання додаткового обладнання та у деяких випадках перевстановлення деталі, що обумовлює похибку при базуванні.

Відоме отримання отворів невеликих розмірів за допомогою вібраційного свердління, суть якого полягає у використанні вібрацій (низької чи високої частоти) або ультразвуку (при обробці глибоких отворів) для подрібнення стружки. Недоліком є неможливість обробки отворів діаметром до 2 мм і глибиною до 100 діаметрів. [2] При цьому характер утворення стружки і її розміри визначаються співвідношенням частоти осьових вібрацій, частоти обертання інструменту і амплітудою вібрацій.

За опублікованими даними компанії Mikron ToolEnglish було запропоноване рішення для свердління глибоких та неглибоких отворів невеликих розмірів (від 0,3 міліметра з глибиною свердління 50 діаметрів) в нержавіючих і жароміцних матеріалах [3]. Суть розробленої технології полягає у геометрії свердла з спіральною канавкою довжиною до 10 діаметрів. При цьому змазочно-охолоджуюча рідина проходять у трьох каналах подачі, що знаходяться у хвостовику і виходить на конус [4].

Отримання отворів невеликих розмірів за допомогою високошвидкісної обробки полягає в обробці отворів спеціальними свердлами на верстатах, що забезпечують високу чутливість ручної подачі, оскільки осьове зусилля зі зменшенням діаметра свердління стає незначним. Використання механічної подачі в цих випадках часто неможливо, тому що наявна мінімальна подача шпинделя верстата виявляється надмірно великою і призводить до поломки свердла. Тому отвори малих діаметрів свердлять з ручною подачею, при цьому якість свердління багато в чому залежить від кваліфікації робітника [5].

Аналіз останніх досліджень показав актуальність проблеми отримання високоякісних та високоточних отворів малих діаметрів.

## ДОСЛІДЖЕННЯ

Свердління отворів невеликих розмірів – це окрема технологія, яка застосовується в тих випадках, коли інші способи є неефективними або взагалі не мають можливості реалізації. Свердління отворів малих діаметрів (від 0.3 - до 2 мм) має ряд особливостей, які необхідно строго дотримуватися.

Якість виконання отворів малого діаметру напряму залежить від характеристик та геометрії ріжучого інструменту (свердла). При свердлінні отворів малого діаметру, геометрія інструменту і кристалічна структура заготовки грають важливу роль в отриманні високої якості отворів, особливо великий вплив на силові фактори різання надає кут при вершині свердла $2\varphi$. Швидкість різання при свердлінні отворів малого діаметра зазвичай є невисокою, що призводить до низької продуктивності. Задля уникнення цього застосовується спеціальний інструмент для свердління отворів невеликих розмірів шляхом зміни його геометричних параметрів та збільшення жорсткості та стійкості різального інструменту. За геометрією свердло подібне до спірального, але збільшення його жорсткості досягається за рахунок зменшення довжини робочої частини, збільшення товщини серцевини та модуля пружності матеріалу свердла. По каналам подачі ЗОР, що розташовані в стінках свердла,

рідина підходить до різальної кромки, не зустрічаючи на своєму шляху розпечену стружку.

Альтернативою для отримання отворів невеликих розмірів є високошвидкісне різання, яке базується на теоретичному положенні фізики твердого тіла, згідно з яким при збільшенні швидкості пластичної деформації металу область останньої зменшується і метал стає більш крихким. Внаслідок цього зменшується пластична деформація, а отже кількість теплоти, що виділяється, а з нею і температура в зоні різання.

При надшвидкісному різанні, починаючи з критичного значення $V_{кр}$, відбувається зниження температури. Це пояснюється тим, що, починаючи з критичних значень швидкості різання, відділення зрізаного шару відбувається в результаті не пластичного, а крихкого руйнування. Спостерігається локалізація пластичних деформацій у малих об'ємах і інтенсивний розігрів контактних шарів, що приводить до зниження сил тертя. Інтенсивність зношування при звичайних і надвисоких (більших в 300 разів) швидкостях за інших рівних умов може бути однаковою або трохи більш високою в останньому випадку.

## ВИСНОВОК

Результати дослідження показали, що головною проблемою при застосуванні високошвидкісного свердління є складність видалення стружки із отвору в процесі високошвидкісного обертання свердла. Найчастіше стружка не подрібнюється і залишається в отворі, створюючи ефект ущільнення, що викликає надмірний тиск і значний нагрів свердла, що може призвести до його поломки. Підвищення якості обробки отворів невеликих розмірів шляхом високошвидкісної обробки є ефективним, надійним, точним та економічно вигідним у порівнянні з традиційними методами точіння отворів невеликих розмірів в умовах автоматизованого виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптивная система управления / В.А. Остафьев, Тымчик Г.С., В.В. Шевченко // Механизация и автоматизация управления. – Киев, 1983, №1. – С. 18–20.

2. Обертюх Р.Р. Вібраційне свердління – ефективний спосіб отримання отворіву важкооброблюваних матеріалах. / Р.Р.Обертюх, А.В.Слабкий. // Вісник машинобудування та транспорту No2 — К. : ВНТУ 2015. — 108 с.

3. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов. 9-е изд., стер. — СПб.: Политехника, 2009. — 382 с.

4.Сверление глубоких отверстий малых диаметров. Новости металлообработки. Режим доступу: http://metal.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=1234/ — 15.09.2016.

5. Малов А.Н. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1. М., Машиностроение", 1973. –695 с.

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

**УДК 621.865.8**

*О. С. Голодний, студент гр. ПБ-51*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ НА ВИРОБНИЦТВІ

***Анотація.*** В даній статті описано важливість використання промислових роботів на виробництві, їх види та особливості в залежності від робочої зони робота. Також представлено рекомендації з їх використання та обслуговування на виробництві, процесу налаштування та програмування функцій робота, які він повинен виконувати.

**Ключові слова:** промислові роботи; сервопривід; експлуатаційні характеристики; фотоелектрична сонячна батарея.

## ВСТУП

Промислові роботи – це запрограмовані багатофункціональні механічні пристрої, призначені для переміщення матеріалів, деталей, інструментів або спеціалізованих пристроїв за допомогою змінних запрограмованих рухів для виконання різних завдань. Система промислових роботів охоплює не тільки роботів на виробництві, але й будь-які пристрої або датчики, необхідні для виконання завдання роботом, таких як послідовність або моніторинг інтерфейсів зв'язку.

## КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Роботи, як правило, використовуються для виконання небезпечних, ризикованих, одноманітних та важких завдань. Вони мають багато різних функцій, таких як обробка матеріалу, монтаж, дугове зварювання, опорне зварювання, завантаження та розвантаження верстатів, фарбування, розпилення, тощо.

Більшість роботів налаштовані на операцію методом програмування та повторення. У цьому режимі, навчений оператор зазвичай використовує портативний контрольний пристрій для підготовки робота, як виконувати поставлене завдання - вручну. Швидкість робота під час цього програмування є повільною.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Промислові роботи доступні для комерційних цілей в широкому діапазоні розмірів, форм і конфігурацій. Вони розроблені та виготовлені з різними конструкційними властивостями та різною кількістю осей або ступенів свободи. Ці фактори розробки робота впливають на його робочі габарити (найбільша площа робочої зони). Діаграми різних конфігурацій розробки роботів показані на Рисунку 1.

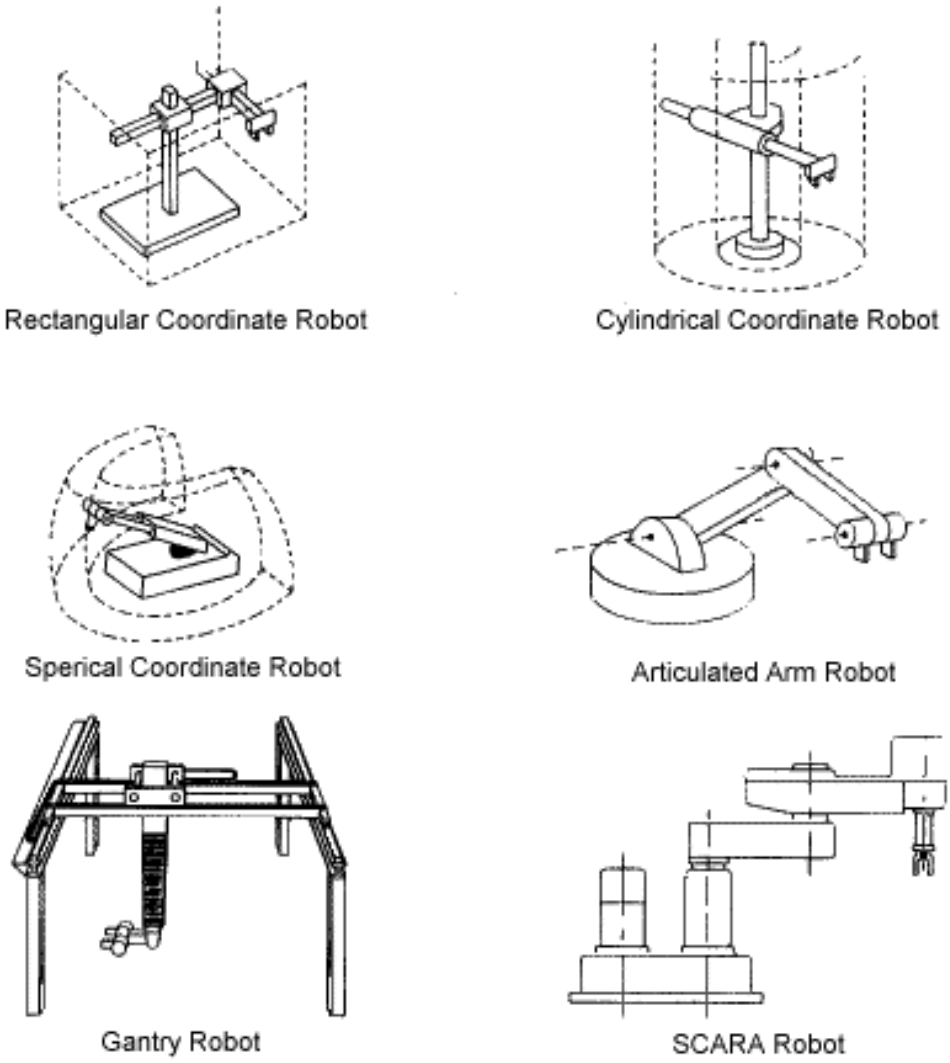



Рисунок 1. Діаграми конфігурацій роботів

Всі промислові роботи контролюються за допомогою сервоприводів або без них. Сервоприводні роботи керуються за допомогою датчиків, які постійно контролюють осі робота та пов'язані з ним компоненти для фіксації їх положення та швидкості. Ці зворотні дані порівнюються з інформацією, яка була попередньо запрограмована та збережена в пам’яті робота. У без сервоприводних роботів, що не мають можливості зворотного зв'язку, осі контролюються за допомогою системи механічних зупинок та кінцевих вимикачів з лімітом.[1,2]

Експлуатаційні характеристики роботів можуть суттєво відрізнятися від інших машин та обладнання. Роботи здатні до високоенергетичних (швидких або потужних) рухів через великий об'єм простору, навіть за межами базових розмірів робота (див. Рисунок 2). Схема та ініціювання руху робота передбачуване, якщо елемент "працював", а середовище є постійним. Будь-яка зміна об'єкта що обробляється (наприклад, зміна фізичної моделі) або середовища може вплинути на запрограмовані рухи.[2]

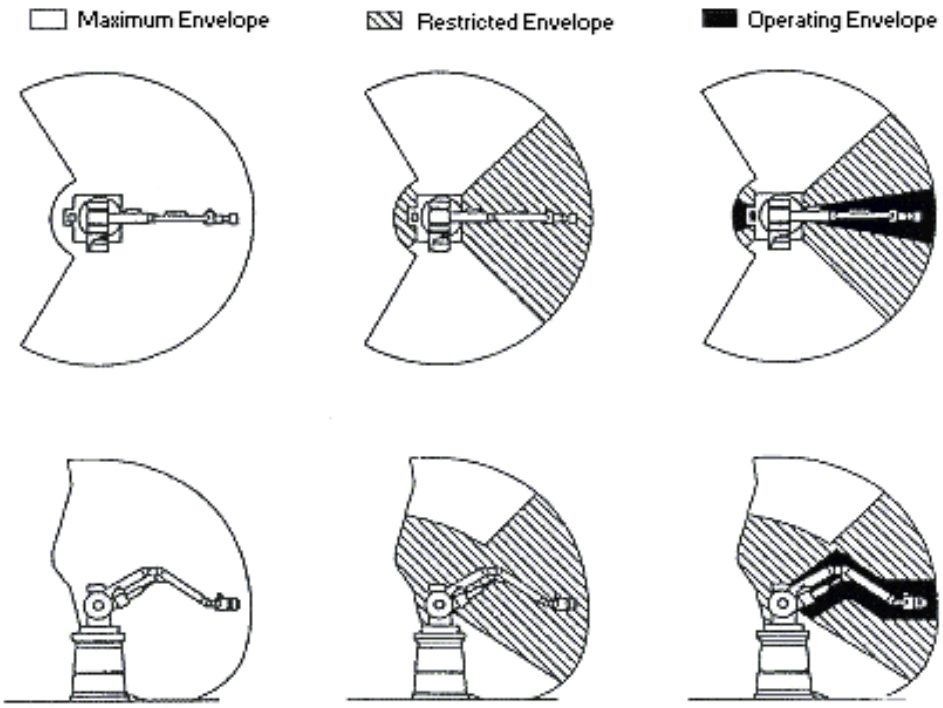



Рисунок 2. Робоча зона роботів

Фахівці з технічного обслуговування і програмування змушені перебувати в обмеженому просторі, коли електроприводи доступні для виконавчих механізмів. Обмежені габарити робота можуть перекривати частину обмежених габаритів інших роботів або робочих зон інших промислових машин та відповідного обладнання. Таким чином, працівник може постраждати від одного робота, працюючи на іншому, опинившись в пастці між ними або периферійним обладнанням.[3]

Робот який працює з двома або більше постійними програмами може виконати поточну операційну програму, яка помилково викликає дії іншої чинної програми з різними робочими параметрами, такими як швидкість, прискорення або затримка, або робоче положення в габаритному обмеженні. Поява цього може бути не передбачувана під час обслуговування або програмування персоналом, що працює з роботом. Неправильна робота компонентів також може спричинити непередбачуваний рух або зміну швидкості руху робота.[4]

ВИСНОВКИ

Всі роботи повинні відповідати мінімальним вимогам до конструкції для забезпечення безпечної експлуатації користувачем. Необхідно враховувати ряд факторів при проектуванні та створенні роботів відповідно до галузевих стандартів. Якщо застарілі роботи будуть відновлені або перебудовані, вони повинні бути оновлені відповідно до чинних галузевих стандартів.

Кожен робот повинен бути спроектований, виготовлений, відновлений або перебудований з урахуванням міркувань безпеки проектування і виробництва. Неправильне проектування і виробництво може загрожувати безпеці персоналу, коли галузеві стандарти не відповідають по механічним елементам, органам

управління, методам роботи та іншим потрібним відомостям, які необхідні для забезпечення безпечного та правильного порядку дій.

Щоб забезпечити розробку, виготовлення, реконструкцію та перелаштування роботів для забезпечення безпечної експлуатації, рекомендується, щоб вони відповідали вимогам розділу 4 стандарту ANSI / RIA R15.06-1992 для виробництва.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. National Safety Council Data Sheet 1-717-85. *Robots.* National Safety Council, 444 N. Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611. – 2010. – P. 1 – 325.

2. Occupational Safety and Health Administration Publication No. 3067. *Concepts and Techniques of Machine Safeguarding.* U.S. Department of Labor. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20210. – 1980. – № 45. – P. 23–174.

3. Underwriters Laboratories, Inc. 1996. *Standard for Industrial Robots and Robotic Equipment.* ANSI/UL1740. Northbrook, Illinois. – 2007. – P. 1 – 143.

4. OSHA Instruction Publication No. 8-1.3. 1987. Guideline for Robotics Safety. Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C.. – 2004. – P. 85 – 152.

5. Robotic Industries Association, 900 Victors Way, P.O. Box 3724, Ann Arbor, Michigan 48106. – 2006. – P. 1 – 266.

***Наук. керівник – к.т.н., асистент. Барандич К.С.***

**УДК 621.941**

*М.В. Домантович, студент гр. ПБ-71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доц.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

***Анотація.*** Розглянуто задачу контролю чистового точіння загартованих сталей та виконано аналіз останніх досліджень. Наведено структурну схему системи контролю якості процесу точіння сталей в автоматизованому виробництві. Надано призначення та роботу основних складових елементів системи. Вказані переваги використання інтегрованої системи контролю якості процесу чистового точіння загартованих сталей на основі аналізу віброакустичного сигналу.

***Ключові слова:*** інтегрована система контролю, віброакустичний сигнал, чистове точіння, загартовані сталі.

## ВСТУП

Розвиток сучасного приладобудування і машинобудування значною мірою пов'язаний з підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик деталей приладів і механізмів і, відповідно, застосуванням при їх виробництві матеріалів з високими фізико-механічними властивостями. До таких матеріалів відносяться важкооброблювані залізовуглецеві сплави високої твердості, а саме, загартовані сталі. З них виготовляються вироби, до деталей яких пред'являються вимоги поєднання високої продуктивності чистової обробки зі стійкістю інструменту, достатньою для завершення процесу обробки без зміни різального інструменту, тобто процес обробки повинен характеризуватися високою поверхневою (мм$^2$/хв.) продуктивністю. Існуючі в даний час процеси чистової обробки загартованих сталей мають цю характеристику на рівні 6–9 тис. мм$^2$/хв.

В процесі токарної обробки загартованих сталей середньої твердості (40…50 HRC) виникають небажані коливання та вібрації, що призводять до великої шорсткості обробленої поверхні, підвищення неточностей виконання розмірів при обробці та інші вагомі похибки, що впливають на результат.

Одним із варіантів вирішення задач підвищення продуктивності процесу токарного оброблення загартованих сталей та отримання необхідної якості обробленої поверхні є створення інтегрованої системи контролю.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогодні існує множина систем контролю якості деталі у процесі різання, у тому числі і при чистовому точінні загартованих сталей. Але всі вони в певній мірі є застарілими у порівнянні з сучасними досягненнями науки та техніки [1].

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України в 2013 році було створено автоматизовану систему дослідження процесу різання, яка призначена для дослідження динамічних та силових параметрів при точінні. Вхідними даними автоматизованої системи є складові сили різання P (Px, Py, Pz) та значення вібрації, які вимірюються відповідними датчиками в процесі точіння деталей.

Система складається з токарного верстату підвищеної точності ТПК-125ВМ, 3–компонентного динамометра УДМ–100, тензостанції «Топаз»,

акселерометра KD 35a німецької фірми MetraMessundFrequenztechnik, розробленого в лабораторії погоджувального підсилювача, аналоговоцифрового перетворювача (АЦП) ADA 1406 фірми ООО «ХОЛІТ ДэйтаСістемс» та персонального комп'ютера. Керування АЦП здійснювали за допомогою програмного пакету PowerGraph 3.3 Professional. Розроблена система призначена для дослідження динамічних та силових параметрів при чистовому точінні, таких як три складові сили різання та віброперемiщення, оскільки значні коливання в процесі обробки призводять до погіршення шорсткості обробленої поверхні [2].

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

В даній роботі з метою забезпечення необхідної якості процесу чистового точіння загартованих сталей поставлено задачу розробити інтегровану систему його контролю шляхом вимірювання вібрації в процесі виготовлення деталей.

Існує множина методів контролю процесу різання в автоматизованих системах. Їх можна розділити на прямі та непрямі. До непрямих методів контролю відноситься метод віброакустичних вимірювань [3, 4, 5]. Переваги методу віброакустичної емісії при діагностиці процесу різання полягають в тому, що чутливість цього методу набагато перевищує чутливість традиційних методів контролю. Також він має високу швидкодію та має значно менше обмежень що пов'язані зі структурою, фізико-механічними властивостями матеріалів та зовнішнім середовищем в порівнянні з іншими методами контролю.

На рисунку 1 наведена структурна схема інтегрованої системи контролю якості процесу чистового точіння загартованих сталей. Суть даної інтегрованої системи контролю полягає у вимірюванні параметрів стану технологічної системи за допомогою аналогових і цифрових датчиків. Датчики Д1 і Д2 перетворюють фізичні параметри віброакустичного сигналу в напругу та передають її на відповідні підсилювачі УП. Отриманий сигнал передається на аналогово-цифровий перетворювач АЦП для подальшого використання цифрового сигналу. Додаткові параметри, що характеризують процес різання, вимірюються за допомогою цифрових датчиків. Основними параметрами, за якими виконується контроль процесу чистового токарного оброблення в запропонованій системі, є характеристики віброакустичного сигналу. Отримані дані передаються на мікроконтролер для подальшої обробки, результати яких виводяться на монітор, а також передаються на комп'ютер. Комп'ютер порівнює отримані дані з раніш встановленими режимами для даного процесу обробки та приймає рішення про їх зміну та передає керуючий сигнал на мікроконтролер. Оброблений сигнал з мікроконтролера передається на виконавчий пристрій для здійснення відповідного впливу на головний рух станка. Всі елементи системи, що окреслені пунктирною лінією на рисунку 1, монтуються в одному корпусі, котрий кріпиться на пульті керування станком.

Розроблена інтегрована система контролю передбачає вибір режимів різання на основі початкової інформації про процес оброблення та корегування режимів на основі інформації, що отримана в ході процесу обробки.

Початковими параметрами процесу точіння є подача, кількість обертів двигуна (головного приводу руху) та глибина різання. Вихідною характеристикою інтегрованої системи контролю є залежність якості обробленої поверхні від рівня вібрацій.

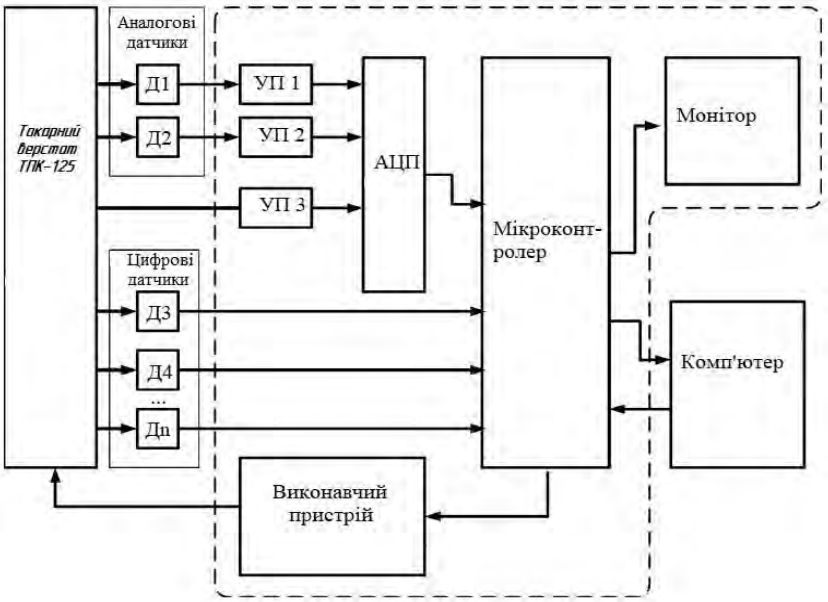



Рисунок 1. Структурна схема інтегрованої системи контролю параметрів.

## ВИСНОВОК

Представлена інтегрована система контролю якості процесу чистового точіння загартованих сталей дозволяє на основі оцінювання рівня вібрації (значень амплітуди та частоти віброакустичного сигналу) відстежувати стан виробничої системи, зношення різального інструмента та якість обробленої поверхні деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейковский.— М.: Из.: Оникс, 2005. – 640 с.

2. Скороход М.В. Підвищення стійкості різців з КНБ при точінні загартованих сталей за рахунок демпфування різальної частини. Автореф. дис. маг. : спец. 8.05050302. М. В. Скороход. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – К., 2013. — 15 с.

3. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 1988. – 56 с.

4.Генкин. М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.: ил.

5. Паленный Ю.Г., Гнатюк А.П., Жеглова В.М., Фоменко Д.С. Информационно-измерительная система контроля процесса глубокого сверления. /Системы обработки информации, 2016, выпуск 6(143). – С. 112-115.

***Наук. керівник – доцент, к.т.н. Вислоух С.П.***

**УДК 620.3**

*О.К. Доценко, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н. Стельмах Н.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДТРИМОК ВИСТУПАЮЧИХ ЧАСТИН НАДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

*Анотація: В роботі розглянуто основні можливості варіантів створення елементів підтримок для друку складних моделей на 3Д принтері від конструкції підтримок до матеріалу, якщо той відрізняється.*

***Ключові слова:*** 3Д-друк, елементи підтримок, точкові підтримки, стільникові підтримки, стержневі підтримки.

## ВСТУП

Завдяки широкому розвитку технологій, з’явилася можливість надрукувати тривимірну модель деталі на 3D принтері. Він дозволяє друкувати конструкції складної форми, з порожнинами, з шарнірними кріпленнями за один цикл друку. Для створення елементів деталі, які помітно виступають або нависають над основною частиною конструкції використовують елементи підтримки які служать тимчасовим фундаментом для друкованого виробу.

Переваги використання елементів підтримки:

- можливість друк більш складні об'єкти (ніж без підтримки);
- висока точність і стабільність побудови складних і дрібних елементів (не дозволяє їм "роз'їжджатися" деформуватися під вагою наступних шарів);
- значне скорочення обмежень для CAD файлу (нахили, товщини стінок, кути, порожнини і т.д.).

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ПІДТРИМКИ

Елементи підтримки поділяється на 4 групи: які руйнуються, легкоплавкі, розчинні, порошкові. Використання кожного із цих типів виконується в залежності від наявного обладнання та конструкційної складності деталі.

Легкоплавкі матеріали мають невисоку температуру плавлення, що дозволяє видалити підставку з зони її знаходження шляхом нагріву деталі в печі або спеціальним феном підігрівши до 60-100 градусів. Перевагою даного методу є гарна якість отримання друку після видалення елементів підтримок, можливість повторного використання після повного затвердівання, повністю видаляється із зони нанесення. Недоліком являється невеликий діапазон матеріалу для друку, який має середні температури плавлення (150-220°)

Порошкоподібні - використовуються при створенні тривимірних об'єктів методом порошкового друку. У цій ситуації порошок служить одночасно формою і елементом підтримки матеріалу. Суть методу в тому, що в загальній порошковій масі по заданому кресленню створюються контури моделі, а частинки, що залишилися служать каркасом. Після закінчення процесу виріб виймається з порошку, залишки якого можуть бути використані для друку наступних моделей. Порошкоподібний тип підтримки допомагає друкувати вироби будь-якого ступеня складності. Після закінчення процесу друку, надлишки порошку просто очищаються пензлем або видуваються.[1]

При використанні розчинних підтримок потрібно знати властивість пластику , з якої буде виготовлена основна деталь. Це спричинено тим, що деякі пластики мають підвищену можливість утримання вологи, а інші - можуть деформуватися під час друку при великій кількістю вологи в повітрі. Видалення підтримок відбувається шляхом замочування друкованої конструкції у теплу воду на 20-24 години. Це спричинить повне розчинення елементів підтримок у воді. Розм'якшення пластику відбувається уже через 4-5 годин від початку замочування. [5]

Елементи підтримки з матеріалу, який виламують в основному використовуються в FDM і SLS технологіях. Найбільш доступним варіантом є використання того ж матеріалу, з якого створюється модель. У цьому випадку після завершення друку необхідно механічно видалити елемент підтримки, після чого відшліфувати місце зламу.

Другий варіант - використання більш тендітного матеріалу або матеріалу, який має низьке зчеплення з основним. Наприклад, принтери з двома екструдерами можуть використовувати в якості матеріалу підтримки PVA, HIPS або PLA-пластики, а в якості основних - ABS, PLAі т.д. (Існують також ідеальні пари: ABS-HIPS і PLA-PVA). [6]

## КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЛАМНИХ ПІДРИМОК

Основна маса принтерів для домашнього користування використовує підтримки які руйнуються. Це зумовлено конструкцією принтера, яка унеможливлює використання інших методів створення підтримок.

Підтримки, в більшості випадків, створюються програмним забезпеченням принтера і показуються користувачеві як готовий варіант. Але при складних конфігураціях моделі або при невеликих габаритах, ефективність даних підтримок мала, а кількість використаного матеріалу надто велика. Тому виконується редагування даних підтримок для покращення основних технічних властивостей надрукованої моделі.[3]

Одним із найкращих видів підтримок є точковий метод створення елементів підтримок. Він є оптимальним для форм із великою кількістю відхилень від основної конструкції деталі, які знаходяться відносно на невеликій відстані від столу. Для їх створення використовується стандартне ПЗ (таке як MeshMixer), у якому є можливість вибрати варіанти підтримок.

Переваги точкових (деревовидних) підтримок:

1. Повний контроль над процесом створення підтримок;
2. Простота очищення моделі;
3. Незначні сліди. При вдалому налаштуванні зовсім відсутні;
4. Економія пластика в певних випадках;
5. Не потребує використання підкладки;

Недоліки деревовидних підтримок:

1. Імовірність поломки підтримки порівняно висока;
2. Необхідні навички зі створення підтримок (завдання, які друкуються вперше, не залишати без нагляду. Так можна зекономити пластик на невдалих результатах);

3. Підтримка горизонтальних площин вимагає великої кількості точок опори, що може звести нанівець економію на пластику;

Основні аспекти при використанні даної підтримки:

1. За матеріалом: PLA підтримка за сукупністю всіх інших факторів покаже більш якісний результат, ніж у випадку з ABS. Завдяки властивостям цього пластика, падіння «своєї міцності» матеріалу між шарами компенсується гнучкістю. Але якщо зробити підтримки занадто товстими, вони зламаються гарантовано. Також PLA властива тягучість, завдяки чому деталь огортається тонкою павутиною таких ниток, і раніше втрачена підтримка може вирости далі з моменту зламу, спираючись на ці волокна від сусідніх підтримок.

2. По висоті підтримок: Чим більше висота, тим більше ефект від деревовидної підтримки можна отримати. Від 6 мм ефект зростає від «нічого» по наростаючій залежності.

Після висоти 35 мм генеровані підтримки краще посилити самостійно в самій же програмі додатковими стовбурами.

3. За ухилу від вертикалі: Чим менше кут (тобто менше звисання), тим ефект більше. А у випадку з горизонтальними (наприклад, стелями) деревовидні точкові підтримки поступаються «лінійно підтримуючим» (стандартним підтримкам), так як будувати «містки» принтер воліє між двома лініями, а не групою точок підтримок.

4. За деталізації поверхні: Точкова, вона ж деревоподібна підтримка краща для великої кількості деталей (пальці рук, фрейми, сітки).

5. За пропорціям: Відношення висоти до ширини і площини підстави. Точкова деревоподібна підтримка краща у випадках переважання висоти.

Найбільш бюджетний і найменш зручний варіант створення підтримки при друку тривимірних об'єктів є стержневі підтримки. Використовуються зазвичай в 3D-принтерах домашнього типу або в дешевих настільних моделях, що працюють за принципом пошарового моделювання виробів пластиком (найчастіше це ABS і PLA-пластик). Як матеріал підтримки зазвичай використовується той же, з якого створюється модель, тільки більш розбавлений, щоб знизити витрату сировини. Після закінчення роботи підтримуючий каркас віддаляється вручну, а місця зламу зачищаються і шліфуються.

Принцип їх побудови є створення так званих стержнів, які будуть підтримувати виступаючі частини конструкції. Це зручно при малій відстані виступаючої частини від поверхні столу, що дасть змогу використати не надто багато матеріалу при відносно великій площині контакту підтримки та деталі.

Недоліками цього методу є велика кількість контактуючих зон підтримки та деталі, що негативно вплине на поверхневу шорсткість деталі та загальний час її виготовлення, що збільшиться за рахунок часу, витраченого на видалення підтримок та шліфування поверхності.

Удосконаленим методом побудови стержневих підтримок є стільникові підтримки. Різниця полягає у конструкції підтримки, яка має форму бджолиних стільників. Це дає змогу економити кількість використаного матеріалу на

побудову підтримки, але в свою чергу збільшує час на будування самої підтримки. Перевагою також є зручна форма контакту безпосередньо з поверхнею деталі, що дає змогу видаляти підтримку без залишкових зусиль та виконуючи видалення кромки стільника в один рух.

Недоліком методу є неможливість зменшення кількості стільників. Це призводить до великої кількості будування підтримок, але при використанні для невеликої площі контакту, можливо зменшення нижньої та середньої частини підтримки та нарощення їх при зоні контакту.[2]

## ВИСНОВКИ

Використання різних методів моделювання підтримок зумовлюється конструкцією деталі. При великій кількості відхилень і відносно великій відстані їх від столу доцільніше використати деревовидний тип підтримок. Для малих та відносно нескладних деталей можливе використання стержневих або стільникових підтримок. Але їх використання потрібно виконувати під наглядом і з відносно великим часом друку, що дасть змогу якісно надрукувати відхилені частини деталі без поплавлення поверхні матеріалу та скручування кромки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Кудрявцев Я. Материалы поддержки в 3D-печати [Електронний ресурс] / Ярослав Кудрявцев. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://daloto.ru/obzory/materialy-podderzhki-v-3d-pechati
2. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560
3. Using 3D printing for getting composite prototypes/Ihor Mastenko, Roman Mastenko, Nataliia Stelmakh// XX Międzynarodowej Studenckiej Sesji Naukowej «Materiały i Technologie XXI wiek».-2018-p.13-14. Режим доступу: http://lightweight.pl/wp-content/uploads/2018/10/Lightweight_special_issue.pdf
4. Все о 3D-печати // 3D Industry. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.3dindustry.ru/faq/#technologies
5. 3DFuel выпускает водорастворимую нить – легкий в удалении материал поддержки [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://3dtoday.ru/blogs/3dvision-su/3dfuel-produces-a-watersoluble-thread-easytoremove-support-material/.
6. Что такое материал поддержки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://3d.globatek.ru/world3d/support_material/.
7. Андрощук Г.О. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання / Г.О. Андрощук, Я.В. Копил // Інтелектуальна власність в Україні. — 2016. — № 5. — С. 17–26

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.***

**УДК 629.9**

*А.С. Затуленко, студентка гр. ПБ-51, ассистент Заєць С.С.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ

***Анотація .*** В даній статті описано напрямки покращення технологічного процесу обробки глибоких отворів з метою збільшення точності і продуктивності обробки отворів.

***Ключові слова:*** Обробка глибоких отворів; інструмент; верстат.

## ВСТУП

Надійність будь-яких технічних засобів та коштів, що працюють в автоматичному або автоматизованому режимі, є важливою властивістю, за якої оцінюється доцільність застосування засобів у виробництві. Надійність (за ГОСТ 27.002-83) - властивість певного об'єкта зберігати у встановлених межах значення всіх своїх параметрів, що характеризують можливість виконувати необхідні функції в умовах застосування і в заданих режимах, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування. Надійність складається з таких властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності, а також зберігання. [1]

Головними показниками, що визначають конкурентоспроможність продукції, це її мала собівартість та високі споживчі властивості. Якість продукції та швидкий перехід на її випуск утворюються за допомогою багатоопераційних агрегатних верстатах і автоматичних лініях. Але велика вартість устаткування веде до збільшення собівартості продукції, а це означає, робить її не конкурентоспроможною. Також при обробці деталей з жорстким зв’язком на автоматичних лініях, особливо при великій кількості устаткування, зменшується їх надійність, що збільшує собівартість продукції. Тому потрібно врахувати недоліки обробки деталей та при виготовленні продукції зменшувати необхідні затрати. Вивчення стану експлуатації інструментів, на прикладі спіральних свердел при глибокому свердлінні в машинобудуванні на агрегатних верстатах та автоматичних лініях було показано, що свердління отворів складає до 70 % від усіх робіт по обробці отворів.

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ

Глибокими вважаються отвори, для яких відношення діаметра до його довжини більше десяти. Звідси випливають особливості в обробці – недостатня жорсткість застосовуваного інструмента і висока схильність до пружних деформацій під впливом зусилля обробки. Зі збільшенням довжини отвору проблеми забезпечення високої продуктивності, точності та необхідного і стабільної якості різко зменшуються. Як наслідок з усіх циліндричних поверхонь деталей різного призначення, що застосовуються в машинобудуванні, найбільш трудомісткими і складними в обробці є глибокі отвори. Також при обробці ускладнюється відведення стружки, утворюється велика кількість тепла та погіршуються умови охолодження ріжучої частини

свердла. При обробці глибоких отворів спіральним свердлом відбувається відхилення свердла і викривлення осі оброблюваного отвору.

Покращення технологічного процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами на агрегатних верстатах та автоматичних лініях з метою збільшення точності і продуктивності обробки отворів, можна використовувати різні методи:

- Оптимізація конструкції ріжучого інструменту, змінюючи геометричні параметри, так і конструктивні елементи;
- Вдосконалення верстатів та проектування нових конструкцій з урахуванням нових досягнень процесу свердління і з застосуванням новітніх технологій на електронному керуванні;

Перший метод досліджень - оптимізація геометричних параметрів стандартних спіральних свердел. Заключається у розробці більш вдосконаленого заточування робочої частини свердла [2], який відрізняється від стандартного. Тобто була створена спеціалізована конструкція на базі стандартного свердла. В даній розробці приділялась велика увага для створення умов безперервного дроблення потоку стружки на окремі фрагменти, та відведення із зони різання та зони обробки цих фрагментів стружки. Особливостями цієї заточки спеціалізованого свердла було створення радіусної головної ріжучої кромки з такими розмірами R=(2...3)d, де d – діаметр свердла, зробити уступи по задній поверхні за рахунок підточування у висоту a = (0,1…0,15)d, та довжину l = 1/3 (довжини головної різальної окрайки), а також по передній поверхні підгострювання серцевини до розміру перемички c = 0,2d.

Другим методом – було подальше збільшення досконалості конструкції спірального свердла, за рахунок використання різних змін в самої конструкції інструменту. Данні дослідження проводяться по двох напрямках:

1) це зміна форми поперечного перерізу свердла, що різниться від стандартного [3], з метою збільшення об’єму стружкових канавок та товщини серцевини інструмента. Тобто ці свердла, дозволяють виконувати обробку глибоких отворів (до 15d) за один прохід. Але даний напрям не вирішує точності розташування осі отворів, та їх взаємне розташування одне відносно одного та контуру деталі.

2) також з’явився напрям вдосконалення конструкцій ріжучих інструментів, це розробка свердл підвищеної жорсткості, що відрізняються від стандартних свердл наявністю чотирьох направляючих стрічок і потовщеною серцевиною в 1,5…2 разів. Висока жорсткість свердла і хороший напрям дуже зменшують відхилення від прямолінійності осі даного отвору. При створенні чотирьох стрічкових свердл підвищеної жорсткості обумовлюються такі вимоги, від яких на пряму залежить найголовніше точність обробки глибокого отвору. Осьове биття різальних кромок в периферійній точці повинно бути не більше 0,002…0,005 мм, а різниця в довжині різальних кромок не може бути більшою за 0,01 мм. Ці головні вимоги повинні виконуватися при заточуванні та доведенні в спеціальному пристосуванні свердл із забезпеченням поверхонь, що заточені параметра шорсткості до Ra = 0,16...0,32 мкм.

Останнім методом є збільшення досконалості конструкцій металорізальних верстатів [4]. Пов'язано це з поєднанням саме верстата з ЕОМ, яка в свою чергу стає невід'ємною його частиною. Тобто, між ЕОМ та координатами стану верстата виконується обмін інформацією, і на ЕОМ виникають дії, що управляють положеннями елементів верстата, тобто ЕОМ міняє координати елементів верстатів від умов виконання роботи ріжучого інструмента. Саме по такому принципу, будуються існуючі у світі системи ЧПУ які є на основі індустріальної ЕОМ, що керує ними. В цьому випадку обмін інформацією між ЕОМ і верстатом полягає в тому, що від верстата в ЕОМ надходить інформація про поточні координати. Для верстатів, які були призначені для свердління глибоких отворів, головна увага приділялася тому, щоб забезпечити обробку поверхні без раптової відмови різального інструмента. В такому випадку у системі управління процесом існують вимірювальні перетворювачі, які дають змогу визначати сили (осьове зусилля і момент, що крутить) в процесі різання та у функції сил створювати управління швидкістю подачі і частоти обертання шпинделя. Та при цьому вибирають траєкторію та координати перемикання циклів обробки, що дають змогу мінімізувати приведені витрати на виготовлення всієї партії виробів.

## ВИСНОВОК

Отже, вирішення великої кількості завдань по підвищенню конкурентоспроможності продукції, збільшення ефективності виробництва та підвищення самої якості продукції, що випускається у даному виробництві, дуже тісно зв'язано з точністю обробки поверхонь, а саме обробки глибоких отворів. Вирішити проблеми підвищення точності глибокого свердління можна ефективно здійснювати трьома методами: - поліпшення якості системи ВПІД (верстат-пристосування-інструмент-деталь), тобто в усуненні чинників, що породжують не точність обробки поверхонь; - оптимізації геометричних параметрів і конструктивних елементів інструменту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А.Пастунова. М.: Машиностроение, 1977.-325с
2. Холмогорцев Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю. П. Холмогоров. – М.: Машиностроение, 1984. – 184с.
3. Прогрессивный инструмент для обработки отверстий : обзор. информ. / А. Р. Маслов, А. В. Дворецкий, Ю. И. Подвербный [и др.] М.: ВНИИТЭРМ, 1990. № 4. 56 с.
4. Ханукаев М. Г. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий малого диаметра поликристаллическими алмазными инструментами на основе динамического мониторинга процесса резания : дис. … канд. техн. наук / М. Г. Ханукаев. – Ростов н/Д, 2006. – 220 с.

**УДК 623.746-519**

*П.І. Карасьов, студент гр. ПБ-51, д.т.н., доц. Стельмах Н.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

***Анотація***. У цій статті описується застосування навігаційних пристроїв, таких як гіроскоп, акселерометр та GPS модуль для автоматизації польотного контролю безпілотних літальних апаратів. У тексті обговорюється, як розробити систему управління польотом, а саме встановлення необхідних датчиків, на модель літака для підвищення точності бортового контролера. Для перевірки запропонованої системи виконувалося моделювання польотів, що виконують конкретні завдання позиціонування і відстеження траєкторії.

***Ключові слова:*** безпілотний літальний апарат, управління польотом, акселерометр, гіроскоп, гіростабілізація.

## ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), не містять на борту пілота-людини, а на томість цього керуються з землі або автономно за допомогою комп'ютерної програми чи пульта дистанційного керування (ПДК). Ці непомітні літальні апарати стають все більш популярними не тільки для військових, а й для цивільних цілей, від дикої природи і атмосферних досліджень до стихійних лих і спортивної фотографії. Безпілотники стають очима і вухами вчених, досліджуючи землю для археологічних об'єктів, ознаки незаконного полювання і потенційну шкоду врожаю, і навіть фіксують дані всередині ураганів для їх дослідження. Сьогодні кожен може орендувати персональний БПЛА, щоб злетіти над горизонтом і зробити фото або відео. Відразу варто сказати, що безпілотники постійно еволюціонують: нові технології та інвестиції в цей сегмент призводять до того, що постійно з'являються все більш сучасні та технологічні моделі. Технологія БПЛА охоплює все: від аеродинаміки апарату і матеріалів для його виготовлення до друкованих плат, мікросхем, програмного забезпечення, які в сукупності складають мозок безпілотника.

## ГІРОСТАБІЛІЗАЦІЯ, IMU І КОНТРОЛЕР ПОЛЬОТУ

Технологія гіростабілізації дозволяє безпілотникам літати плавно, без ривків та автоматично підлаштовуватись під зустрічний поток повітря чи боковий вітер для дотримання заданого курсу та полегшення керування БПЛА [2]. Гіроскоп - пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації тіла, на якому воно встановлено, щодо системи відліку. Він надає всю необхідну навігаційну інформацію пілоту та передає її на польотний контроллер. Інерційний вимірювальний блок (IMU) служить для відстеження поточного прискорення пристрою, використовуючи для цього поєднання декількох акселерометрів. Деякі блоки IMU включають в себе ще й магнітометр, що служить для додаткової стабілізації апарату. Гіроскоп є складовою частиною IMU, а той в свою чергу - важливий компонент контрольно-вимірювальної системи БПЛА [5]. Польотний контролер це типовий мікропроцесорний пристрій, для управління [1]. При цьому алгоритми управління реалізуються програмно. Для мікропроцесорної основи польотних контролерів найчастіше використовуються популярні 8-бітові мікроконтролери фірми Atmel сімейства ATMega, а з середини 2010-х років - і більш продуктивні AVR32 і STM32 на

основі мікропроцесорного ядра ARM7. До складу польотного контролера обов'язково входять датчики прискорень і датчики кутової швидкості. Оснащений таким мінімальним набором датчиків польотний контролер здатний забезпечити аеродинамічну стійкість апарату в повітрі, але не здатний забезпечити його утримання в заданій точці, політ по заданій траєкторії, повернення в точку старту і безпечний політ. Для безпілотників, що несуть корисне навантаження а також для радіокерованих літаків застосовують більш складні польотні контролери, що містять більшу кількість датчиків. Магнітометричний датчик дозволяє стабілізувати орієнтацію апарату щодо магнітного меридіана. Барометричний датчик дозволяє стабілізувати барометричну висоту польоту апарату і його автоматичну посадку в точці старту. Ультразвукові, лазерні або радіотехнічні висотоміри [3,4] дозволяють утримувати висоту з більшою точністю, здійснювати автоматичну посадку в будь-якій точці, облітати перешкоди. Приймач GPS / GLONASS дозволяє стабілізувати становище апарату, здійснювати автоматичний політ за маршрутом, автоматичне повернення в точку старту. З метою підвищення безпеки експлуатації або виконання спеціальних операцій можуть застосовуватися і інші датчики. Контролер польоту - це, по суті, центральний мозок безпілотника(рис. 1).

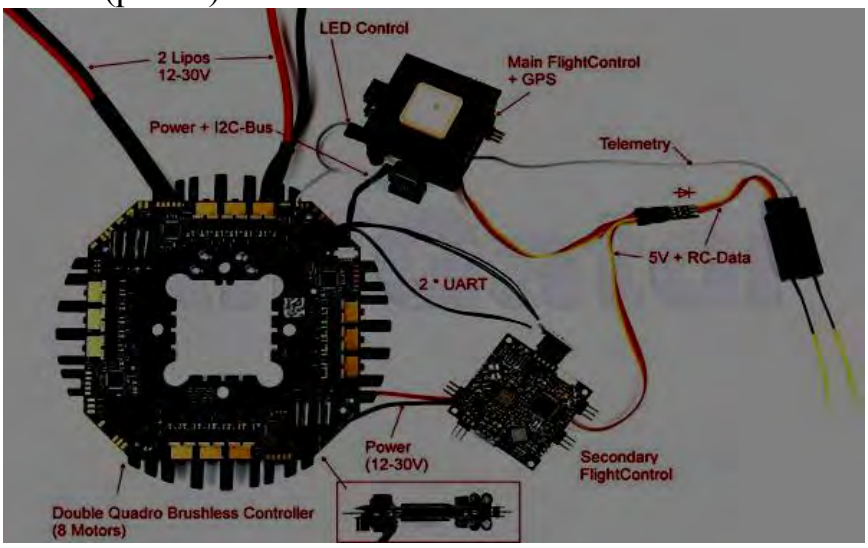



Рисунок 1. Схема підключення датчиків до мікроконтролера

## ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ТА АВТОПІЛОТ

Багато з останніх БПЛА оснащені двома глобальними навігаційними системами (GNSS), що включають в себе GPS і ГЛОНАСС. Високоточна навігація дуже важлива для безпілотників, що займаються картографічною зйомкою, та для виконання пошуково-рятувальних місій. При першому включенні відбувається пошук і виявлення супутників GNSS. Система GNSS використовує технологію Satellite Constellation (супутникове угруповання). Принцип її роботи полягає в координації і синхронізації всіх супутників, що дозволяє їй охоплювати всю зону покриття, не залишаючи «сліпих зон».

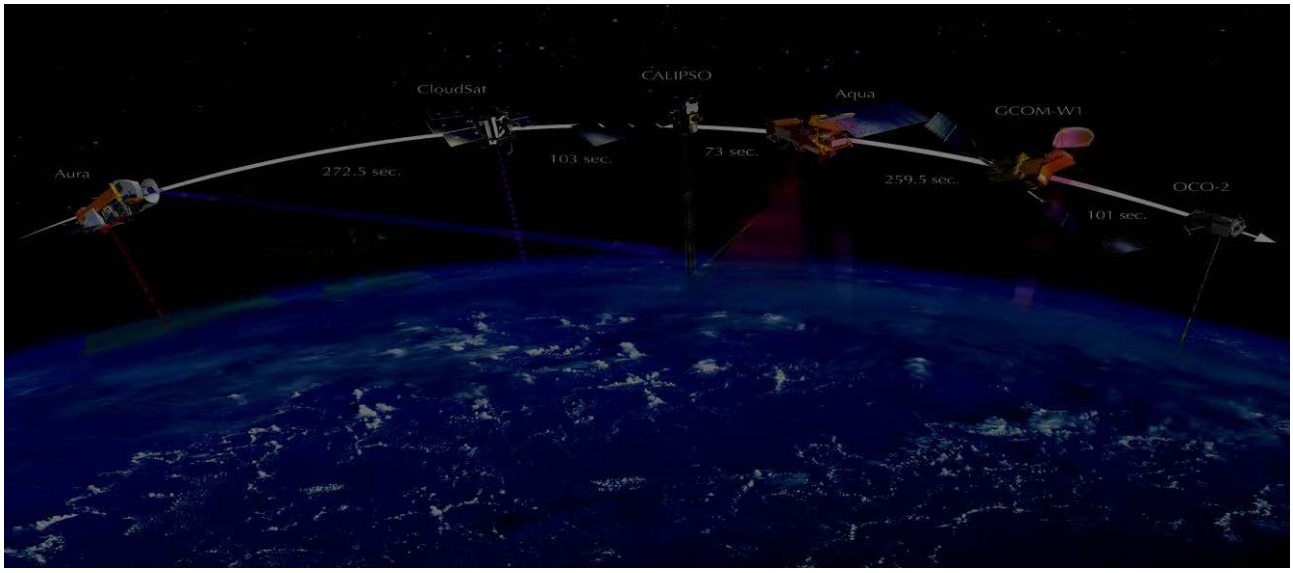



Рисунок 2. Зображення супутникового покриття

Радіолокаційна технологія БПЛА при включенні пристрою відображає на пульті дистанційного керування (ПДК) інформацію про сигнал про виявлення достатньої кількості супутників GNSS і готовність до польоту, поточну позицію безпілотника щодо пілота та запис вихідної точки для функції «Повернення додому».

## ВИСНОВКИ

Безперечно, майбутнє за беспілотною авіацією, завдяки можливості застосування в різних сферах. Це дозволяє економити безліч ресурсів, а також виконувати найрізноманіші як цивільні, так і військовійськові завдання, та на різних екологічно небезпечних об'єктах без ризику для людей. Тож найближчим часом все швидше розвиватимуться допоміжні системи, що були наведені в даній статті. До тих пір поки не будуть створені системи з мінімальною похибкою геолокації та адаптивні польотні контролери над якими вже починають працювати провідні світові компанії в цій сфері.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Михалев И. А., Окоемов Б. Н., Чикулаев Н. С. Системы автоматического управления самолетом. М.: Машиностроение, 1987. 240 с.

2.Лебедев А. А., Чернобровкин Л. С. Динамика полёта беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 615 с.

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

4.Родионов В.И. Гироскопические системы стабилизации и управления. Тула: Тул. гос. ун-т, 2000. 192 с.

5.Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560.

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.***

**УДК 669.15**

*В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПРИЛАДИ І КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

***Анотація .*** В даній статті описана структура контрольно-вимірювальних систем. Пояснення яким чином вирішуються задачі вібродіагностики. А також прогнозування можливостей функціональної й тестової діагностики.

***Ключові слова :***. контрольно-вимірювальні системи , вібродіагностика, інформаційні технології,інформаційний сигнал.

## ВСТУП

Вібродіагностика - метод діагностування технічних систем та устаткування, що базується на аналізі параметрів вібрації, що створюється обладнанням, яке працює, або є вторинною вібрацією, що зумовлена структурою об'єкта, який досліджують.

Практична вібродіагностика проводиться як через вимірювання різних параметрів вібрації, так і за допомогою методів спектрального аналізу. При цьому основним і найбільш інформативним інструментом вібродіагностики є методи спектрального аналізу, тому, говорячи «вібродіагностика машин», перш за все, мають на увазі їх спектральну вібродіагностику.

Найефективніший на сьогодні засіб вимірювання та аналізу інформаційних сигналів - це сполучення контрольно-вимірювальних вузлів з пристроями перетворення сигналів шуму та вібрації в цифрову інформацію. Ця інформація надалі вводиться в оперативну пам'ять персонального комп’ютера для автоматизації обробки даних, в результаті якої отримується кінцевий продукт. На основі такої структури контрольно-вимірювальних систем базується використання різноманітних інформаційних технологій або їх комбінацій.

## СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Сучасний віброаналізатор повинен забезпечувати отримання спектрів вібрації в різних розмірностях (віброшвидкість, віброприскорення, вібропереміщення) з високим частотним дозволом в різних частотних діапазонах. Також він повинен забезпечувати отримання спектрів огинаючої вібрації (з дозволом до 1600 ліній і більше), і визначати різні параметри (СКЗ, розмах, пік-фактор, ексцес і ін.) рівня загальної вібрації. На думку фахівців Відділу Технічного Сервісу (ВТС) компанії «Балтех», а також незалежних фахівців, для яких спектральна вібродіагностика є одним з головних напрямків діяльності, кращим за ціною / якістю / функціональністю приладом спектральної вібродіагностики є 2-х канальний віброметр-балансувальник BALTECH VP -3470 і вибухозахисна версія BALTECH VP-3470-Ex . Порівняння синхронізованих спектрів, що одержуються одночасно відразу з двох каналів вимірювань, дозволяє істотно підвищити достовірність ідентифікації дефектів, а комплектація програмою BALTECH-Expert суттєво спрощує подальшу обробку і аналіз спектрів.

Певні підприємства виробляють спеціалізовані вхідні пристрої та відповідне програмне забезпечення для них, що полегшує створення контрольно-вимірювальних систем.

На рис 1. наведена структурна схема типового універсального вхідного пристрою.

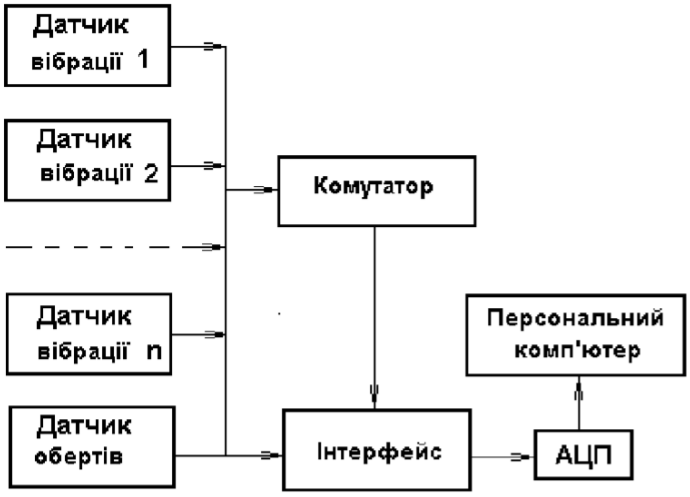



Рис.1.– Сруктура вхідного пристрою багатопараметрового контролю вібраційних характеристик двигунів внутрішнього згорання (аналого-цифровий перетворювач)

Оскільки реалізація засобів вимірювання й аналізу інформаційних сигналів, що розглядаються, здійснюється великогабаритними пристроями, то вимірювання та дослідження проводяться, зазвичай, в лабораторних умовах.

Описану структуру контрольно-вимірювальних систем реалізовують на основі переносної обчислювальної техніки, наприклад використання комп'ютерів типу Portable, Notebook або Penbook. Таку архітектуру використовують для вирішення задач вібродіагностики в польових умовах.

У лінійці модифікацій Notebook або Penbook виробниками передбачені додаткові входи за стандартом Pc-Card, що полегшують реалізацію задачі створення інформаційних та контрольно-вимірювальних систем вібродіагностики. У стандарті Pc-Card випускаються звукові карти з пристроями введення аналогових сигналів у комп’ютер для полегшення вирішення завдання використання персональних та переносних комп’ютерів у системах функціональної вібродіагностики.

В умовах виробництва на практиці сформований напрямок розробки й використання спеціалізованих контрольно-вимірювальних приладів і систем для вирішення практичних технологічних завдань функціональної вібродіагностики.Для вирішення суто практичних прикладних завдань, що виникають у виробничому процесі, застосовують засоби вимірювання та контролю.[1],[2]

Зазвичай, аналізатори цифрового типу розробляються для визначеної групи сигналів. Обробка цих сигналів близька за принципом одна до одної. Але існують також універсальні аналізатори. Одночасне використання кількох інформаційних технологій – можливість, що закладена у структурі таких аналізаторів.

Проаналізувавши рівні використання інформаційних технологій у засобах віброакустичної діагностики видно, що майже в усіх типах аналізаторів передбачений вузькосмуговий спектральний аналіз сигналів.[3]

Спектральний аналіз огинаючої інформаційного сигналу, що необхідний при використанні певної інформаційної технології, застосовують доволі рідко. Метод базується на аналізі високочастотної складової вібрації і виявленні низькочастотних сигналів, що модулюють її. Високочастотна частина сигналу змінює свою амплітуду в часі, тобто вона модулюється певним низькочастотним сигналом. Основою даного методу є виділення і обробка цієї інформації. Недолік - метод можна застосовувати тільки для високочастотного сигналу, потужність якого змінюється значно повільніше, ніж його період. Для реалізації методу необхідний дорогий аналізатор спектра вібрації з функцією аналізу спектра обвідної високочастотної вібрації, а також обладнання з високими метрологічними характеристиками. Тому використання таких аналізаторів доцільне для досліджень, де вони будуть вигідними в економічному аспекті.[4]

Оскільки структура систем контролю та засобів, що розглядаються, безпосередньо пов’язана з операціями комп’ютерної обробки даних, то зрозуміло, що, в основному, їх розвиток буде прямопропорційним розвитку засобів обчислювальної техніки.

## ВИСНОВОК

Найближчим часом широкого поширення набудуть прилади малих розмірів для аналізу та вимірювання віброакустичних сигналів з різноманітними технологіями обробки сигналів, мікрокомп'ютером, що вбудований, який має необхідні обчислювальні можливості й стандартну ОС. Збільшення потужності та здешевлення мікрокомп'ютерів стимулює розвиток ще одного напрямку в створенні технічних засобів для вібродіагностики механічних систем. Для реалізації цього напрямку необхідно забезпечити багатоканальний прийом, аналіз і математичну обробку інформаційних сигналів, а також вирішити завдання формування зовнішніх тестових сигналів із заданими параметрами і керування джерелами їх генерування програмними засобами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баркова Н.А. Виброакустические методы диагностики СЭУ. – Л.: ИКИ, 1996.
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987.
3. Асташев В.К. Вибрации в технике. Т.6. – М.: Машиностроение, 1981.
4. Руссов, В. А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В. А. Русов. – Пермь, 2012. – 252 с.

***Наук. керівник – асистент Заєць С.С.***

**УДК 621.833.16**

*Д.М. Литвиненко студент гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. Н.В. Стельмах*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ КРИВОШИПНО-ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

***Анотація***. В роботі виконано аналіз актуальності застосування кривошипно-планетарних редукторів, виявлено їх основні переваги та недоліки. Розглянуто особливості технологічного процесу складання кривошипно-планетарних редукторів, а також методи забезпечення його якості, шляхом перевірки та виконання наступних умов складання, співвісності, сусідства, інтерференція.

***Ключові слова:*** кривошипно-планетарний редуктор, умови складання, умова співвісності, умова сусідства, інтерференція.

## ВСТУП

Сучасне приладо- та машинобудування спрямоване на підвищення якості продукції, що виготовляється та економії часу під час виробництва при цьому прагне забезпечити відповідність зразків продукції всім сучасним вимогам до якості та ергономіки. У виробах приладобудування досить часто використовуються планетарні редуктори. Цьому сприяють такі переваги планетарних передач: більше передатне число в одній ступені, широкі кінематичні можливості, підвищена навантажувальна здатність, мале навантаження на опори, суттєво менші габарити і маса в порівнянні зі звичайними зубчатими передачами та менші шумові показники, що пов'язано ѕз підвищеною плавністю внутрішнього зачеплення і меншими розмірами коліс. До недоліків планетарних передач можна віднести різке зниження ККД передачі зі збільшенням передатного числа (збільшенням кількості поверхонь які труться), підвищені вимоги до точності виготовлення деталей редуктора та складання готового виробу. Незначні відхилення під час виготовлення деталей або помилки під час складання можуть призвести до серйозних проблем під час експлуатації аж до виникнення поломки всієї конструкції редуктора.

Не дивлячись на свою складність планетарні передачі знайшли широке застосування в приладобудуванні, машинобудуванні, верстатобудуванні, роботах, механотронних системах і можуть бути частиною приводів лебідок і іншого підйомного обладнання. [1]

## ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Окрім класичних конструкцій планетарних передач [1] важливе прикладне значення мають передачі з альтернативними структурними схемами, зокрема, кривошипно-планетарні редуктори [2-4]. Такі редуктори досить компактні, довговічні, мають високу навантажувальну і перевантажувальну здатність, характеризуються низьким рівнем шуму і вібрацій, мають малий момент інерції рухомих деталей і дозволяють реалізовувати широкий діапазон передатних чисел. Одним з стримуючих факторів їх застосування є вимоги до якості виготовлення деталей та висока вірогідність помилок під час складання редуктора. Для забезпечення високої якості складання кривошипно-планетарного редуктора потрібно перевірити та забезпечити ряд умов таких як

умова сусідства, умова співвісності, умова складання, умова відсутності інтерференції.

**Умова сусідства.** Часто планетарні механізми для забезпечення динамічної врівноваженості, виконують з декількома рівномірно розташованими по колу сателітами, які розташовані навколо центральних коліс в одній площині. У цьому випадку механізм проектують так, щоб зубчасті колеса сателітів не зачіпали (не «перетинали») один одного. [5].

У кривошипно-планетарному редукторі сателіти розміщені в двох паралельних площинах. Таке розташування сателітів запобігає можливості перетину головок зубів при цьому умова сусідства виконується. Перевірка даної умови виконується тільки при числі сателітів (потоків) більше одиниці.

**Умова співвісності.** Осі центральних коліс планетарних передач збігаються з основною, тому для механізму з циліндричними передачами зачеплення центральних коліс з сателітами мають одну і ту же міжосьову відстань. Виняток складають передачі, в яких сателіт складається з двох зчіпних зубчастих коліс. [6]. Таким чином, умова співвісності для кривошипно-планетарного редуктора має вигляд (1,2):

$$a_w = \frac{m(z_2 - z_1)}{2 \cdot \cos^2\beta} \cdot \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}}, \tag{1}$$

$$\cos\alpha_t = \frac{\cos\beta}{\sqrt{\cos^2\beta + \mathrm{tg}^2\alpha}}$$

де

$$\cos\alpha_{tw} = \cos\alpha_{tw},$$

де $\alpha_{tw}$ –розв’язок рівняння

$$\mathrm{inv}\alpha_{tw} = \mathrm{inv}\alpha_t + \frac{2(x_2 - x_1)\mathrm{tg}\alpha}{z_2 - z_1} \tag{2}$$

**Умова складання.** Умова складання передбачає забезпечення складання планетарного механізму. Дана умова перевіряється при числі сателітів більше одиниці. В кривошипно-планетарному механізмі установка сателітів можлива тільки в одному і тому ж положенні. [6].

Кривошипно-планетарний редуктор (рис.1) в першому приближенні складається з ексцентрикового валу 1, сателітів 2 і $2'$, корпусу з внутрішнім евольвентним зачепленням 3, механізму зняття обертового руху з сателітів (паралелограмного механізму) 4. Для полегшення складання під час виготовлення сателітів проводиться маркування базового зубу (впадини) і отвору у вигляді точки, складання відбувається наступним чином: ексцентриковий вал 1 зі встановленими сателітами 2 і $2'$, встановлюють вершиною ексцентриків у вертикальному положенні після чого сателіти

встановлюють таким чином, щоб маркований зубець (впадина) з отворами співпадали з вертикальною віссю ексцентриків, далі в отвори сателітів встановлюють пальці паралелограмного механізму 4. Після виконання цих маніпуляцій вузол встановлюють у внутрішнє евольвентне зачеплення корпусу 3.

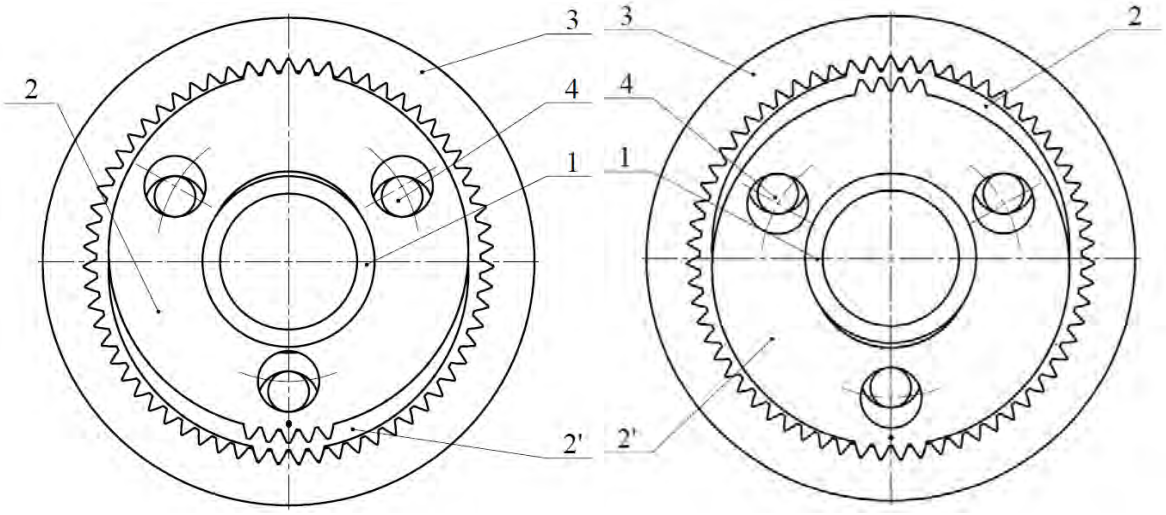



Рис. 1. Кривошипно-планетарний редуктор

**Умова відсутності інтерференції**. Внутрішня передача має набагато вищий шанс присутності інтерференції ніж зовнішня передача. Існують різні види інтерференції, такі як, осьова інтерференція, радіальна інтерференція, інтерференція головки зуба і т. д., які приведуть до порушення складання. [7]

Інтерференція головки зуба. Коли різниця кількості зубів $z_2 - z_1$ мала, головка зубу шестерні може контактувати з головкою зубу контактуючого колеса в місці протилежному точці зачеплення.

Наступне відношення дозволяє уникнути інтерференцію головки зуба:

$$R_{a2} + a_w > R_{a1} \tag{3}$$

Осьова інтерференція. В кривошипно-планетарному редукторі з малою різницею зубів $z_2 - z_1 = 1$ є можливість виникнення осьової інтерференції. Умова уникнення цього виду інтерференції виражається наступним чином (4):

$$z_1\left(\theta_1 + \mathrm{inv}\phi_{a1}\right) + \left(z_2 - z_1\right)\mathrm{inv}\phi > z_2\left(\theta_2 + \mathrm{inv}\phi_{a2}\right) \tag{4}$$

де

$$\theta_1 = \arccos\left[\left(R_{a2}^2 - R_{a1}^2 - a_w^2\right) / \left(2R_{a1}a_w\right)\right]$$

$$\theta_2 = \arccos\left[\left(R_{a2}^2 - R_{a1}^2 + a_w^2\right) / \left(2R_{a1}a_w\right)\right]$$

Радіальна інтерференція. Планетарні передачі з малою різницею зубів схильні до виникнення радіальної інтерференції. Умова уникнення радіальної інтерференції виглядає наступним чином (5):

$$z_1\left\{\arcsin\sqrt{\left[1-\left(\cos\phi_{a1}/\cos\phi_{a1}\right)^2\right]\Big/\left[1-\left(z_1/z_2\right)^2\right]}+\mathrm{inv}\phi_{a1}-\mathrm{inv}\phi\right\}>$$

$$z_2\left\{\arcsin\sqrt{\left[\left(\cos\phi_{a2}/\cos\phi_{a1}\right)^2-1\right]\Big/\left[\left(z_2/z_1\right)^2-1\right]}+\mathrm{inv}\phi_{a1}-\mathrm{inv}\phi\right\} \quad (5)$$

## ВИСНОВКИ

При проектуванні кривошипно-планетарного редуктора для забезпечення можливості якісного складання необхідно перевіряти ряд умов, які були наведені в роботі, та представлені у вигляді математичних залежностей. Розгляд даних умов на етапі проектування прискорює процес виготовлення виробу та зменшує кількість помилок безпосередньо під час складання редуктора. Подальший розвиток теми дозволить автоматизувати процес розрахунку умов складання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козырев В.В. Планетарные редукторы в составе роботов и мехатронных систем : Учеб. пособие / В.В. Козырев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 48 с.

2. І.В. Янчевський, П Комада, Н.В. Стельмах, Д.М. Литвиненко, Контактна задача для кривошипно-планетарного редуктора / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2018. - №1. – С. 73–80; DOI: 10.20535/1810-0546.2018.1.121166

3. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560

4. Plekhanov T.I. Structures and strength properties of planetary gear with internal linkings wheel strength // Eastern European Scientific J. – 2014. – Iss. 1. – P. 144-156. DOI: 10.12851/EESJ201402ART28

5. Условие соседства [Електронний ресурс] // studfiles.net. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://studfiles.net/preview/1839322/page:19/.

6. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи / В. Н. Кудрявцев. – Москва: Машиностроение, 1986. – 134 с.

7. On The Interterence of Internal Gearing [Електронний ресурс] // www.geartechnology.com. – 1989. – Режим доступу до ресурсу: https://www.geartechnology.com/issues/0789x/yu.pdf.

***Наук. керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.***

**УДК 621.09**

*Ю.Ю. Манзюк, студент гр.ПБ-71мп, Антонюк В.С., д.т.н., професор*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

***Анотація:*** Розглянуто засоби контролю корпусних деталей, які використовуються а автоматизованому виробництві. Запропонована автоматизована система контрою корпусних деталей безпосередньо на оброблювальному центр, Розроблено математичне, метрологічне і алгоритмічне забезпечення вимірювальних циклів на оброблювальному центрі Schaublin 160-CNC з використанням вимірювальної головки 3D тестер TSCHORN та комп'ютером з встановленою програмою Java Virtual Machine.

***Ключові слова:*** оброблювальний центр, деталь, точність, системи контролю.

## ВСТУП

Важливу роль у забезпеченні якості та конкурентоспроможності продукції приладобудування грає контрольно-вимірювальна техніка, в якій особливе місце займають засоби вимірювання та контролю геометричних параметрів відповідальних деталей, вузлів приладів та механізмів [1].

В сучасному приладобудуванні, гостро постає проблема швидкого і всебічного контролю деталей, оснащення, заготовок, для забезпечення повного циклу автоматизації підготовки виробництва.

Висока точність геометричних розмірів деталей визначає можливість їх взаємозамінності, що дозволяє істотно знизити витрати при складані, ремонті і експлуатації механізмів і приладів.

Один з способів рішення цього завдання – контроль оброблювальної деталі і різального інструменту безпосередньо в процесі обробки або відразу після нього і управління верстатом за результатами цього контролю.

Для цього в застосовуються стаціонарні координатно-вимірювальні машини, проте у ряді випадків, наприклад при вимірі важкодоступних порожнин, а також зробити заміри в ході технологічного процесу. провести вимірювання безпосередньо на верстаті ці машини непридатні [2].

У таких ситуаціях використовують маніпулятори, - вони компактні і легкі і для проведення вимірювань встановлюються безпосередньо поруч з вимірюваною деталлю. вимірюваної точки.

Для вимірювання на верстатах встановлюють вимірювальні датчики компанії Renishaw. Діапазон цих вимірів обмежений стандартними циклами, які є в системі ЧПК. Такі вимірювання програмуються вручну, і інформація про їх результати зчитується з екрану системи ЧПК [3].

Тому для використання вимірювальних датчиків безпосередньо на верстаті необхідно підключити до системи ЧПК комп'ютер, який прийматиме зворотні дані з верстату ЧПК, виконувати їх відповідну обробку.

**МЕТА РОБОТИ.** Створення автоматизованої системи контрою корпусних деталей безпосередньо на оброблювальному центрі, розробити математичне, метрологічне і алгоритмічне забезпечення вимірювальних циклів на оброблювальних центрах з ЧПК.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**. Вимірювання в робочої зоні дозволяють уточнювати найбільш важливі розміри деталі, виконувати в випадку необхідності корекцію керуючої програми, виявляти браковані деталі з метою

виключення їх з подальшої обробки, регулювати або замінювати зношений різальний інструмент [4].

Для вирішення поставленої задачі розроблена автоматизована система контролю корпусних деталей безпосередньо на оброблювальному центрі, яка включає:

- підпрограми для прив'язки системи координат заготовки до системі координат верстата;
- цикли виміру геометричних елементів заготовки/деталі: радіальні вимірювання, вимірювання по діаметру, заміри ребер/канавок, вимірювання довжини, передача інформації;
- вимірювальні цикли для контролю деталі/заготовки на оброблювальному центрі верстаті.

Принцип роботи системи полягає в тому, що з керуючої програми відбувається виклик потрібного циклу вимірювання (підпрограми), який керує верстатом, отримує через передавальний пристрій сигнал про спрацювання датчика, після чого проводиться запис поточного положення шпинделя в пам'ять оброблювального центра Schaublin 160-CNC [5].

За основу вимірювань міжосьових відстаней корпусних деталей взято використання вимірювальної головки 3D тестер TSCHORN з ціною поділки 0,001 мм, як засобу контролю міжосьових відстаней на верстатах з ЧПК [6].

Рис.1 Блок-схема програми автоматизованої системи контролю корпусних деталей

Перед початком роботи автоматизованої системи вимірювальну головку 3D тестер TSCHORN, яка зберігалась в інструментальному магазині, встановлювали в шпиндель оброблювального центра Schaublin 160-CNC ЧПК і обміряючи вибраний отвір у взаємно перпендикулярному напрямку, визначали центр отвору, який приймали за базову (нульову) точку.

Для вимірювання міжцентрових відстаней насадку щупа встановлювали таким чином, щоб кулька щупа торкалась стінки отвору у чотирьох діаметрально-протилежних точках. Насадка сковзала вздовж заготовки на низьких обертах шпинделя і передавала це переміщення на стрілки приладу. Отримані дані записуються у пам’ять компьютера.

Для реалізації запропонованої автоматизованої системи контролю міжосьових відстаней корпусних деталей розроблена програма на мові програмування Java 8.

На рисунку 1 представлена блок-схема програми автоматизованої системи контролю корпусних деталей:

Блок №1 – включення програми;

блок №2 – зчитування з пам’яті оброблювального

центра даних про міжосьові
відстані еталонної деталі, які отримуються після роботи контрольно-вимірювальної головки;

блок №3 – зчитування з пам'яті оброблювального центра даних про міжосьові відстані об'єкту контролю, які отримуються після роботи контрольно-вимірювальної головки;

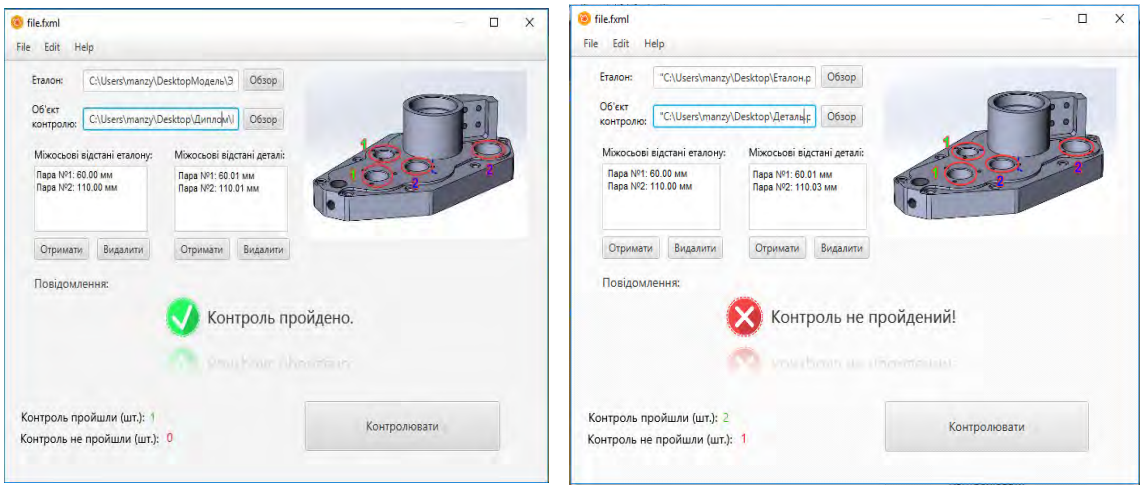
блок №4 – обробка змісту попередньо зчитаних даних та відбувається порівняння даних еталонного зразку з даними об'єкта контролю;

блок №5 – перевірка на співпадіння координат центрів отворів деталі, яка прийнята за еталон, та деталі, що контролюється;

блок №6 – повідомлення про те, що деталь без браку (рис.2а);

блок №7 – повідомлення про те, що деталь з браком (рис.2б);

блок №8 – кінець роботи програми.




а) б)

Рис.2 Екранна форма результатів вимірювань корпусної деталі:
пригодна деталь (*а*); бракована деталь *(б)*

## ІНСТРУКЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ.

Після проведення вимірів міжосьових відстаней на еталонному зразку деталі та об'єкті контролю необхідно:

- відкрити файл «AppControl.jar»;
- натиснути кнопку «Обзор» рядка «Еталон» та відкрити файл з даними про виміри еталонного зразка. Цей файл буде еталоном, відносно якого будуть порівнюватись деталі;
- натиснути кнопку «Обзор» рядка «Об'єкт контролю» та обрати файл з даними про виміри об'єкту контролю;
- натиснути кнопку «Контролювати».

Обравши положення центра отвору відносно обраної базової поверхні I, яку встановлюють вздовж однієї з координат верстата (наприклад *X*), міжосьові відстані між центрами отворами (*A*,*B*,*C*...) визначають переміщуючи вимірювальну головку вздовж координат *X*, *У*. (рис.3).

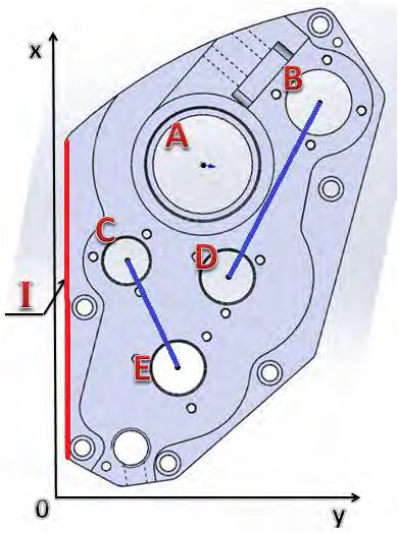



Рис.3 Корпусна деталь:
I – базова поверхня;
*A*, *B*, C, *D*. *E*. – центри отворів.

За даними, які отримані з оброблювального центра, програма вираховує координати центрів отворів корпусної деталі, враховуючи непаралельність їх розміщення відносно координати *X* верстата.

## ВИСНОВКИ

Запропонована автоматизована система контролю корпусних деталей дозволяє автоматизувати процес контролю міжосьових відстаней та виключити похибки через людський фактор.

Розроблений алгоритм і програмне забезпечення для реалізації автоматизованої системи контролю корпусних деталей, реалізований на оброблювальному центрі Schaublin 160-CNC з використанням вимірювальної головки 3D тестер TSCHORN та комп'ютером з встановленою віртуальною машиною (Java Virtual Machine) та програмою, яка була реалізована.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Секацкий В. Ф. Методи і засоби вимірювань і контролю [Текст]: навчальний посібник / В. С. Секацкий, Н.В. Мерзлікіна. - Красноярськ: ІСЦСФУ, 2007. - 286 с.

2. Федеральний портал «PROTOWN.RU» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.protown.ru/information/hide/4486.html (дата звернення 20.11.17).

3. Остафьев В.А., Антонюк В.С., Тымчик Г.С. Диагностика процесса металлобработки - К.: Техніка . 1991. - 152 с.

4. Л. І. Анісімова метрологічні характеристики засобів вимірювань і технічного контролю геометричних величин [Текст]: довідник / Л. І. Анісімова, А. С. Кривоногова. - Єкатеринбург: Изд-во Ріс. Держ. Проф.-пед. Ун-ту, 2010. - 260 с.

5. Словник «Академік» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/22442 (дата звернення 20.10.18).

6. Каталог обладнання «Оснастка и инструмент для ЧПУ станков» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tme-osnastka.ru/izmeritelnyy-instrument/privyazka-na-stanke/3d-tester-schup-datchik-kasaniya-haimer-atorn-tschorn.html (дата звернення 23.10.18).

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

**УДК 681.625.9**

*І.В.Мастенко, студент гр. ПБ-51, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.*
КПІ ім.. Ігоря Сікорського

# ПОЛІПШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація**. У даній статті розглянуто поліпшення механічних властивостей друкованих деталей за рахунок використання середовища інертного газу під час друку. Типовий FDM принтер був поміщений у вакуумну камеру, заповнену азотом, в якості матеріалів для друку застосовувався акрилонітрил бутадієн стирол і поліамід, що витримують високі механічні навантаження. Під час спостереження за процесом друку було зроблено висновок, що через запобігання процесам окислення спостерігалося значне збільшення натягу при розриві і міцності на розтягнення. Це можна пояснити зменшенням руйнування верхніх шарів поверхні полімеру при порівняно високій температурі друку.

***Ключові слова:*** метод пошарового наплавлення (FDM), випробування на розтягування, інертний газ, акрилонітрил бутадієну стирол(ABS), поліамід.

## ВСТУП

Застосування методу пошарового наплавлення (FDM) під час 3D-друку є найбільш поширеною та швидкою технологію прототипування завдяки простоті використання та широкому спектру доступних матеріалів. На сьогоднішній день друковані компоненти отримані технологією FDM використовуються в різноманітних сферах, починаючи від повсякденного життя до більш технічних рішень. Власне кажучи, механічна міцність є одним з основних параметрів, оптимізованих за вибором матеріалу та параметрами 3D-друку, такими як висота шару, температура подачі екструдера та швидкість друку.

У деяких випадках 3D-друковані компоненти піддаються впливу високих механічних навантажень, наприклад, у безпілотних літальних апаратах[1]. Отже, перевага полягає у використанні полімерів з стійкістю до високих механічним навантажень, таких як acrylonitrile butadiene styrene (ABS) і для виробництва механічно стійких деталей, застосовують нейлонові нитки, виготовленні зі спеціальних полімерів [2]. Під час процесу друку полімерна нитка розплавляється при високій температурі (200-280 ° C) і шар за шаром, наноситься на робочу поверхню. Висота шару зазвичай знаходиться в діапазоні декількох сотень мікрометрів, що призводить до великої площі контакту, підданій впливу повітря під час процесу друку. Отже, під час процесу FDM-друку полімерна поверхня кожного шару схильна до окислення, що може впливати на механічні властивості.

Детально досліджено погіршення фізико-хімічних характеристик полімерів при більш високих температурах. У випадку ABS, процеси окислення призводять до руйнування матеріалу при більш високих температурах у присутності кисню. В основному на полібутадієну фазу (яка містить реактивний подвійний зв'язок) впливають реакції окислення, які призводять до значного зниження механічних властивостей[3]. Для “Selective Laser Sintering” (SLS), де лазерний промінь використовується для плавлення частинок сирого вихідного матеріалу з метою формування бажаного об'єкта, детально досліджено складні процеси розкладання друкарського матеріалу, такого як нейлон [4]. У присутності азоту процеси окислення можуть призвести до зменшення молекулярної маси. SLS зазвичай обробляється в інертному

середовищі. Порівнявши деталі, що друкуються, у звичайних умовах з деталями, які виготовляються у безкисневому середовищі було помічено суттєве поліпшення механічних властивостей, таких як межа текучості, якщо друк виконується в ізольованих умовах (рис.1). Представлений метод може забезпечити досить ефективне підвищення показника якості друкованої продукції принтерів FDM.

Рисунок 1. 3D-принтер у вакуумному середовищі.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

3D-принтер UP Plus 2 від TierTime Technology Co використовувався для всіх випробовуваних деталей без калібрування. Принтер був встановлений в вакуумну камеру. Яка працювала під азотом з тиском +5 мбар (до атмосферного тиску). Потік газу був спрямований на значній відстані від принтера. Платформу вирівнювали перед кожним новим друком і попередньо нагрівали до температури 100 ° C (ABS) або 50 ° C (Taulman 910) протягом 15 хвилин. Друк проводили з висотою шару 0,15 мм. Температура сопла була встановлена до 263 ° C (273 ° C для першого та 268 ° C для другого шару для кращої адгезії шару на робочі поверхні принтера) для ABS та Taulman 910. Всі об'єкти, надруковані на повітрі та у камері, розташовувалися точно в тому ж місці і з однаковою орієнтацією на друкарській платформі для досягнення ідентичного способу друку.

Матеріали для 3D-друку ABS та нейлоновий полімер (Taulman 910) нитки з діаметром 1,75 мм, були висушені протягом ночі при температурі 85 ° C .

Випробування на розтягування були виконані за допомогою універсальної випробувальної машини, що оснащена тензодатчиком 10 кН зі швидкістю 1 мм хв-1 при 23 ° C / 50% відносної вологості. Для випробувань було обрано три пробних зразки.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На (рис. 2) показані апроксимовані криві навантаження-деформації, отримані з випробувань на розтяг друкованих пластин, виконаних з ABS та нейлонового полімеру (Taulman 910) у повітрі та всередині вакуумної камери. На перший погляд збільшення стійкості при розриві очевидно для ABS, в той

час як полімер нейлону демонструє значно підвищену міцність на розрив і збільшений модуль пружності.

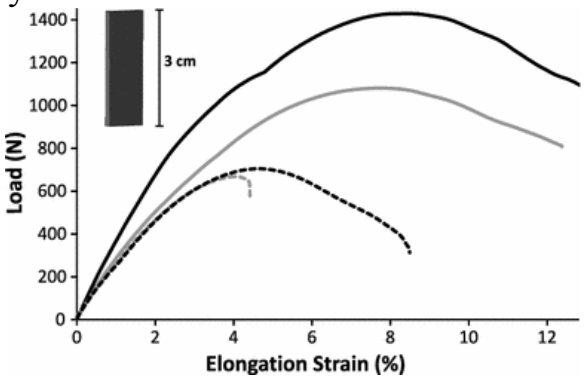



Рисунок 2. Середні навантаження деформаційних криві пластин з ABS (пунктирна сіра лінія) і нейлонового полімеру (пунктирна чорна лінія), надруковані на повітрі (сіра лінія) та під атмосферою азоту (чорна лінія)

Для нейлонового полімеру Taulman 910, який, як правило, більш еластичний (розрив не спостерігався в умовах випробувань), значне підвищення міцності при розтягненні досягається за рахунок виключення води і кисню. При цьому міцність на розтягування, як правило, знаходиться в межах очікуваного матеріалу. Крім того, спостерігався збільшення модуля пружності якщо нейлоновий полімер не був висушений перед друком у повітрі, його міцність на розрив зменшується. Це ясно показує загальний вплив води на механічні властивості нейлону, що є відомим фактом. Для всіх інших деталей на повітрі та під атмосферою азоту застосовують строгу процедуру сушіння нейлонової нитки.

Для SLS добре відомо, що кристалічність поліамідів змінюється зі ступенем плавлення частинок, що сильно впливає на механічні властивості [5]. За допомогою вимірювань диференціальної сковуючої калориметрії (ДСК) визначали вищу кристалічність для нейлонових пластинок, надрукованих на повітрі. Згідно з вимірами ДСК, зразки, надруковані на повітрі, на 15% більше кристалічні (приблизно 20% кристалічності), ніж зразки, надруковані в атмосфері азоту, як показано на (рис.3), що може пояснити покращені механічні властивості деталей, виготовлених у інертній газовій атмосфері [6].

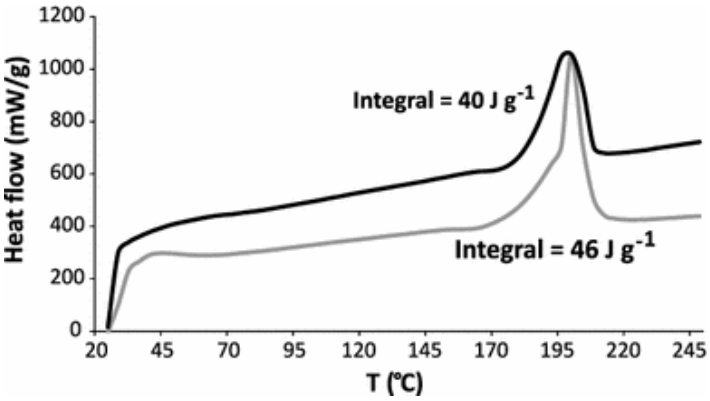



Рисунок 3. Перші криві нагрівання вимірювань ДСК для зразків з нейлонового полімеру, надруковані на повітряному (сірому) та в атмосфері азоту (чорний)

У всіх випадках друковані пластини з ABS та нейлонового полімеру,

надруковані в умовах інертного газу, були чисто білими без найменшого кольору, тоді як всі пластини, надруковані на повітрі, показали незначне жовте або коричневе забарвлення. Це відповідає очікуваному початку деградації полімерів, надрукованих на повітрі. В цілому, на даний момент можна зробити висновок, що придушення процесів окислення призводить до кращої адгезії шарів у випадку АБС (що веде до більш високого подовження при розриві), тоді як надзвичайно суха атмосфера може вплинути на кристалізацію поліаміду і несе відповідальність за поліпшення міцності на розрив.

## ВИСНОВКИ

Дані, отримані з випробувань на розтягування пластин, надрукованих на повітрі, порівняно з тими, що надруковані в атмосфері азоту, дозволяють зробити висновок, що поліпшені механічні властивості досягаються для відбитків, що виконуються в атмосфері інертного газу. Це призводить до більшого розтягнення твердого матеріалу ABS і більш високої міцності для еластичного нейлону. Збільшення межі міцності на розрив становить в діапазоні 30%, що може виправдовувати більші зусилля для друку в атмосфері азоту в деяких випадках, коли необхідні поліпшені механічні властивості. Подальша робота (аналіз деталей, виконаних у сухій, але кисневмісній атмосфері) необхідна для визначення впливу води та кисню на процес друку. Отже, 3D друк у середовищі інертного газу - це ефективне інженерне рішення, яке дозволить поліпшити механічні властивості продукції, за рахунок порівняно простого підходу, а саме розміщення принтера у вакуумній камері.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Using 3D printing for getting composite prototypes/Ihor Mastenko, Roman Mastenko, Nataliia Stelmakh// XX Międzynarodowej Studenckiej Sesji Naukowej «Materiały i Technologie XXI wiek».-2018-p.13-14. Режим доступу: http://lightweight.pl/wp-content/uploads/2018/10/Lightweight_special_issue.pdf

2. Blom H, Yeh R, Wojnarowski R, Ling M (2006) Detection of degradation of ABS materials via DSC. J Therm Anal Cal 83:113–115

3. Мастенко І.В., Матвієнко С.М. Пост-обробка деталей після FDM-друку // Збірник статей «Погляд у майбутнє приладобудування». – К.: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 221-224.

4. Tymrak BM, Kreiger M, Pearce JM (2014) Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. Mater Des 58:242–246

5. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560

6.Sood AK, Ohdar RK, Mahapatra SS (2010) Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. Mater Des 31:287–295

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.***

**УДК 621.91:519.711**

*А.О. Матвєєва, студентка гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. С.П. Вислоух*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ

***Анотація*** В статті розглядаються питання моделювання та оптимізації роботи виробничих систем шляхом використання структурно-логічного методу. Наведено основні поняття структурно-логічного методу – порядкових логічних визначників. Представлено приклад використання структурно-логічного методу для розв'язання задачі оптимізації процесу складання газового лічильника.

***Ключові слова:*** Структурно-логічний метод, порядкові логічні визначники, моделювання систем, оптимізація виробничого процесу.

## ВСТУП

Моделювання та оптимізація роботи виробничих систем має велике значення, оскільки їх практичне дозволить зменшити витрати на виробництво, а отже знизити собівартість виготовлення виробів, не вкладаючи значних коштів в переоснащення обладнання, розробку технологічного оснащення тощо. Наряду з вдосконаленням технологічних процесів та матеріально-технічної бази, оптимальне завантаження обладнання виробничої системи дозволяє суттєво зменшити час виготовлення виробів за рахунок мінімізації простою обладнання [1]. Отже, оптимізація завантаження технологічного обладнання є актуальною задачею в сучасному приладобудуванні. Ця проблема вирішується шляхом моделювання роботи виробничих систем.

Тому поставлена задача на основі аналізу стану математичного моделювання складних систем вибрати метод, що дозволить виконати моделювання роботи послідовно-паралельних виробничих систем в приладобудуванні з оптимізацією завантаження обладнання та реалізувати його на конкретному прикладі.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Виробнича система – це система виробництва продукції, яка динамічно функціонує у просторі й часі. Вона становить сукупність виробничих процесів, об'єктів і суб'єктів виробництва, що утворює складну інтегровану систему з певними функціональними та структурними ознаками, які поєднані для досягнення спільної мети [2, 3]. Моделювання виробничої системи – це головний елемент в розробці технології, яка безпосередньо впливає на використання ресурсів, залучених у виробничому процесі.

Серед великої кількості наявних методів моделювання складних систем треба виділити структурно-логічний метод. Використання нескінченної логіки (НЛ) в методі може слугувати як засіб опису детермінованих систем обслуговування. Це важливо тому, що для довільної системи будь-яку характеристику можна виразити через параметри системи за допомогою логічних операцій НЛ [4]. При такому застосуванні розходження між характеристиками системи зводиться до того, що одні з них одержують прості вирази, а інші складні. Тобто одні містять мало операцій, а інші – багато. Роботи з побудови структурно-логічної теорії на основі безперервної логіки

мають велике значення. Застосування безперервної логіки до завдань оптимізації дозволять не тільки записувати в логічній формі алгоритми розв'язання задачі, але і виводити формально загальні принципи оптимальності, що застосовні до вирішення цілих класів оптимізаційних задач.

Даний метод не є складним і точки зору представлення системи та проведення розрахунків її параметрів і досить просто піддається формалізації. Основною перевагою даного методу є можливість моделювання системи з різними типами структур, а саме: послідовної, паралельної, паралельно-послідовної та послідовно-паралельної.

Структурно-логічний метод оснований на умові, яка є суттєвою для моделювання виробничого процесу. Тобто за допомогою даного методу можна легко представити виробничу систему у вигляді множини технологічних операцій та необхідного обладнання.

В структурно-логічному методі початкові дані задаються матрицею $A = \|a_{ij}\|$ , де i – операції, j – обладнання. Елементи матриці вказують час виконання операцій кожної операції на відповідному обладнанні [5].

Для реалізації структурно-логічного методу з метою оптимізації роботи обладнання та розподілу робіт розроблена програма, що написана на мові програмування C++.

Програма підтримує принцип роздільного компілювання методів. Тому для зручності вона представлена в вигляді трьох файлів: «main.cpp», «get_arrangement.cpp» та «head.h». Файл «main.cpp» містить більш прив’язані до мови програмування методи, файл «get_arrangement.cpp» – більш прив’язані до математичної моделі. Заголовний файл «head.h» містить в собі декларації інтерфейсів методів для зв’язку окремих файлів між собою, а також директиви #include для підключення зовнішніх модулів STL. За допомогою даної програми розв’язана задача оптимізації роботи виробничої системи процесу складання газового лічильника. Початковими даними для розв’язання задачі моделювання структурно логічним методом за допомогою створеної програми є технологічний процес з вказаним часом на виконання складальних операцій «табл.1».

Відповідно до ТСС виділимо три рівня складальних операцій:

1. «Складання Корпус СК», «Складання кришки СК», «Складання Каркас СК»;
2. «Складання Стійки СК», «Складання Втулки СК»;
3. «Складання Лічильника СК».

Моделювання процесу складання виробу розпочинається зі створення нового проекту згідно з головним меню програми (дивись рис.1).

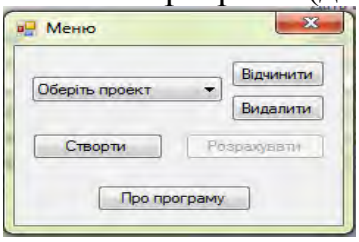



Рисунок 1. Вікно з головним меню програми

Таблиця 1. Технологічний процес складання газового лічильника

| ***№ п/п*** | ***Назва операції*** | ***Штучний час виконання операції*** |
|---|---|---|
| 005 | Підготовча | 1.01хв |
| 010 | Комплектувальна | 1.04хв |
| 015 | Промивка | 2.18хв |
| 020 | Сушка | 1.37хв |
| 025 | Складання Стійки СК | 2.53хв |
| 030 | Складання Корпусу СК | 3.74хв |
| 035 | Складання Кришки СК | 4.01хв |
| 040 | Складання Каркасу СК | 1.01хв |
| 045 | Складання Втулки СК | 4.73хв |
| 050 | Складання Датчик СК | 2.31хв |
| 055 | Контрольна | 5хв |
| 060 | Маркування | 1.34хв |
| 065 | Упакування | 4хв |
| 070 | Випробувальна | 2.03хв |

У наведеному меню є випадаючий список де можна обрати вже існуючий проект або написати назву нового. Для цього треба натиснути клавішу «Створити». Після цього з'явиться нове вікно (дивись рис. 2), в якому необхідно ввести необхідну кількість операцій та використовуваного обладнання.

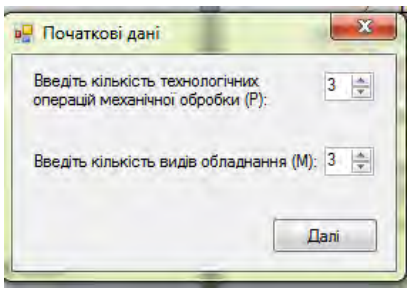



Рисунок 2. Вікно введення початкових даних

Після натискання клавішу «Далі», створюється вікно для введення матриці початкових даних (дивись рис.3). При заповненні вікна даними, без можливих помилок, натисканням клавіші «Далі» появляється вікно головного меню (дивись рис.2). Натисканням клавіші «Розрахувати» виконуються необхідні розрахунки.

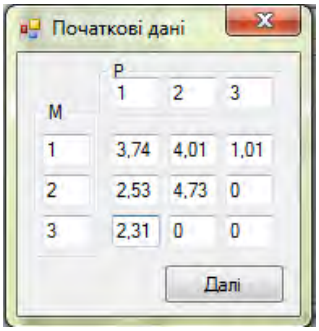



Рисунок 3 Вікно з введеною матрицею початкових даних

Результат розрахунку буде збережено в новому файлі «out.txt», який знаходиться в папці під назвою даного проекту «asd» (дивись рис.4).

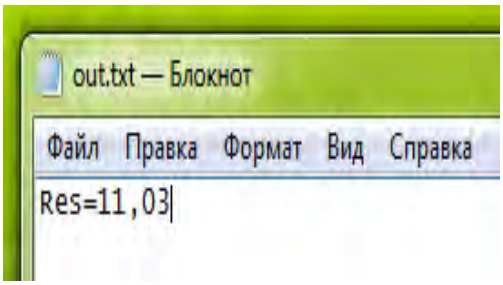



Рисунок 4. Вікно з файлом «out.txt»

Результат математичного моделювання, що представляє загальний час виконання всіх операцій технологічного процесу складання газового лічильника наведено на рисунку 4.

## ВИСНОВКИ

Використання структурно-логічного методу моделювання детермінованих послідовно-паралельних систем дозволяє вирішити задачу оптимізації виробничих процесів в приладобудуванні.

Розроблена програма, що реалізує структурно-логічний метод, показала її ефективність при розв'язанні задач оптимізації виробничих процесів.

Наведений приклад моделювання та оптимізації технологічного процесу складання газового лічильника дозволив зменшити загальний час його складання шляхом запаралелювання складальних операцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ладієва Л.Р. Оптимізація технологічних параметрів. Постановка задачі оптимізації / Л. Р. Ладієва. – К.: НМЦВО, 2003. – 35с.

2. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 488 с.

3. Вислоух С.П., Піпко А.В. Моделювання та оптимізація завантаження обладнання виробничих систем з використанням структурно-логічного методу / С.П.Вислоух, А.В.Піпко / Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2007. – Вип.34. – С.117-124.

4. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

5 Матвєєва А.О., Вислоух С.П. Моделювання роботи технологічного обладнання на основі структурно-логічного методу. // Збірник статей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», м. Київ, ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 15-16 травня 2018 р. . – С. 224-226.

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Вислоух С.П.***

**УДК 681.3.06**

*Р.Ю. Муха, студент, гр. ПБ-71мп, д.т.н., професор Антонюк В.С.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

**Анотація.** Проаналізовано методики розпізнавання образів як інструмент для проектування технологічних процесів виготовлення деталей. Запропоновано метод розпізнавання образів креслення деталей для проектування технологічного процесу. Використано відкриту бібліотеку мови Python – OpenCV. Розроблено алгоритм вирішення поставленої задачі. Створено програмний продукт розпізнавання креслення деталей, який інтерпретує технологічні процеси.

***Ключові слова:*** технологічний процес, розпізнавання образів, мова програмування, кластеризація, машинне навчання.

## ВСТУП

Сучасний підхід до проектування технологічних процесів вимагає застосовування новітніх методів оброблення інформації за допомогою використання ЕОМ. Для цього застосовуються методи, що базуються на розпізнаванні образів, які дозволяють вирішити такі задачі: ідентифікацію, кластеризацію, класифікацію процесів, явищ чи сигналів [1-4].

Однією з проблем приладобудування при виготовлені приладів та механізмів є наявність великої кількості різноманітних деталей, що ускладнює задачі технологічної підготовки виробництва. Використання при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей, методів розпізнавання образів підвищує ефективність розробки технологічних процесів, зменшує матеріальні та часові витрати [5, 6].

Для ідентифікації зображення існує безліч мов програмування за допомогою яких можна відтворити методи розпізнавання образів, однією з найбільш відомих є Python, перевага якої є те, що вона включає бібліотеку OpenCV, яка містить алгоритми та функції з обробки зображень, чисельні алгоритми і забезпечена необхідними ресурсами та засобами для обробки і аналізу вмісту зображень, у тому числі розпізнавання креслення, перетворення зображень, застосування методів машинного навчання і виявлення загальних елементів на зображеннях [7].

Одним з методів машинного навчання є кластерний аналіз, який полягає у розбитті заданої вибірки об'єктів на підмножини, які називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. [8, 9].

Завдання кластеризації відноситься до статистичної обробки, а також до широкого класу завдань навчання без вчителя. Використання методів машинного навчання є досить перспективним напрямом, тому система розпізнавання образів як інструмент для проектування технологічного процесу для вирішення задач технологічної підготовки виробництва є актуальним.

**Метою роботи** є розробки системи проектування технологічних процесів за допомогою методів машинного навчання – розпізнавання образів.

Для розпізнавання образів, як інструмент для проектування технологічного процесу використовують методи розпізнавання робразів, на основі кластерного аналізу та перевірки їх роботи в реальних умовах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для вирішення задачі розробки системи проектування технологічних процесів за допомогою методів машинного навчання обрано відкриту бібліотеку OpenCV, що дозволило спростити проектування технологічного процесу для токарної обробки.

Для реалізації запропонованого методу створено алгоритм вирішення задачі розпізнавання образів і вибрана мова програмування - Python, яка дозволяє не лише розпізнати креслення, а й проектувати технологічні процеси токарної обробки.

Рисунок. Алгоритм методики розпізнавання образів для проектування технологічного процесу

При роботі з програмою необхідно попередньо конвертувати креслення у формат JPEG.

Наступним кроком розпізнавання образів є фільтрація зображення, що виконується в такій послідовності:

попередня обробка зображення;

переведення зображення в чорно-білу палітру;

усування шуму в зображенні;

видалення перешкод між об’єктом і фоном.

На рисунку 1 показано алгоритм методики розпізнавання образів для проектування технологічного процесу:

блок №1 – включення програми;

блок №2 – зчитування зображення з файлу у форматі JPEG;

блок №3 – фільтрація зображення в послідовності що наведено вище;

блок №4 – розпізнавання ліній, за допомогою методів кластерного аналізу та бібліотеки OpenCV;

блок №5 – оцінка вхідного зображення і визначення типу обробки деталі використовуючи умовні оператори та присвоєння відповідного типу кожному елементу зображення;

блок №6 – формування технологічного процесу токарної обробки деталі.

блок №7 – отримання текстового файлу технологічного процесу обробки деталі;

блок №8 – кінець роботи програми.

Програма написана на мові програмування Python має ряд переваг:

- проста у використанні;
- має низькі системні вимоги;
- може використовуватись автономно на будь якій платформі де встановлено програмне середовище мови Python.

Розробка системи автоматизованого проектування на основі розпізнання образів, дозволяє проектувати технологічні процеси обробки токарних деталей.

## ВИСНОВОК

Встановлено, що для вирішення задачі розробки системи проектування технологічних процесів доцільно використовувати методи машинного навчання – розпізнавання образів.

Розроблено алгоритм та здійснено його програмну реалізацію на мові програмування Python, який на основі розпізнавання креслення інтерпретує готовий технологічний процесів.

Таким чином, запропонований метод розпізнавання образів як інструмент для проектування технологічного процесу може бути використаний як вихідна інформація для керуючих програм верстата з ЧПК

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизированое проектирование технологических процессов // Антонюк В.С., Выслоух С.П., В.И. Аверченков. – Киев УМК ВО, 1989 – 116 с.

2. Вислоух С. П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та

машинобудівного виробництва : монографія / С. П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.

3. Чимитов П. Е. Разработка математической модели сборочных процессов с использованием методов распознавания образов : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Чимитов Павел Евгеньевич ; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск, 2010. – 20 с.

4. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст] : навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с. – Бібліогр. : с.254-262.

5. Основы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления монолитных элементов, конструкций летательных аппаратов / Ю. В. Лысенко, В. В. Павлов [и др.]. – М. : МФТИ, 1977. – 51 с.

6. Автоматизированое проектирование технологических процессов // Антонюк В.С., Выслоух С.П., В.И. Аверченков. – Киев УМК ВО, 1989 – 116

7. Бібліотека OpenCV [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/OpenCV (дата звернення 22.10.18). – Назва з екрана.

8. Антонюк В.С., Выслоух С.П., Катрук О.В. Классификация и распознавание образов при автоматизированном проектировании технологических процессов. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ–Київ, Вип. №23, 2008. – С. 176–182.

9. Выслоух С.П. Распознавание образов, классификация и снижение размерностей при проектировании процессов абразивной обработки // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сборник статей международной научно-технической конференции. Волжский инженерно-строительный институт (филиал) ВолгГАСА. – Волжский, 2003. – С. 212–216.

***Наук. керівник – д.т.н., професор Антонюк В.С.***

**УДК 620.111.1: 621.7.013**

*с.н.с. Несін В.В., н.с. Лахтадир С.Л., провідний спеціаліст Маєтний М.І.*
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

# ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНОГО НАПРЯМКУ ВИДАЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ЗАДИРОК НА КУТАХ ФРЕЗЕРОВАНИХ ГРАНЕЙ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІАМІДУ БЛОЧНОГО

***Анотація.*** В статті описаний механізм утворення поверхневих задирок, як результат дії фрези, реакції внутрішніх зв'язків матеріалу, сили поверхневого натягу, сили тертя, результату розповсюдження теплових полів. Описані характерні елементи вказаного поверхневого дефекту (кут росту, результуючий напрямок росту, основа задирки). Визначені ефективні інструменти для видалення поверхневих задирок. Визначений оптимальний кут прикладання та ефективний напрямок дії інструменту при видаленні задирок.

***Ключові слова:*** фрезерування поліаміду, поверхневі задирки, напрямок обробки, кут прикладання інструменту

## ВСТУП

Виготовлення деталей з поліаміду із застосування механічної обробки проходить етапи виконання заготівельних, токарних, розміточних, фрезерувальних, свердлильних та слюсарних операцій. Характерними поверхневими дефектами обробки є поверхневі задирки на фрезерованих гранях (вид А на Рис. 1.) деталей. Ефективне видалення задирок на кінцевому етапі формування деталей є необхідною умовою виготовлення якісної продукції в приладобудуванні.

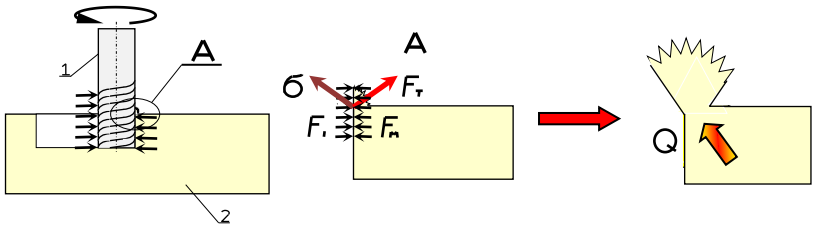



Рис. 1. Схема утворення задирок на фрезерованих гранях поліаміду

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Серед визначених характерних дефектів прокату [1] та механічної обробки конструкційних матеріалів важливе місце посідають поверхневі задирки. Ці дефекти, як недопустимі, визначений в спеціалізованих галузевих нормативних документах ОСТ4 ГО.005.051 та ОСТ4 ГО.070.014. Видаленню задирок з оброблених фрезеруванням граней пінополістиролу екструдованого приділялась увага авторів у відповідних роботах [2-4]. Різного виду пластмаси активно застосовуються при виготовленні деталей приладобудування. Зростають обсяги застосування механічної обробки таких матеріалів. Актуальними стають способи виявлення та видалення можливих дефектів механічної обробки полімерних матеріалів і зокрема поліаміду блочного.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Задирки (Рис. 1.) на оброблюваних гранях поліаміду (позиція 2 на Рис. 1.) утворюються під дією (Fі на Рис. 1.) інструменту (позиція 1 на Рис. 1.) на матеріал, реакцією матеріалу (Fм на Рис. 1.) на оборобку, перерозподілом сил

поверхневого натягу (σ на Рис. 1.), силами тертя інструменту об матеріал (Fт на Рис. 1.) та тепловою енергією (Q на Рис. 1.), що при цьому процесі виділяється.

Задирки ростуть в напрямку результуючого градієнту вивільнення внутрішніх зв'язків матеріалу (N на Рис. 2.), сили поверхневого натягу, сили тертя інструменту і напрямком його переміщення на кінцевому етапі формування кута грані в деталі. Припинення дії інструменту (Fі на Рис. 2.) задає певну додаткову вільність росту задирок в результуючому напрямку скомпенсованої припиненої дії (Fр на Рис. 2.). Загальний напрямок росту задирок формується як перпендикуляр до першої утвореної поверхні грані. Цей напрямок (N на Рис. 2.) виступає бісектрисою кута росту задирки (γ на Рис. 2.)

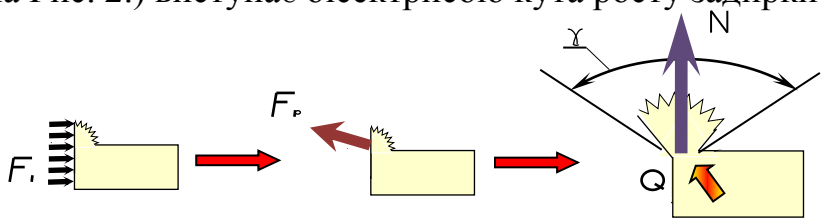



Рис. 2. Формування напрямку росту задирок на оброблених гранях поліаміду

Значна теплова енергія від тертя (Q на Рис. 1., Рис. 2., Рис.3.) концентрується на кутових оброблених гранях, витрачається на оплавлення основи задирки (зона на Рис. 3.) і її припікання до частини вільної попередньо обробленої поверхні грані. Теплова енергія Q від тертя розповсюджується в об'ємі поліаміду нерівномірно. Від меж розподілу, якими є поверхні утворюваних фрезерованих граней, теплове поле відбивається, повертаючись в матеріал. На утвореній грані теплова енергія витрачається на активацію поверхні деталі. Основа задирки розігрівається, плавиться, осідає на активовану поверхню деталі. Утворюється рівномірне локальне нерозривне зварне з'єднання.

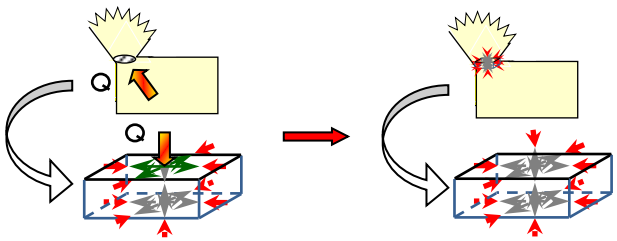



Рисунок 3. Схема утворення суцільної основи задирки

Найдоцільніше видалення задирок проводити зрізанням по площині дотичній до першої утвореної поверхні грані (частина I на Рис. 4). Але площина зрізання при використанні леза будівельного ножа, медичного скальпелю чи тонкого леза бритви буде розташованим не по дотичній площині, а по паралельній, далі від грані. Відступ буде рівним половині товщини леза ріжучого інструменту (Δ/2 на Рис. 4.).

Для забезпечення гарантованого зрізання задирок рекомендується направити площину різу по площині, що співпадає з бісектрисою напрямку утвореному межею кута напрямку росту задирки (γ на Рис. 2.) і дотичною до першої сформованої поверхні грані.

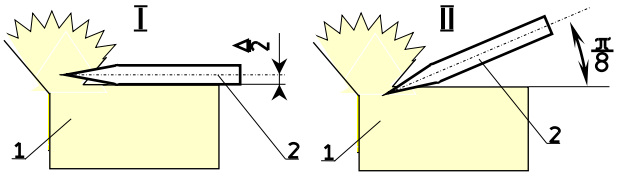



Рисунок 4. Схема різання

1- умовна деталь із задиркою; 2 – лезо ріжучого інструменту товщиною Δ

За непрямими емпіричними замірами такий кут відкладається на π/8 радіан (22°30´) від першої утвореної поверхні грані (частина II на Рис. 4.).

## ВИСНОВОК

Появі поверхневих задирок на фрезерованих гранях полімерних матеріалів і зокрема поліаміду блочного сприяють: дія фрези, реакція внутрішніх зв'язків матеріалу, сили поверхневого натягу, сили тертя, теплові поля, що розповсюджуються у матеріалі. Характерними особливостями задирок, виявлені в проведеній роботі, є: кут росту, результуючий напрямок росту, основа задирки.

Ефективними інструментами для видалення задирок можуть бути будівельний ніж, медичний скальпель чи тонке лезо бритви або плоского гостро заточеного шабера. Визначений доцільний кут різання π/8 радіан, який дозволяє найефективніше видаляти задирки з фрезерованих граней полімерних матеріалів і зокрема з поліаміду блочного.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прокат чорних металів. Терміни та визначення дефектів поверхні: ДСТУ 2658-94. - [Введ. в дію 01.07.1995]. – На заміну ГОСТ 21014-88. – К.: Держстандарт України, 1995.— (Національний стандарт України)

2. Юшков А.Г. Особливості використання матеріалу STURODUR в якості транспортного та експлуатаційного пакування багатоелементних малогабаритних виробів: здатність до обробки, дефекти, контроль якості [Текст] с. 159 / А.Г. Юшков, Лахтадир С.Л., В.В. Несін // Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали науково-технічної конференції, 30…31 травня 2016 р., м. Київ / загальна редакція Р.В. Лютий, І.М. Гурія. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 167 с.

3. Механізм утворення поверхневих задирок на фрезерованих гранях пакування з пінополістиролу екструдованого [Текст] С.66-67. / О.Є. Каглинський, С.Л. Лахтадир, В.В. Несін // Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи, 15-16 травня 2018 р., м. Київ, ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 224 с.

4. Раціоналізаторська пропозиція в ІСТЕ СБУ. «Створення технології видалення задирок з фрезерованих граней пакування з пінополістиролу екструзивного» / А.В. Гаврилов, О.Є. Каглинський, С.Л. Лахтадир, В.В. Несін. – Заявлено 05.03.2018; визнано раціоналізаторською 20.03.2018

**УДК 621.9.042**

*О.І. Онкалюк, студент гр.ПБ-71мп, Антонюк В.С., д.т.н., професор*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ФОРМУВАННЯ ЗОНИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОЇ КОНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ З КРУГОВИМ ЗУБОМ

**Анотація:** Проаналізовано види похибок формоутворення плями контакту зубчастого конічного зачеплення колеса з круговим профілем зуба та причини їх виникнення.
Показано, що пляма контакту зубчастого зачеплення є важливим фактором, що впливає на якість передачі крутного моменту та розподілення навантажень в механізмах і редукторах трансмісій транспортних засобів різного призначення.
Локалізація площадки контакту по висоті зубчастого колеса з круговим зубом зменшує надмірне спряження зубців і забезпечує малу ймовірність виникнення похибок при складанні зубчастої пари.
***Ключові слова:*** конічна передача, шестерня з круговим зубом; пляма контакту, напруження.

## ВСТУП

Зубчасті конічні колеса з круговим зубом передають великі навантаження при високих швидкостях зберігаючи при цьому плавність і безшумність роботи, тому вони часто використовуються в авіаційній та автомобільній промисловості.

Як показав досвід виготовлення та експлуатації редукторів з конічними передачами, які використовуються для трансмісії у різних сферах промисловості, важливим фактором для отримання високих показників надійності конічних коліс з круговим зубом є забезпечення необхідної площі плями контакту зубчатого зачеплення [1-5].

Пляма контакту є комплексним показником повноти контакту зубчастих коліс при їх зачепленні. При незадовільному вирішенні питання локалізації плями контакту можливі раптові поломки зубців, а також удари при надмірному спряженні, що викликають підвищений шум. Однак правильне її розташування призводить до зниження навантаження на передачі та забезпечує довговічність роботи механізму[6-7].

Як показав аналіз корекції геометрії зубців і зачеплення передачі головного редуктора ВР-28 гелікоптера МІ-28 конічна передача з круговим зубом в цілому сприяла покращенню передачі навантаження в редукторі за рахунок зміни плями контакту та форми зубців [1].

Тому, дослідження формоутворення плями контакту зубчастої конічної передачі з круговим зубом та причин виникнення тих чи інших відхилень є актуальним.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Аналіз ефектів кривизни контакту зубчатих коліс показав можливості значного збільшення несучої здатності зубчастих зачеплень із зубцями різного профілю [4].

Номінально зубчаті колеса мають початково лінійний дотик, за величиною радіусу кривизни контактуючих тіл, що найчастіше перевищує ширину плями контакту, а контактна міцність залежить головним чином від напружень в зоні контакту [4,7].

Причиною виходу зубчастої передачі з ладу в результаті викришування зубців є контактні навантаження і пов'язані з ними дотичні напруження під площадкою контакту.

Однак пружні тіла, незалежно від їх номінальної геометрії, фактично мають кінцеві розміри і початковий точковий дотик, а в навантаженому стані вони взаємодіють з деякою відмінною від постійного значення шириною площадки контакту [6].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі проведені дослідження конічних шестерень з круговим зубом хвостового редуктора гелікоптера.

Особливість профілювання зубонарізних інструментів і вибору правильного налагодження верстатів для конічних зубчастих коліс з круговим зубом, полягає в тому, що для забезпечення заданого рівня точності передачі обертання не існує однієї, теоретично бажаної пари поверхонь, до якої слід було б прагнути [2, 8].

Фінішну обробку конічної шестерні з круговим зубом здійснювали на контрольно-обкатному верстаті в зачепленні з зубчастим колесом.

Шестерню розміщували на валу, закріпленому в патроні і надавали обертовий рух в зачепленні з зубчастим колесом, яке в свою чергу служить інструментом для припрацювання зубців шестерні, при цьому зубчасте колесо обертається на валу з підшипниками і здійснює зворотно-поступовий рух по всій довжині зубців шестерні.

Припрацювання зубчастої пари відбувається із використанням абразивної пасти КТ. На початку обробки використовують зерно (60-40 мкм), а на фінішній операції його замінювали на більш дрібне (6-4 мкм).

Рисунок 1. Конічна шестерня з круговим зубом з плямою контакту

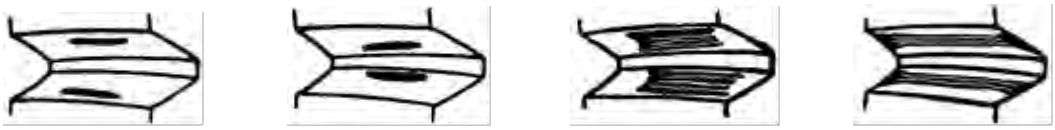
Для отримання відбитка плями контакту бічні поверхні зубців конічного колеса змащують тонким шаром фарби (барвником з невеликою кількістю рідкого мінерального мастила).

По закінченню циклу припрацювання шестерні з круговим зубом, виконували контроль величини плями контакту.

На рисунку 1 зображена конічна шестерня з круговим зубом з плямою контакту після фінішної обробки.

Як показав аналіз плям контакту у конічних шестерень з круговим зубом виникають найбільш поширені види похибок розміщення плям, а саме: розміщення при вершині зуба (*а*); надто близько до ніжки зуба (*б*); з розривом по висоті зуба (*в*); з розривом по довжині зуба (*г*) (Рисунок 2).

Уникнути значних похибок у процесі формоутворення площадки контакту конічних коліс з круговим профілем зуба можна за рахунок правильно вибраного способу нарізання зубців та підбору різального інстументу [9].



*а* *б* *в* *г*

Рисунок 2. Типові види похибок розміщення плями контакту на зубцях конічних зубчастих коліс: при вершині зуба (*а*); близько до ніжки зуба (*б*); з розривом по висоті зуба (*в*); з розривом по довжині зуба (*г*)

Якщо розміри плями і похибки положення невеликі, то величину цих похибок можна визначити зміною осьової установки і гіпоїдного зміщення шестерні на контрольно-обкатному верстаті. Зміна осьової установки шестерні, призводить до зміни положення зони торкання по висоті зуба, а зміна гіпоїдного зміщення шестерні - в основному до зміни положення зони дотику по довжині зуба [6].

Спряженість поверхонь зубів та регулювання площадки контакту можна здійснити за рахунок правильно підібраних технологічних параметрів, що обумовлені функціональним призначенням зубчастої передачі [3].

На практиці регулювання положення, розмірів і напрямки зони дотику проводять шляхом повторного нарізання відповідної сторони зуба шестерні з внесенням поправок в наладку зуборізного верстата або зміною параметрів інструменту [6].

Правильне розміщення плями контакту конічної шестерні з круговим зубом, що працює при повному навантаженні у зібраному редукторі гелікоптера, повинно становить не менш як 90% площі зуба і мати невеликий відрив від головки та ніжки зуба, а також від зовнішнього та внутрішнього його торця.

В результаті обробки конічної шестерні з круговим зубом запропонованим методом припрацювання в зачепленні з зубчастим колесом, з використанням зворотно-поступового руху по всій довжині зубців шестерні отримано величину плями, яка становила 90% площі зуба.

## ВИСНОВОК

Проаналізовано види похибок формоутворення плями контакту зубчастого зачеплення колеса з круговим зубом та причини їх виникнення.

Запропоновано технологічну схему контролю плями контакту конічної шестерні з круговим зубом.

Показано, що пляма контакту зубчастого зачеплення є важливим фактором, що впливає на якість передачі крутного моменту та розподілення навантажень в механізмах та редукторах трансмісій транспортних засобів різного призначення.

Локалізація площадки контакту по висоті зубчастого колеса з круговим зубом зменшує надмірне спряження зубців і забезпечує малу ймовірність виникнення похибок при складанні зубчастої пари.

Забезпечення необхідної плями контакту пари коліс з круговим зубом по ширині та по висоті на поверхнях зубців є актуальним і вимагає детального дослідження.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1.Журавлев Г.А. Прогрессивные зубчатые передачи на базе фундаментальных эффектов прочности/Г.А. Журавлев, А.А. Кучинский, Р.В. Новиков// Журнал наука и транспорт – 2007 – С.36-38.

2.Ковальов В. Д. Новітні технології виготовлення зубчастих коліс для важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О. Клочко, С. В. Рябченко // Оборудование и инструмент для професионалов 2017. №3 –С.76-77.

3.Ковальов В.Д. Впровадження інноваційних технологій виготовлення крупногабаритних редукторів важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О. Клочко, С. В. Рябченко // Промышленность в фокусе. Харьков – 2018 № 6 (67)– С. 40-41.

4.Петренко А.Ф. Исследование контактных напряжений в зацеплении зубчатой передачи/ А.Ф. Петренко, Д.Е. Бурлакова, В.Н. Савенков// Вестник Донецкого Национального Технического Университета – 2010 – С.25-27.

5.Попов А.П. Контактная прочность зубчатых передач с учетом влияния перекосов зубьев / А.П. Попов, А.И. Мироненко, Савенков О.И.// Проблемы механического привода – 2016 – Вестник НТУ «ХПИ» - №23 – С.121-125.

6.Внуков Ю.Н., Павлюченко И.Н. Моделирование процесса нарезания конических колес с круговым зубом. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – Вып.62.– С.24-29.

7.Внуков Ю.Н., Павлюченко И.Н., Клименко В.Ю. Моделирование процесса обработки зубчатых конических колес с круговым зубом на ЭВМ // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука - виробництво. – Суми: СумДУ. – 2001.– С.63-64.

8.Волков А.Э. Повышение эффективности моделирования процессов формообразования и анализ работы конических и гипоидных передач на стадии подготовки производства. Автореферат дис. д-ра техн. наук.-М.:2001.

9.Рябченко С.В., Клочко А.А., Антонюк В.С. Качество шлифования зубчатых колес крупногабаритных редукторов алмазно-абразивными кругами // Сб. Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 17-й Международной научно-практической конференции, 04-08 сентября 2017 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины.– 2017 – С.164 – 167.

***Науковий керівник – д.т.н., проф., Антонюк В.С.***

УДК 621.314

*В.М. Охмак, студент гр. ДС-61*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ DC/DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

***Анотація*** Новітні стандарти залізничного транспорту є досить жорсткими для обладнання, що використовується в системах керування та передачі інформації рухомих потягів, тому дуже важливо аби елементи цифрових та аналогових операцій були не тільки високоефективними, а й відповідали умовам їх використання. В даній статті представлені основні проблеми які виникають при застосуванні DC/DC перетворювачів в системах керування залізно дорожнім транспортом.

***Ключові слова :*** перетворювач, DC/DC перетворювач, діапазон напруг, система керування.

## ВСТУП

Прогрес технологій сягнув неймовірних висот та продовжує крокувати вперед, створюючи нові критерії та стандарти наукових підходів, технологічних моделей, а також концептуально практичних проблем. Значення транспорту в сучасних умовах глобалізації світу важко переоцінити. Одним з лідерів перевезення пасажирів та вантажів є залізничний транспорт, розвиток якого на території України характеризується високим ступенем насиченості та розгалуженості, що визначає його стратегічну та економічну цінність. Нові вимоги до швидкості, надійності, комфорту залізничного транспорту не можуть бути реалізованими без впровадження вдосконалених технологій керування та автоматизації. Обладнання, що використовується на рухомих потягах, повинне працювати в екстремальних умовах, бути стійким до механічних взаємодій, електричних та електромагнітних завад та пошкоджень. Саме до такого обладнання відносять прилади бортового керування потягів, зокрема, джерела живлення.

Все більше потужних компаній з виробництва транспортного обладнання світового рівня розробляють та впроваджують нові інноваційні рішення, до яких відноситься і автономний режим керування машинами без участі людини. Такі інновації в свою чергу вимагають застосування нових концептуальних моделей, інтелектуальних та практичних технологій та.

Постійна боротьба за підвищення ефективності роботи DC/DC перетворювачів та акумуляторних батарей, що традиційно використовуються у схемах електроживлення тягового залізничного транспорту, обумовлює створення нових моделей підсилювачів та їх схемних рішень. Додатковими критеріями на користь того чи іншого інженерного рішення є сфера застосування та наявність специфічних вимог до режимів роботи. Так, у транспортній галузі найбільший пріоритет має надійність функціонування.

Отже, задача виявлення основних проблем застосування перетворювачів постійного струму у системах електроживлення залізничного транспорту з подальшим пошуком шляхів розв’язання цих проблем є актуальною задачею.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В даній статті буде розглянуто загальний підхід до проблем використання

DC/DC перетворювачів в системах керування. Тому аналогії є досить абстрактними та приведеними до найпростішого порівняння.

Сучасна апаратура характеризується високою складністю, і часто для її окремих вузлів потрібні зовсім різні значення напруги. У випадку наявності лише одного джерела живлення умова використання перетворювачів з широким вхідним діапазоном напруги повинна бути виконана беззаперечно. Крім того, параметри та характеристики джерел живлення мають відповідати існуючим стандартам. В аспекті залізничного транспорту діють наступні стандарти:

EN50155 (Застосування в залізничній техніці);

EN55022 (Границі і методи вимірювань характеристик радіочастотних взаємодій на обладнання інформаційних технологій);

EN61373 (Ударостійкість).

Використання сучасних схемних рішень та методів керування перетворювачів допомагає розширити можливість мінімізації матеріалів та ресурсів, що використовуються, скорочуючи затрати. Широкий вхідний діапазон напруги дає можливість оперувати з суттєво різними рівнями вихідної напруги, в тому числі для забезпечення живлення вузлів та агрегатів керування, до яких належать керуючі панелі оператора, обробки та передачі сигналів.

Важливою умовою, що висувається до електротехнічної апаратури, зокрема, у залізничному транспорті, є малі масо-габаритні показники, а також конструктивна стійкість до зовнішніх механічних взаємодій. В процесі роботи елементи повинні витримувати вібрації, коливання та удари, що присутні на залізницях, це забезпечить довготривалу та надійну роботу як одну з ключових умов безпеки перевезень. З точки зору конструктивних рішень перевага віддається елементам, виконаним в корпусі з гнучкими виводами.

Важливим параметром, що має бути врахованим розробником при виборі DC/DC перетворювача, є його електромагнітні характеристики (що характеризують здатність до надійної роботи за умов наведених шумів та електромагнітних завад).

В джерелах живлення панелей керування залізничним транспортом повинен бути передбачений цілий комплекс захисту від електричних загроз, серед яких особливу увагу слід приділити розробці систем захисту від короткого замикання та перенапруг.

Не менш важливим фактором ефективної роботи елементів цифрової електроніки, що використовуються на залізниці, є їх температурна стійкість та функціонування у заданому робочий діапазон температур.

Виконання основних експлуатаційних вимог допоможе збільшити термін експлуатації DC/DC перетворювачів, а також виконавчих механізмів та схем, живлення яких вони забезпечують. Адже, залізничний транспорт відіграє важливу, іноді навіть ключову, роль у різних сферах економіки та діяльності людини, тому термін служби та надійність роботи всіх технологічних елементів впливає на якість перевезень, функціональність та безпеку.

Таким чином, на прикладі DC/DC перетворювачів можна побачити, наскільки різним та розгалуженим є комплекс проблем, розв’язання яких

повинно здійснюватися з урахуванням технологічних, експлуатаційних, електротехнічних та економічних вимог на етапі початкової розробки нових електронних пристроїв та систем спеціального призначення.

## ВИСНОВКИ

В даній статті були розглянуті основні проблеми, що постають перед розробниками та інженерами з експлуатації систем електроживлення залізничного транспорту, на прикладі DC/DC перетворювачів. Врахування різнотипних вимог та узгоджене комплексне розв'язання експлуатаційних та технологічних задач в цьому напрямку дозволить зменшити затрати, матеріали та ресурси в цілому, забезпечити стабільне, надійне та безпечне функціонування апаратури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сайт електрика. DC/DC перетворювачі. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://elektruk.info/main/praktika/1112-dcdc-preobrazovateli.html

2. ПОВЫШАЮЩИЕ И ПОНИЖАЮЩИЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ANALOG DEVICES ДЛЯ ПОРТАТИВНОЙ АППАРАТУРЫ. // [Електронний ресурс].—Режим доступу: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/BUCK-BOOST%20DC-DC-CONVERERS%20Analog%20Devices_EKIS_2_2011-2.pdf

3. Схемотехника DC/DC преобразователей. // [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.soel.ru/upload/clouds/1/iblock/b64/b648e85627e10352a9296f0bfe2684ca/200503036.pdf

4. Воропаев П. Новые серии DC/DC-преобразователей с широким диапазоном входных напряжений для железнодорожного транспорта. / Журнал CHIP NEWS Украина.—2012. —№06(116). —С.30-32.

5. Інформаційні системи і технології [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання контрольної роботи для студентів спеціальності 6.100403 «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» для студентів усіх форм навч. / уклад. Г.І.Кириченко. — К. : ДЕТУТ, 2008. — 20с. Режим доступу: http://lib.detut.edu.ua/files2/uzt/Kafedra_UPP/1256%20.pdf

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Ямненко Ю.С.***

**УДК 629.9**

*М.С. Путілов студент гр. ПБ-71м.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДАТЧИКИ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Анотація . В даній статті описано переваги та недоліки діагностики датчиками акустичної емісії. Пояснення вибору методу діагностування, і його застосування та його переваги.

***Ключові слова:*** Діагностика процесу, акустична емісія.

## ВСТУП

П'єзоелектричні датчики відносяться до основних елементів - перетворювачів первинної інформації акустичних систем діагностики стану і контролю працездатності відповідальних виробів на основі методу акустичної емісії, вібродіагностики і т.д. Акустична емісія, тобто випромінювання пружних хвиль напружень, містить в собі інформацію про фізичні процеси, які відбуваються при терті, деформуванні або руйнуванні матеріалів. Цей метод знайшов широке застосування при ранній діагностиці землетрусів, аналізі стану складних об'єктів в атомній енергетиці, в ракетній і космічній техніці. У цій області найбільш відомі роботи вчених США. Серед них проф. Вон з Каліфорнійського університету та проф. Дорнфельд, що застосовують методи акустичної емісії для діагностики процесів різання.[1]

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досягнення сучасної електроніки і автоматики відкривають великі можливості для обробки і перетворення інформації, що міститься в акустичних коливаннях, що йдуть від об'єкта контролю. Тому найважливіші функціональні можливості і метрологічні характеристики УЗ і АЕ дефектоскопічної, діагностичної, вимірювальної та дослідницької апаратури визначаються, як правило, параметрами первинних електромеханічних перетворювачів - випромінювачів і приймачів УЗ і АЕ коливань. У переважній більшості випадків в якості таких перетворювачів використовують п'єзоелектричні перетворювачі самих різних типів [2].

Акустична емісія являє собою явище генерації хвиль напружень, викликаних раптової перебудовою в структурі матеріалу. Класичними джерелами АЕ є процес деформування, пов'язаний з ростом дефектів, наприклад, тріщини або зони пластичної деформації. Раптовий рух джерела емісії викликає виникнення хвиль напружень, які поширюються в структурі матеріалу і досягають перетворювача. У міру зростання напруги, активізуються багато з наявних в матеріалі об'єкта джерел емісії. Електричні сигнали емісії, отримані в результаті перетворення датчиком хвиль напружень, посилюються, і реєструються апаратурою і піддаються подальшій обробці і інтерпретації.

Отже, джерелом акустико-емісійної енергії служить поле пружних напружень в матеріалі. Без напруг немає і емісії, тому АЕ контроль зазвичай проводиться шляхом навантаження контрольованого об'єкта. Це може бути перевірки контроль перед запуском об'єкта, контроль змін навантаження під час роботи об'єкта, випробування на втому, повзучість або комплексне

навантаження. Дуже часто конструкція навантажується довільним способом. У цьому випадку використання АЕ контролю дозволяє отримувати додаткову цінну інформацію про поведінку конструкції під дією навантаження. В інших випадках емісія використовується з причин економічності і безпеки; для таких завдань розробляються спеціальні процедури навантаження і тестування [3].

Основним елементом АЕ резонансного датчика є п'єзоелектричний кристал, що перетворить механічний рух в електричний сигнал. Кристал поміщається в спеціальний корпус з денцем у вигляді пластинки і роз'ємом. Датчик збуджується хвилями напружень, що потрапляють на його денце, і перетворює їх в електричні сигнали. Ці сигнали надходять на розташований поблизу передпідсилювач, посилюються і на кінцевому етапі реєстрації надходять на основну вимірювальну і обробну апаратуру. Останнім часом для більшої зручності при установці і зниження чутливості до електромагнітних наведень, підсилювачі роблять мініатюрними і розміщують безпосередньо в корпусі датчика, отримуючи суміщений датчик-передпідсилювач [3].

Одним з основних вимог до датчика є його висока чутливість. І хоча в цілому високоякісними датчиками вважаються датчики, що володіють пласкою частотною характеристикою, в більшості практичних випадків найбільш чутливими, а тому кращими, є резонансні датчики, які, до того ж, є більш дешевими. Ці датчики мають порівняно вузьку смугу частот, в якій відбувається основне коливання. Частотна смуга визначається в основному розміром і формою кристала. Частоти, що характеризують датчик, є домінуючими при утворенні форми і спектра АЕ сигналу [3].

По ширині смуги робочих частот виділяють вузькосмугові, смугові і широкосмугові перетворювачі [5]; до першого типу умовно відносять перетворювачі з шириною смуги пропускання менше однієї октави, а до третього - з шириною смуги пропускання більше однієї октави (відношення максимальної частоти до мінімальної більше двох). Смугові перетворювачі мають меншу чутливістю, ніж резонансні, але більшу пропускну здатність. Збільшити пропускну здатність можна, якщо зробити п'єзоелемент змінної товщини, включити в конструкцію кілька активних (п'єзоелектричних матеріалів) і пасивних (не п'єзоелектричних) шарів, використовувати товстий п'єзоелемент, що випромінює тільки з поверхні; в залежності від способу підвищення пропускної здатності розрізняють перетворювачі змінної товщини, багатошарові перетворювачі і товсті, або аперіодичні перетворювачі.

Під час АЕ контролю на виході датчиків формуються перехідні (імпульсні) сигнали. Сигнал від одиничного акту дискретної деформації відомий як сигнал вибухового (імпульсного) типу. Такий сигнал має різкий передній фронт і повільне згасання. Імпульсні сигнали варіюються в широких межах за формою, розміром і швидкістю генерації в залежності від типу структури і умов випробувань. При великій швидкості генерації сигналів, індивідуальні імпульсні сигнали можуть накладатися і формувати так звану безперервну емісію. У деяких випадках метод АЕ ґрунтується на реєстрації такої емісії. Апаратура, що використовується при АЕ контролі, повинна забезпечувати можливість реєстрації безперервної емісії або сигналів імпульсного типу [3,4].

Після того, як сигнал був прийнятий датчиком і посилений перепідсилювачем, він надходить в основну систему, де знову посилюється і фільтрується. На наступному важливому етапі відбувається безпосередньо виділення сигналу. Етап закінчується тим, що коли сигнал перевищує встановлений поріг, у компараторі у цифровому вигляді генерується вихідний імпульс. Рівень порога зазвичай регулюється оператором; цей параметр є ключовою змінною, яка визначає чутливість АЕ методу при випробуванні. Крім того, в залежності від типу АЕ обладнання, чутливість можна контролювати шляхом регулювання підсилення основного підсилювача.

Найбільш простий і випробуваний спосіб оцінки активності емісії полягає в підрахунку числа осциляцій (counts) - числа перетинів імпульсом, виданими компаратором, встановленого порога [5].

## ВИСНОВКИ

Основні характеристики датчиків АЕ - робочий діапазон частот (ширина смуги пропускання) із заданою нерівномірністю і рівень вихідного сигналу. Низький рівень сигналу на виході датчика можна в подальшому посилити. Однак компенсувати нерівномірність смуги частот набагато складніше. Тому створення датчиків АЕ з мінімальною нерівномірністю АЧХ є важливим завданням розвитку систем діагностики.

Сьогодні, з появою нових матеріалів з високими демпфірувальними властивостями і ефектом пам'яті форми можливе створення принципово нових конструкцій датчиків акустичної емісії, за своїми характеристиками не поступається, а в деяких випадках і перевершують зарубіжні аналоги. Стандартних пристроїв такого типу промисловість не випускає.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jiang XU. Space-time evolution rules study on acoustic emission location in rock under cyclic loading/ Jiang XU, Xiaojun TANG, Shuchun LI, Yunqi TAO, Yongdong JIANG // Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. – 2009. – No 3(4). – P. 422–427.

2. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. Клюева В. В. Т. 7: в 2 кн. Кн. 1: Иванов В. И., Власов И. Э. Метод акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.

3. Поллок А. Акустико-эмиссионный контроль // Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International (1989): С. 278-294 [Електронний ресурс] / Сайт компанії ТОВ «Диапак», - режим доступу: http://www.diapac.ru/Articles/Pollock.pdf.

4. Бунина Н. А. Исследование пластической деформации металлов методом акустической эмиссии / Н. А. Бунина. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. – 176 с.

5. Полесская Л. М. Об определении координат дефектов в конструкциях с произвольной поверхностью / Полесская Л. М., Гричук В. В., Балабанов А. А., Марасанов В. В. // Дефектоскопия. – 1978. – № 7. – С. 50–56.

***Наук. керівник, к.т.н., Барандич Катерина Сергіївна***

**УДК 658.512:658.52.011.56**

*В.С. Скібчик, студент гр. ПБ-71мп, Подолян О.О., ст. викладач, к.т.н.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ ЗА РОЗРОБЛЕНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ НА ОСНОВІ ЗАКОНУ ПАРЕТО

***Анотація.*** Розглянуто складання виробів розробленим способом, що базується на основі аналізу даних із використанням закону Парето. Описано принцип дії розробленого програмного забезпечення, суть якого полягає в обрахунку похибок, технологічності та вибору оптимального методу складання, яким може бути комбінований метод для різних типів вузлів. Програмне забезпечення має змогу здійснювати розрахунок процесу складання із підтримкою двох способів задання вхідних даних, а саме: графічного та аналітичного.

***Ключові слова:*** закон Парето, принцип Парето, процес складання, виріб, програмне забезпечення, складальна одиниця, складальний агрегат.

## ВСТУП

Сучасний процес складання полягає у використанні ручного складання з елементами використання автоматизованого обладнання (складальний агрегат), яке працює відповідно до заданої технології складання. Динаміка розвитку сучасного складання висуває нові вимоги до підвищення якості цього процесу, а також домінантності автоматизованого процесу складання над ручним.

Пошуки нових методів складання, що ґрунтуються на використанні програмного забезпечення – невпинно зростають. Головними вимогами процесу складання є дотриманням технологічності, точності та якості. Досить часто на виробництвах зіштовхуються з низкою проблемою, таких як вибір ортимального процесу складання, забезпечення заданої точності пристроїв, вибір типу конструкції та розмірів складальної оснастки, визначення необхідного обладнання та ін [1]. Тому для вирішення цієї проблеми було розроблено спеціальне програмне забезпечення, що базується на на основі аналізу даних із використанням закону Парето.

Якість складання виробу залежить від рівня підготовки фахівця. При написанні ПЗ, яке повинно бути універсальним для різних систем та агрегатів, надзвичайно важливу роль відіграє послідовність складання, технічні можливості, а також вид технічного обладнання, наявність автоматизованого складального агрегату та ряд інших, що дозволять виконувати всі покладені на нього основні та додаткова функції.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Автоматизований процес складання – це важлива технологічна операція, що полягає у послідовному складанні складальних одиниць (СО) за допомогою складального агрегата. Як правило, у складальних відділах більшість технологічних операцій (ТО) виконують вручну. Це пояснюється неможливістю автоматичного виконання ТО, складністю написання програмного забезпечення (ПЗ), складність чи неможливість підключення спеціального обладнання (до складального агрегату), відсутність необхідного обладнання, використання різних автоматів, агрегатів та ліній складання.

Розроблення ПЗ обумовлене вирішенням вищеописаних вимог у складі напівавтоматизованого (використання обладнання), ручного (інженер) та

автоматизованого (складальні агригати) з різними системами програмного керування для різних автоматів. Процес складання за розробленим програмним забезпеченням на основі закону Парето дозволяє спростити процес складання, прийняти ряд рішень автоматично (без втручання оператора), а також обрати найдоцільніший метод складання [2].

Робота ПЗ базується на основі закону Парето (принципу Парето), який є емпіричним законом розподілу і може бути використаним в техніці для досягнення високого результату (80%) з використанням малої кількості затрат ресурсів та часу (20%) [3]. Даний закон застосований для усунення різного роду похибок, що виникають при складанні обраним методом.

Суть розробленого ПЗ полягає у розрахунку за формулами згідно одного обраного методу із ряду можливих. Вибір методу складання здійснюється автоматично в залежності від вхідних параметрів та обумовленої точності складання. Вхідні дані, що визначають процес обробки, можуть бути представлені графічно (3Д модель) та аналітично (маршруту складання).

Процес складання, що базується на основі закону Парето, із графічним способом задання вхідних даних полягає в наступному. Розробляють 3Д модель виробу з точними розмірами. При цьому, обов’язковим є дотриманням квалітетів (або із заданням припусків та допусків), технології та послідовності складання. Розроблене ПЗ дозволяє підключити розроблений графічний модуль, редактор якого має змогу проаналізувати СО, послідовність та технологію процесу складання. Для коректної роботи програми використовують ПЗ Solidworks 2015 та пізнішої версії. Після обробки даних всувається похибка та автоматично пропонується один із методів складання, що є найбільш оптимальним. На кінцевому етапі розрахунків оператору-технологу (ОТ) пропонується остаточний графічний варіант складання з розрахунками на технологічність, похибками за кожним методом складання та специфікацією (формується автоматично відповідно до послідовності складання). ОТ має можливість регулювати процес складання до початку, після та підчас складання (у разі необхідності). У разі відповідності ТО всім технологічним вимогам відбувається запуск процесу складання виробу. У випадку виконання операції складання на складальному агрегаті, він повинний бути оснащений відповідним технічним обладнанням та підтримувати ПЗ [4].

Процес складання, що базується на основі закону Парето, із аналітичним способом задання вхідних даних полягає в наступному. Формують маршрут складання виробу, на якому зазначають вузли, СО, їх кількість, вказують технологічні операції та інші вхідні дані. При цьому розміри СО задаються згідно квалітетів (або припусків і допусків). Проводяться обрахунки згідно формул різними методами та визначається найкраще технічне рішення. ОТ отримує таблицю із обрахунками технологічності та похибки. Подібно вищеописаному процесу складання із графічним способом задання, ОТ втручається в процес складання тільки при отриманні фінального рішення, що включає в себе вибір найраціональнішого методу, розрахунки на технологічність, похибки та сформовану специфікацію. Після перевірки ОТ запропонованого рішення, складальний агрегат починає виконувати складання.

Розроблене ПЗ обраховує методи складання за формулами, порівнює технологічність різних методів, визначає похибки, що формуються в процесі складання та виключає деякі з них за правилом Парето. Суть виключення полягає в тому, що при розрахунках вузлів чи всього виробу виключені будуть ті похибки, що є малоефективними та не впливають на основний процес складання. Таким чином обраховуються лише 20% похибок, якщо вони більше деякого числа $\varepsilon$ (точності процесу складання), при цьому відбувається врахування поправок щодо фізичного змісту процесу складання, таких як багатократного вимірювання деталей з дотримання ротації (під різними кутами), перевірка точності прилягання та інших для усунення виключених похибок. Результат, обчислений таким способом, дає можливість стверджувати про 80%-ву достовірність отриманих значень (згідно правила Парето). Дані, отримані з достовірністю 80% проходять подальші цикли обробки відповідно до розроблених алгоритмів. Точність обробки таким методом досягається 94-98%. Проте усунення похибок не завжди є можливим. Це пояснюється вибором оптимального методу складання та значною кількістю вимірювання [5].

Розроблене програмне забезпечення дозволяє ОТ бути не тільки користувачем, але й розробником та самостійно обирати вид і кількість вхідних даних для введення, наприклад наявність уніфікації (з заданням уніфікованих СО, вузлів чи їх відсутність), задавати кількість вузлів. Дане ПЗ розроблене як для автоматизованого, напівавтоматизованого, так і для звичайного складання. Цей достовірний метод дозволяє обрати найефективніший метод складання відповідно до заданих даних, визначити похибки та технологічність процесу.

## ВИСНОВКИ

Розроблене програмне забезпечення дозволяє оцінити процес складання за вибірковими вхідними даними, тобто даними про процес складання, що є відомими. ПЗ має можливість вибору як одного так і комбінованих методів складання (для кожного вузла окремо), що суттєво впливає на точність складання. ПЗ може бути застосоване як для автоматизованого (складальні агрегати), напівавтоматизованого, так і для ручного типу складання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 564 с.

2. Технологія складання, регулювання та випробування приладів. Підручник/ В.О. Румбешта. –К.; с. - 360, іл. 159, табл. 19.

3. Грачев А. Г. Моделирование принципа Парето. : монографія / А.Г. Грачев Изд.: Южного федерального ун-та, 2011 - 223 с. : ил.

4. Сборка и монтаж изделий машиностроения: справочник в двух томах. / Под ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятина. — К.: Машиностроение, 1983. — 480с.

5. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении / А. В. Воронин [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1985. — 271 с.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач Подолян О.О.***

**УДК 519.248:621.91**

*К.Г. Філоненко, студент гр. ПБ-71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доц.*
КПІ ім.. Ігоря Сікорського

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

***Анотація*** В статті розглядаються питання моделювання та оптимізації роботи технологічного обладнання шляхом використання Tecnomatix Plant Simulation. Показано, що використання імітаційного моделювання виробничих процесів на прикладі механічного оброблення деталі «корпус» дозволяє скоротити час простою обладнання та розподілити навантаження між верстатами.

***Ключові слова:*** Імітаційне моделювання, виробничі системи, процес механічного оброблення, система Tecnomatix Plant Simulation.

## ВСТУП

Імітаційне моделювання в даний час широко застосовується в якості інструменту оптимізації технологічних, логістичних та організаційних процесів в різних галузях. Підвищити ефективність вирішення такого класу задач можливо завдяки застосування систем імітаційного моделювання (СІМ) з графічним введенням структурних схем об'єктів, що моделюються [1].

Підготовка імітації включає вибір мети моделі (наприклад, опис того, як в механічному цеху виконується оброблення деталі), вибір системи, в якій буде представлена модель, тип створюваної моделі (наприклад, модель "потокового" процесу) і передбачуване використання побудованої і перевіреної моделі (наприклад, підготувати нового оператора). Таким чином, підготовка повинна максимально полегшити використання початкової інформації.

Основна цінність імітаційного моделювання полягає у застосуванні методології системного аналізу – дослідженні системи, що аналізується або проектується, за схемою операційного дослідження. Даний метод охоплює низку послідовних етапів: змістовна постановка завдання; створення концептуальної моделі; розроблення алгоритму і програми реалізації імітаційної моделі; перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання; планування і проведення комп'ютерних експериментів; прийняття рішень на основі отриманих даних [2].

Метою моделювання виробничих процесів є підвищення їх продуктивності за рахунок визначення та обґрунтування оптимальних параметрів. Дослідження технологічних процесів на основі імітаційного моделювання, дозволяє визначити технологічні змінні, їх взаємовідносини та взаємозв’язки, виділити техніко-економічні показники, оцінити вплив на прибутковість, визначити напрямки розвитку та шляхи вдосконалення техніко-технологічної бази [3].

Тому в даній роботі поставлено завдання підвищення ефективності використання технологічного обладнання виробничої дільниці механічного цеху при обробленні деталей шляхом імітаційного моделювання.

## ОПИС СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Для реалізації поставленого завдання запропоновано використовувати систему імітаційного моделювання Plant Simulation, що входить до складу Tecnomatix Plant Design & Optimization (додаток для проектування і оптимізації

підприємств), забезпечення прийняття рішень якої з 2007 року здійснюється компанією Siemens PLM Software. Система призначена для створення і дослідження в візуальному середовищі цифрових динамічних моделей різних за рівнем складності виробничих і логістичних систем з метою оцінки їх характеристик і оптимізації функціонування. Основним типом візуалізації в даній системі є двовимірна модель з анімацією. Альтернативою є тривимірна візуалізація, яка дає велику наочність представлення результатів [4].

Система базується на об'єктно-орієнтованої концепції, завдяки чому істотно полегшується створення, зміна, аналіз і оптимізація моделі. Модель представляється сукупністю взаємодіючих об'єктів, які містяться в вбудованих бібліотеках системи.

Tecnomatix Plant Simulation є інструментом дискретного імітаційного моделювання, який дозволяє створювати цифрові моделі логічних систем (наприклад, виробництва) для визначення характеристик системи та оптимізації її продуктивності. Створені цифрові моделі дозволяють проводити експерименти і опрацьовувати сценарії «що якщо» без втручання в роботу існуючих виробничих систем або (при використанні в процесі проектування) задовго до впровадження реальних систем. Великий набір аналітичних інструментів (аналіз вузьких місць, статистичні дані і графіки) допомагає оцінити різні сценарії виробництва. Отримана в результаті цього інформація необхідна для швидкого прийняття вірних рішень на ранніх стадіях планування виробництва.

Plant Simulation дозволяє моделювати і відтворювати виробничі системи і їх технологічні процеси. Крім того, забезпечується можливість оптимізації потоків материалів, використання ресурсів і логістики на всіх рівнях планування виробництва, від глобальних виробничих об'єктів до регіональних заводів і окремих виробничих ліній [5].

Інтерфейс CIM Plant Simulation дає можливість вносити зміни в процес реалізації моделі. Наприклад, є можливість варіювати часом обслуговування, додавати нове обслуговуюче обладнання і виконувати інші дії в процесі моделювання. Можливостей настройки об'єктів вистачає для вирішення типових завдань без написання програмного коду. Функціонал програмного продукту дає можливість збирання та аналізу статистичних даних в динамічному режимі, включаючи коефіцієнт використання обладнання, час їх простою, а також будь-які інших показники, що вибрані користувачем [6].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі засобами CIM Plant Simulation виконано імітаційне моделювання роботи дільниці механічного цеху оброблення деталі «корпус». Технологічний маршрут оброблення деталі, що складається з 10 операцій, наведено в таблиці 1. В ній вказано назви операцій, час їх виконання та використовуване при цьому обладнання. Оброблення деталі виконується з використанням токарного, фрезерного та свердлильному верстатів.

На рисунку 1 надано 2-D представлення імітаційної моделі дільниці цеху оброблення деталі «корпус», в якій надано використовуване обладнання та

зв'язки між ними, що відповідають технологічному маршруту. Крім цього, в графічній частині моделі зображено елементи керування імітаційною моделлю, а також відображено статистична інформація про роботу верстатів.

Таблиця 1. Технологічний маршрут оброблення деталі

| № п.п | Номер операції | Назва операції | Час виконання | Використовуване обладнання |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 005 | Заготівельна | 3,000 | Прес-форма для лиття |
| 2 | 010 | Токарна | 1,100 | Токарний |
| 3 | 015 | Фрезерна | 2,180 | Фрезерний |
| 4 | 020 | Токарна | 1,040 | Токарний |
| 5 | 025 | Свердлильна | 0,500 | Свердлильний |
| 6 | 030 | Токарна | 1,342 | Токарний |
| 7 | 035 | Фрезерна | 1,377 | Фрезерний |
| 8 | 040 | Токарна | 0,705 | Токарний |
| 9 | 045 | Свердлильна | 1,30 | Свердлильний |
| 10 | 050 | Контрольна | 5,000 | Контрольний стіл |

Рисунок 1. Графічне 2-D представлення дільниці цеху при механічному обробленні деталі «корпус»

У даній імітаційній моделі можна побачити такі основні види графічних елементів CIM Plant Simulation: заготівельна операція (Source) – джерело деталей; токарний, фрезерний і свердлильний верстати (SingleProc) – одинична операція; склад оброблених деталей (Drain); техпроцес (Material table) – таблиці, в які вноситься технологічний маршрут оброблення; статистика ресурсів (Chart); накопичувач, що наданий для тимчасового зберігання деталей, коли верстат зайнятий (Buffer).

Після проведення модельного експерименту з обробки 100 корпусів, отримано наступні результати: коефіцієнт завантаження обладнання, на токарному верстаті досягає 90%, на фрезерному 55%, свердлильному 45%, та контрольному столі 60%, що позначено на діаграмі зеленим кольором. Встановлено, що простій токарного верстата складає 5%, фрезерного – досягає 40%, свердлильного – 55% , а робочого місця контролера – 35%. Це позначено сірим кольором на діаграмі. Це свідчить про значні простої використовуваного обладнання. Вказані результати наведено на статистичній діаграмі ресурсів (рис. 1). Кількість оброблених корпусів за годину складає 4 шт.

Наведене моделювання показало, що при обробленні деталі виникає велике завантаження токарного верстата. Тому рекомендується збільшити кількість використовуваних в технологічному процесі токарних верстатів до двох, що дозволить рівномірно завантажити інші верстати виробничої дільниці та збільшити продуктивність процесу механічного оброблення до шести деталей за годину. Також доцільно замінити фрезерний та свердлильний верстати на оброблювальний центр, який дозволяє виконувати множину операцій на одному верстаті.

## ВИСНОВКИ

В результаті застосування CIM Plant Simulation створено імітаційну модель роботи виробничої дільниці при механічному обробленні деталі «корпус».

На основі технологічного процесу оброблення деталі отримано статистичні дані завантаження обладнання виробничої дільниці та визначено проблемні місця виробничого процесу.

Використання системи імітаційного моделювання Plant Simulation дозволяє вирішити задачу оптимізації виробництва, раціонального завантаження верстатів та підвищення продуктивності процесу виготовлення деталей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусев П.Ю, Скрипченко С.Ю, Лысов Д.В., Анализ и оптимизация производства деталей самолетных агрегатов с использованием имитационного моделирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук– 2016. – № 4. – С. 432-438.

2. Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Мережі Петрі як засіб моделювання виробничих систем // Збірник статей «Погляд у майбутнє приладобудування». – К.: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 251-255.

3. Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Імітаційне моделювання як засіб дослідження виробничих систем // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА МЕТРОЛОГІЯ: СУЧАСННІ ПРОБЛЕМИ, ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ», 11-12 жовтня 2018р. – Луцьк, 2018. – С. 72-73.

4. Якимов И. М., Кирпичников А. П., Захарова З. Х., Железнякова Д. Д. Имитационное моделирование в системе Plant Simulation. // Вестник Казахского технологического университета – 2017. – № 3. – С. 107-111.

5.Абрамова И.Г. Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструменталь-ной среде Tecnomatix Plant Simulation:лабораторный практикум / И. Г. Абрамова, Н. Д. Проничев, Д. А. Абрамов, Т. Н. Коротенкова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 80с.

6. Клебанов Б.И., Аксенов К.А., Антонова А.С., Пантелеева Ю.С., Крымов Е.А. Применение системы Plant Simulation для моделирования и оптимизации логистических процессов. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 233-238.

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Вислоух С.П.***

**УДК 621.793**

*с.н.с. Шабетя С.А., с.н.с. Несін В.В., п.н.с. Павленко В.С.*
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

# ЕФЕКТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМІНЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРОШКОВОГО ПОЛІЕФІРНОГО ПОКРИТТЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІАМІДУ БЛОЧНОГО В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

***Анотація.*** В статті описане ефективне застосування розробленої технології порошкового поліефірного покриття деталей приладобудування з непровідного для електричного струму матеріалу - поліаміду блочного. Застосування попереднього нагріву дозволило здійснювати активацію та адгезію часток поліефірного порошку при нанесенні замість попереднього створення значного електричного потенціалу між частками порошку та деталями. Була досягнута рівномірність нанесення покриття на поверхні зі складним рельєфом.

***Ключові слова:*** порошкове поліефірне покриття, активація частинок, адгезія порошку, полімеризація

## ВСТУП

Застосування поліефірної порошкової фарби для покриття металевих струмопровідних деталей здійснюється на протязі п’ятьох десятиліть [1, 2]. Застосування класичної технології до деталей приладобудування з непровідних матеріалів можливе лише за умови попереднього нанесення на поверхню спеціального струмопровідного лаку. Додаткові витрати часу на виконання робіт з підготовки поверхні під нанесення поліефірного порошкового покриття та витрати на спеціальні матеріали – зменшують ефективність технології виготовлення покритих деталей з непровідних матеріалів, зокрема з поліаміду блочного.

Дана стаття присвячена розробці нового варіанту застосування технології порошкового поліефірного покриття без надання попереднього електричного потенціалу часткам для фарбування поверхонь деталей приладобудування з непровідних матеріалів.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Серед обов’язкових процедур [3], що складають класичну технологію поліефірного порошкового покриття деталей з непровідного матеріалу, виділяються наступні:

- підготовка поверхні деталей під фарбування. Цей етап передбачає нанесення спеціального струмопровідного лаку на поверхні елементів, виготовлених з непровідних матеріалів;

- нанесення порошку спеціальним інструментом [3, 4], що задає певного електричного потенціалу часткам поліефірної фарби за допомогою трибострикції чи дії електричного поля. Частки, досягаючи поверхні деталей, які перебувають під дією потенціалу протилежного за знаком до потенціалу їх індивідуального заряду, розряджаються внаслідок малих коротких замикань. Енергія, яка вивільняється на цьому етапі, витрачається на розігрівання часток з боку наближеного до поверхні деталі, що фарбується. Розігрів часток достатній для адгезії, прилипання до деталі;

- полімеризація порошку поліефірного, утворення стійкого суцільного захисного покриття деталей із попередньо визначеними такими декоративними

характеристиками, як колір та ступінь блиску. Така полімеризація відбувається у спеціальних температурних умовах [5] та певній регульованій атмосфері.

Загалом відпрацьованою вважається технологія фарбування порошковими поліефірними фарбами матеріалів, що витримують вплив температури 180° С і можуть пропускати струм [3].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ідея авторів розробки нового варіанту застосування технології порошкового поліефірного покриття без надання попереднього електричного потенціалу часткам для фарбування поверхонь деталей приладобудування з непровідних матеріалів полягає в наступному. Активацію часток фарби здійснюється шляхом попереднього нагрівання підготовлених до покриття деталей до температури достатньої для їх локального оплавлення в момент перенесення часток до поверхні струменем повітря. Дослідження проводилися в спеціальній камері (Рис. 1.), оснащеній штангою для закріплення деталей [6].

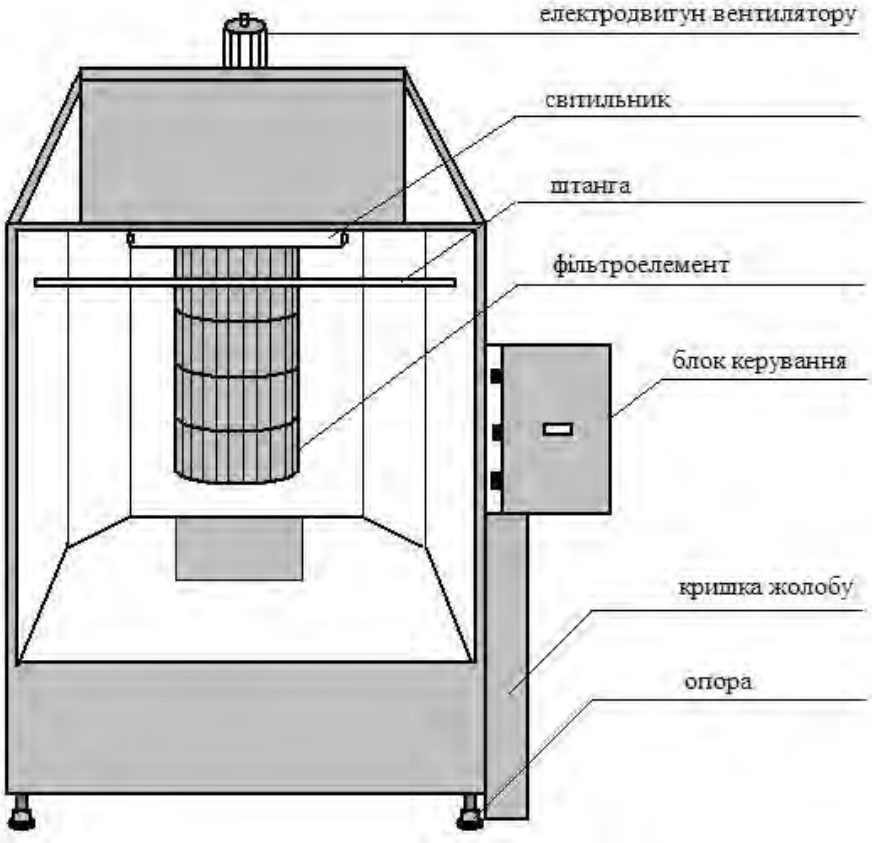



Рисунок 1. Схема спеціальної камери для нанесення порошку поліефірного

Для видалення рідини і газів з поверхневих шарів поліаміду до покриття проводиться термообробка матеріалу при температурі 70-90°С впродовж 2 годин. Нагрівання деталей перед нанесенням порошку проводиться до температури, що перевищує мінімальну температура полімеризації фарби на 10-20° (Рис. 2.).

Застосовувалась порошкова фарба фірми «Tiger Drylak» (Австрія). Нанесення порошку на поверхню відбувалося за допомогою спеціального розпилювача (І етап на Рис. 3.). Розігрівання деталей із нанесеними частками

порошку здійснювалося в лабораторній печі [7] до температури полімеризації (II етап на Рис. 3.). Витримка деталей в печі, за температури 180°С, була здійснена впродовж 10-20 хвилин [8]. Видалення покритих деталей з печі здійснювалося після повного формування шару поліефірної фарби та усунення витяжкою летючих продуктів полімеризації з камери (III етап на Рис. 3.).

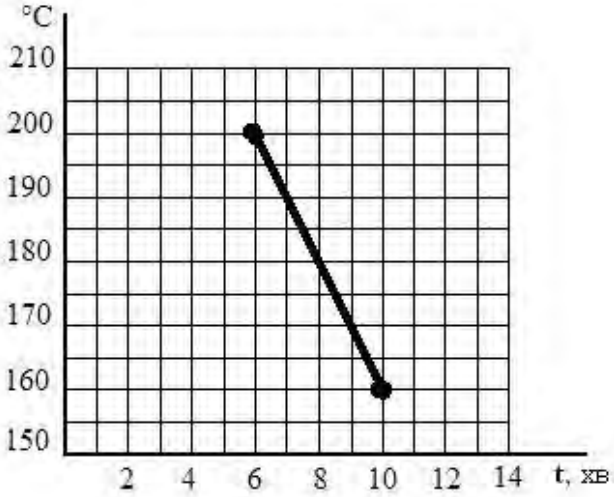



Рисунок 2. Рекомендована залежність між часом полімеризації та температурою нагріву поліефірного покриття для фарби фірми «Tiger Drylak» (Австрія)

Розподіл фарби по поверхні на I етапі залежить від доступності елементів деталей, можливості досягання їх струменем повітря з частками порошкового поліефірного покриття.

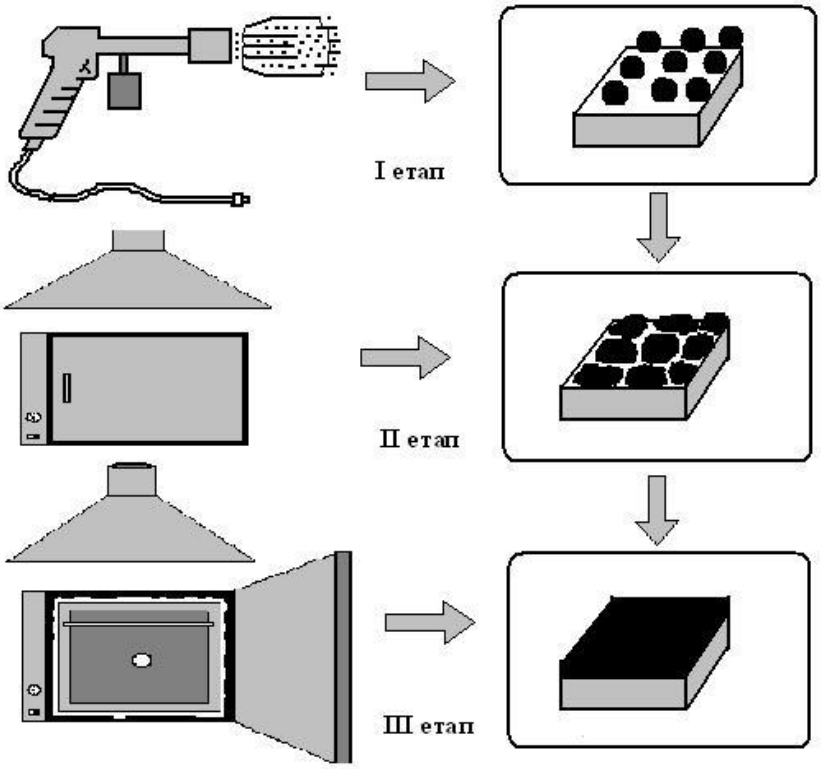



Рисунок 3. Етапи нанесення порошкового покриття на нагріту поверхню деталей з поліаміду блочного

Нерівномірність розподілу фарби по поверхні внаслідок дії «сил Фарадея» виключена. Частки не мають спеціально наведеного електричного потенціалу.

Ні примусовий електростатичний заряд за допомогою коронуючого електроду, що знаходиться під високою напругою (20-100 КВ), ні заряду внаслідок використання "трибо-ефекту", тобто ефекту придбання заряду частками фарби при проходженні її через трибо-електризуючий вузол трибо-ствола – у новому розробленому технологічному процесі не застосовується.

## ВИСНОВОК

Проведена експериментальна перевірка можливості активації часток поліефірного порошку від взаємодії з поверхнею нагрітих до температури, вищої за температуру полімеризації фарби, деталей приладобудування. Визначений достатній інтервал перегріву поверхні деталей у 10-20 °С.

Підтверджена ефективність застосування нового варіанту технології до покриття поверхонь деталей з поліаміду блочного – матеріалу, що не має струмопровідних властивостей. Застосування високовартісних спеціальних струмопровідних лаків, нанесення яких потребує значних трудовитрат, в розробленому варіанті технології – не відбувається.

Нерівномірного покриття поверхні деталей приладобудування зі складним рельєфом при нанесенні порошку розпиленням у струмені повітря – не спостерігалося. Цей факт пояснюється відсутністю електромагнітної дії потенціалів часток порошку та матеріалу деталей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Йелонек А. Чому потрібно купувати фарбувальне обладнання, а не робити його самому? / А. Йелонек // Покраска профессиональная. – 2018. – № 4 (91). – С. 20-22

2. Мартыненко Д. Euroimpianti – технологии превосходства! Оборудование для порошковой покраски / Д. Мартыненко // Покраска профессиональная. – 2007. – № 4 (22). – С. 46-48

3. Ничипорук А., Семинар компании Лаковер ″Азбука порошкового окрашивания от ″А до Я. / А. Ничипорук // Покраска профессиональная. – 2018. – № 4 (91). – С. 10-12

4. **Технология порошковой окраски трибостатическим напылением**. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://efcon.kiev.ua/oborudovanie_dlya_poroshkovoy_krask

5. Вопросы безопасности при работе с порошковыми красками. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://polimer-kraska.narod.ru/head_13.html

6. Камера напыления ПК 1. Паспорт. – «TermoPro». – 2005.

7. Электрошкаф сушильный лабораторный СНОЛ 100/350. Паспорт. – ООО «Техно-Аква ЛТД». – 2005.

8. Особенности нанесения порошковых полимерных красок в условиях серийного и мелкосерийного производства // Покраска профессиональная. – 2007. – № 4 (22). – С. 56-59

**УДК 538.95, 535.51**

*Ю.В. Шурапов, студент гр. ПБ-71мп,*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНА ЛАЗЕРНА СИСТЕМА НАНОТЕХНОЛОГІЙ

***Анотація***. Викладено результати дослідження властивостей наноматеріалів, властивостей лазерної обробки різноманітних матеріалів, можливістей застосування автоматизованих систем для обробки і створення новітніх матеріалів, їх обробки і контролю властивостей.

***Ключові слова:*** Лазер, наноматеріали, нанотехнології.

## ВСТУП

Очікувана нанотехнологічна революція XXI століття - зробить глибокий вплив на промисловий сектор і на всі сфери діяльності людини: від промислового виробництва - виплавки металів, створення мікро приладів в мікроелектроніки, нано - фотоніки, до розробки нових біо - містких пристроїв і препаратів, методів і підходів в медицині, фармацевтиці тощо. Нанотехнології передбачають управління властивостями матеріалів, виробів та іншої продукції на атомарному або молекулярному рівнях.

Ситуація радикально змінилася в останні роки в зв'язку з досягненням в лазерних технологіях (порогові процеси), в вивченні процесів взаємодії випромінювання з речовиною (нелінійні процеси) і в появі нової області - ближньопольної оптики. Тепер оптичні методи і процеси в зв'язку з їх розробленістю і гнучкістю є основними методами локалізації впливів на даному етапі розвитку нанотехнологій.[1]

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Підвищений інтерес до методів отримання дуже дрібнозернистих об'ємних і дисперсних матеріалів пояснюється тим, що зменшення розміру структурних елементів (часток, кристалів, зерен) нижче деякої граничної величини призводить до помітної зміни властивостей. Такі ефекти виникають, коли середній розмір кристалічних зерен не перевищує 100 нм, і найбільш чітко спостерігаються, коли розмір зерен менш 10 нм. Вивчення властивостей най мілко зернистих матеріалів змушує обліку не тільки їх складу і структури, а й дисперсності. Полікристалічні най мілко зернистих матеріали з середнім розміром зерен від 300 до 40 нм називають зазвичай субмікро кристалічними, а із середнім розміром зерен менше 40 нм - нанокристалічними.

Обробка матеріалів за допомогою лазерів вилилася останнім часом в потужний напрям, яке отримало назву лазерної технології. ось що говорить про цей напрямок академік н. г. Басов: "лазерний промінь - це унікальне теплове джерело, здатний нагріти опромінюваний ділянку деталі до високих температур за такий короткий час, протягом якого тепло не встигає" розтріскатися ". нагрівається ділянку може бути при цьому розм'якшена, рекристалізован, розплавлений, нарешті, його можна випарувати. Дозуючи теплові навантаження шляхом регулювання потужності і тривалості лазерного опромінення, можна забезпечити практично будь-який температурний режим і реалізувати різні види термообробки. Лазерний нагрів використовується для

поверхонь загартування і легування металів, для плавлення при зварюванні, для плавлення і випаровування з викидом парів при різанні й свердлінні, застосовують також в нанотехнологіях.[2]

## ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНИХ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Можна сформулювати основні переваги, які має лазерна обробка матеріалів в нанотехнологіях:

- велика різноманітність процесів обробки різних видів матеріалів (і навіть таких, які не піддаються механічній обробці);
- висока швидкість виконання операцій з обробки (іноді в 1000 разів більша, ніж при механічній);
- висока якість обробки (міцність зварних швів, чистота обробки );
- можливість високоточної прецизійної обробки (виготовлення фільєр в алмазі, необхідних для волочіння дроту, виготовлення отворів в рубінових каменях, необхідних для виготовлення годинникових механізмів і ін.);
- селективність впливу на окремі ділянки оброблюваної поверхні і можливість дистанційного обробки (в тому числі і поверхонь, розташованих за скляною перегородкою);
- порівняна легкість автоматизації операцій, що сприяє суттєвому підвищенню продуктивності праці.
- створення і обробка наноматеріалів в нанотехнологіях.

Переваги застосування лазерного променя полягають в тому, що він може слідувати за складною просторовою траєкторії, дозволяє практично без зносу інструментів легко обробляти навіть дуже тверді матеріали, які зазвичай піддаються тільки лінійному різанню із застосуванням алмазних шліфувальних кругів.

## ОПЕРАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

При лазерному зварюванні нанолистів досягаються швидкості порядку декількох метрів в хвилину. В режимі теплопровідного зварювання лазерний промінь так проводиться по поверхні матеріалу, що температура кипіння не досягається, але починається ледь помітне випаровування. Під дією лазерного випромінювання розплавляються підлягають з'єднанню деталі, прикладені один до одного по зварному шву. Більш складними видаються операції зі зварювання з глибоким проплавленням. Тут температура вище точки кипіння, тому розплав переміщається під тиском пара в звареному шві. Розплав циркулює і частково навіть піднімається на поверхні матеріалу, утворюючи валик[2].

Лазерне зварювання дуже популярна і в електронній промисловості, де її використовують для з'єднання різнорідних наноречовин.

Лазерної термообробки, загартування, легування піддають метал з метою підвищення механічних та хімічних властивостей, зниження циклічної втоми, а також поліпшення зовнішнього вигляду виробу. При цьому було досягнуто суттєве підвищення її міцності. Нові властивості поверхні металу, недоступні

традиційним методам дифузійного насичення поверхні металу домішкою, дає технологію лазерного легування.

Лазерні способи скрайбування і поділу напівпровідникових чіпів, вироблених у великій кількості на кремнієвій підкладці, або кристалічної пластині діаметром в кілька сантиметрів, а також пайка і підгонка резисторів шляхом знімання матеріалу за допомогою лазерів вже давно затвердились в області виробництва мікроелектроніки[3]

Вимірювання відстаней із застосуванням лазерного променя зводиться до вимірювань часу. Завдяки лазерному випромінюванню будь-яку довжину можна визначити як часовий інтервал, необхідно світлового променя для проходження вимірюваного ділянки[4]

Лазер - пристрій, що використовує квантовомеханічний ефект вимушеного випромінювання для створення когерентного потоку світла. Промінь лазера може бути безперервним, з постійною амплітудою, або імпульсним, досягаючи екстремально великих пікових потужностей. У багатьох конструкціях робочий елемент лазера використовується як оптичний підсилювач для випромінювання. Лазер зазвичай складається з трьох основних елементів: джерело енергії; робоче тіло; система дзеркал (оптичний резонатор) [5].

## ВИСНОВКИ

В сучасному приладобудувані лазерне випромінювання використовують все більше і більше. Лазери досить широко використовують в різних сферах діяльності людей: в наукових дослідженнях, голографії і в сучасній вимірювальній техніці, лазерні методи контролю за станом атмосфери, якістю виробів, для виявлення в різних деталях внутрішніх дефектів, в біології й медицині, розвиток методів лазерної локації й лазерного зв'язку, оптичні методи обробки передачі й зберігання інформації, методи голографічного запису.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.П. Вейко: Лазерные микро– и нанотехнологии в микроэлектронике опорный конспект леки. Санкт-Петербург 2011.
2. А.И. Цаплин: Фотоника и оптоинформатика введение в специальность Издательство: Пермского национального исследовательского политехнического университета 2012 р.
3. Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А., Клочко Т.Р. Фізичні засади технології ТОНТОР: Монографія. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 352 с., іл.
4. Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А., Клочко Т.Р. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей: Монографія.– К.: НТУУ "КПІ", 2011. - 516 с., іл.
5. Кондиленко И. И. Динамика генерации лазера // Физика лазеров : учебное пособие для студентов вузов / И. И. Кондиленко, П. А. Коротков, А. И. Хижняк. – Київ, 1984. – С. 136–174.

***Наук. керівник, д.т.н., проф., декан ПБФ, Тимчик Григорій Семенович***

**УДК 621.914.1**

*В.І. Юрковець, магістр, ПБ-71мп, В.В. Шевченко, доцент, к.т.н.*
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

***Анотація.*** Запропоновано підвищення ефективності процесу обробки деталей на фрезерних верстатах з ЧПК. Проведено дослідження щодо підвищення ефективності процесу фрезерування в умовах автоматизованого виробництва. Обґрунтовано результати дослідження, за отриманими експериментальними даними зроблено відповідні висновки.

***Ключові слова:*** автоматизоване виробництво, фрезерний верстат, ЧПК, оптимізація.

## ВСТУП

В автоматизованому виробництві важливу роль відіграє оптимізація технологічного процесу з метою підвищення *швидкодії, надійності* та *продуктивності* фрезерування.

Вагому увагу слід приділяти правильному налагодженню функціональності верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) для досягнення якнайкращого результату з відносно малими затратами матеріалів, часу та інструментів (амартизаційний знос). Динаміка сучасних виробничих процесів ґрунтується на вдосконаленні процесу виробництва за рахунок покращення умов проведення фрезерних робіт, обранням відповідних режимів різання, типу фрези, подачі змазувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) та інших параметрів, що забезпечують якість та точність деталі.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Прогресивний розвиток сучасних технічних засобів на виробництвах вимагає підвищення якості та точності виготовлення деталей; ведеться невпинна боротьба щодо нових технологій генеративного дизайну (насамперед, 3Д принтерів). Тому постає необхідність модернізації процесу фрезерування у рамках сучасного виробництва.

Провівши огляд сучасних наукових робіт за даною темою, було зроблено висновок, що процес фрезерування може бути оптимізований шляхом підвищення ефективності за рахунок використання сучасного обладнання. Це пов'язано із появою нових матеріалів та підвищенням вимог до точності при обробці фрезами.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Підвищення ефективності обробки деталей на фрезерних верстатах з чпк полягає у вимірюванні технологічних параметрів та формуванні їх оцінки, порівняння з теоретичними значеннями та з указанням подальших рекомнендацій щодо оптимізації процесу фрезерування.

Підвищення ефективності фрезерування в умовах автоматизованого виробництва полягає у використанні аналого-цифрового перетворювача та чотирьохканального підсилювача сигналів (ПС), генератора сигналів, датчика акустичної емісії (ДАЕ) та датчика обертів шпинделя верстату [1].

На робочий стіл верстата встановлюють ДАЕ та підключають його до ПС, з'єднаного з електромагнітним датчиком обертів верстату та персональним комп'ютером (ПК). Перед початком роботи перевіряють точність датчиків, підключенням їх до генератора сигналів та заданням певної частоти з подальшим вимірювання за допомогою осцилографа [2].

На стійці ЧПК Н33-1М, яка працює за принципу НС-технології, задаються кількість обертів шпинделя, подачу, глибину різання, швидкість переміщення робочого столу верстата, вказується площина обробки і величина переміщення по координатам [3]. Датчик акустичної емісії, який встановлений на супорті верстата, вимірює пружні хвилі та напруження, що сформувались в процесі деформування і руйнування матеріалів, і передає їх значення на ПК у вигляді кодованого сигналу, де за допомогою ПЗ Cool Edit Pro 2000 відбувається графічне представлення та розшифрування характеристик сигналу, таких як частота, частотний діапазон, тональність (усереднені за певний інтервал значення частоти основного тону (ОТ)), амплітуда та ін [4].

Підвищення ефективності обробки на фрезерних верстатах з ЧПК було розглянуто на практиці та проведено ряд дослідів на вертикально-фрезерному верстаті ЛФ260Ф3 зі стійкою ЧПК Н33-1М. Експерименти проводились на заготовці з дюраль-алюмінієвого сплаву (алюміній легований домішками міді, магнію, заліза і марганцю) марки Д16АМ40 ГОСТ 4784-97; у якості ріжучого інструменту було обрано двохпір'єву та чотирьохпір'єву кінцеву фрезу з двома та чотирма ріжучими кромками відповідно, діаметром 8 мм, яка закріплювалась за допомогою цангового патрону на оправці і встановлювалась в шпиндель вертикально-фрезерного верстату. Протягом досліду було використано програмне забезпечення (ПЗ) L-Graph1 для побудови графіків та Cool Edit Pro 2000 для обробки сигналів акустичної емісії [5].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати статистичних вимірювань параметрів основного тону у великій мірі залежать виду технологічного процесу та інструменту. Коливання пружних хвиль напруги у процесі обробки характеризуються нерегулярністю. Спостерігаються два види нерегулярностей: у вигляді значних трансформаційних змін тривалості періодів основного тону (на 30-50%) та у вигляді невеликих флуктуацій сусідніх періодів основного тону. Нерегулярності першого виду виникають через неповний контакт різального інструменту деталі, на низькому основному тоні на початку і наприкінці тональних ділянок. При цьому періоди з неповним контактом інструменту чергуються періодами з повним контактом. Число нерегулярних періодів в кінці тональних ділянок приблизно в 4 рази більше, ніж на початку, причому в кінці нерегулярні періоди слідують серіями, а на початку – ізольовано. Число нерегулярних періодів основного тону при чистовій обробці деталі в акустичному сигналі дуже мале (близько 0,3% від загального числа періодів ОТ). При неточному виділенні основного тону тільки на початковій ділянці роботи інструмента чутливість схеми до викривлень зменшується.

Флуктуації частоти основного тону АЕ пояснюються двома причинами: характером коливань пружніх сил (включаючи нерегулярність) і станом технологічної системи. Для оцінки виокремлювача основного тону недостатньо мати дані про середню точності виділення основного тону, так як для якості важливе значення мають помилки на початкових ділянках сигналу. Дослідження помітності зміщення тимчасового положення імпульсів основного тону проводилося шляхом порівняння якості аналізу сигналів АЕ при квантуванні ОТ з стандартною частотою, що задається певними характеристиками відповідно до режимів різання.

Відповідна частота квантування дорівнює 11 кГц для двухпір'євих і 25 кГц для чотирьохпір'євих фрез, оскільки середня частота ОТ чотирьохпір'євої фрези приблизно в 10 разів вище частоти ОТ двухпір'євої.

## ВИСНОВКИ

Дослідження показали, що момент переходу сигналу збудження не залишиться постійними для однієї і тієї ж послідовності сигналі АЕ, яку багаторазово отримали при обробці одним інструментом. У зв'язку з цим можна зробити висновок, що часовий зсув моменту зміни виду сигналу збудження не робить істотного впливу на сприйняття режимів обробки. Аналіз показав, що відмінностей в помітності оглушення початкових ділянок обробки двухпір'євими та чотирьохпір'євими фрезами немає.

Таким чином, підвищення ефективності обробки на фрезерних верстатах з ЧПК дозволяє оцінити параметри процесу фрезерування, порівняти їх та сформувати відповідні висновки для подальшої її оптимізації шляхом зміни основних складових режимів різання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.А. Остапев. Адаптивная система управления / Остафев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. // Механизация и автоматизация управления.– Киев, 1983, №1. – с. 18-20.

2. И. П. Никитина. Автоматизированное проектирование горизонтально-фрезерного станка с ЧПУ, оснащенного мультишпиндельной головкой / Никитина И.П., Поляков А.Н., Мищенков Д.С. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017).

3. А. В. Скворцов. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств. / Скворцов А. В., Схиртладзе А. Г., Уч./ М.: Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 634 с.: ил.

4. Р. Петелін. Cool Edit Pro 2 у застосуванні / Р. Петелін, Ю. Петелін. М.: Медіа Мастер, 2003. – 453 с.

5. Аверьянова И. О. Повышение эффективности использования станков с чпу в условиях диверсификации производства : дис. ... доктора технических наук : 05.02.07 / Аверьянова Инна Олеговна.- Москва, 2013.- 282 с.: ил.

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

# Секція 4.
# Ефективність інформаційних технологій при проектуванні систем вимірювання механічних величин.

# Секція 5.
# Техніко-економічні характеристики мікро- і нанопристроїв

УДК **621.317**

*М.В. Бойко, студент гр. ПМ-61, ст. викладач Толочко Т.О.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ

***Аннотация.*** Рассмотрено обоснование выбора формы упругих элементов первичных измерительных преобразователей тяги. Приведены и проанализированы конструкции и основные аналитические зависимости для первичных измерительных преобразователей тяги.

***Ключевые слова:*** первичный измерительный преобразователь, конструкция, механический упругий преобразователь.

## ВСТУПЛЕНИЕ

Подавляющее большинство измерительных преобразователей усилий предназначены для работы в статическом режиме. Материалы по динамическим характеристикам преобразователей, методам и результатам их исследований и испытаний в импульсных режимах имеются в незначительном объеме. Конструкция первичных измерительных преобразователей тяги, предназначенных для работы в единично-импульсном режиме наряду с выбором материала упругих элементов имеют существенное влияние на статические и динамические характеристики, а также на способность измерительных преобразователей сохранять работоспособность в условиях воздействия вибраций.

## ФОРМА УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЯГИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В ЕДИНИЧНО-ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

В качестве первичных преобразователей элементов датчиков усилий широкое распространение получили механические упругие преобразователи.

Если выходной величиной упругого элемента является деформация, то это предполагает, как правило, использование различного рода тензорезисторных преобразователей, если перемещение – то индуктивных, емкостный или реостатных преобразователей.

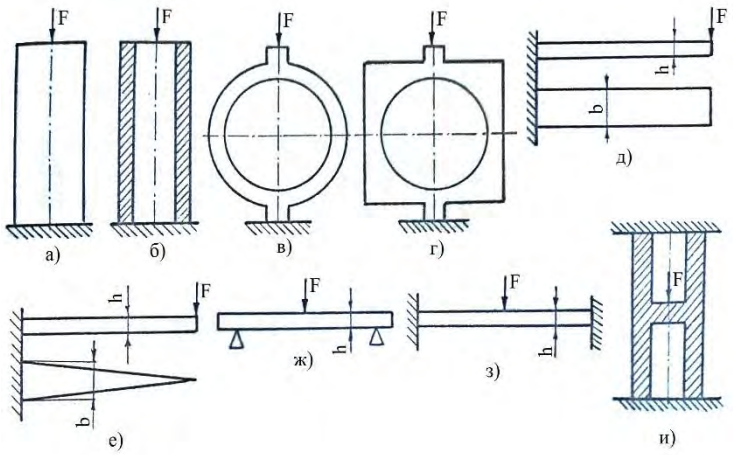



Рисунок 1. Основные виды преобразователей силы

К основным преобразователям силы относятся упругие элементы в виде сплошных и полых стержней (рис. 1. а, б), колец постоянного и переменного сечения (в, г), балок равного сечения и равного сопротивления (д, е), балок на двух опорах (ж), мембран постоянного сечения (з), специальных стержневых упругих элементов (и).

Для измерения деформации упругого элемента выбран фольговый тензорезистор с базой L=20мм и шириной b=10мм.

Чувствительный элемент преобразователя должен обладать высокой прочностью и большим быстродействием, то есть иметь частоту собственных колебаний, позволяющую измерить усилие за период 0,06 с.

Расчет собственной частоты упругого элемента, а также его чувствительности произведен для стали с модулем упругости $E_1$=21000кГс/мм$^2$ и для сплавов титана с модулем упругости $E_2$=12000кГс/мм$^2$, принимая значение относительной деформации равным 1·10-4 с коэффициентом запаса 1 [1, 2].

Результаты расчета собственных частот и чувствительности различных упругих элементов для усилий 30кГс и 600кГс, а также расчетные формулы и конструктивные параметры приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1.

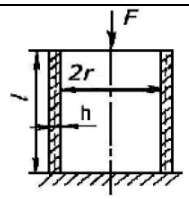
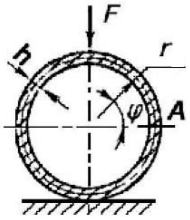
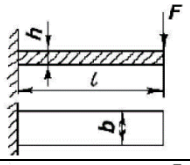
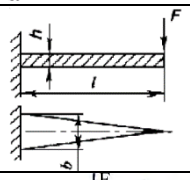
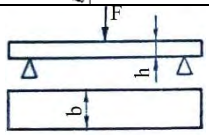
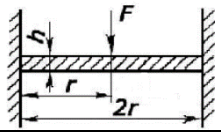
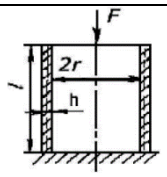
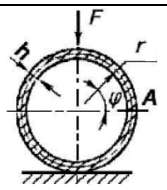
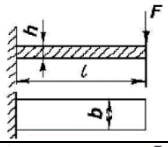
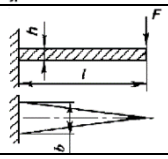
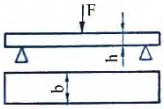
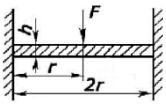
| № п/п | Упругий элемент | Собственная частота $f_0$, Гц | Чувствии-тельность по перемеще-нию $f'$, мм/кГс | Чувствии-тельность по деформации $f''$, 1/кГс | Конструктив-ный коэффициент чувствитель-ности, $B$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | $\frac{0,249}{l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | $\frac{l}{S_{ст}E}$ | $\frac{B_{ст}}{S_{ст}E}$ | 1 |
| 2 |  | $\frac{0,123}{r^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | $\frac{1,83r^2}{Eh^3b}$ | $\frac{B_к r}{Eh^2b}$ | 0,71 |
| 3 |  | $\frac{0,162\cdot h}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | $\frac{4l^3}{Eh^3b}$ | $\frac{B_\delta l}{Eh^2b}$ | 3 |
| 4 |  | $\frac{0,316\cdot h}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | $\frac{bl^3}{Eh^3b}$ | $\frac{B_\delta l}{Eh^2b}$ | 6 |
| 5 |  | $\frac{0,09\cdot h}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | $\frac{l^3}{4Eh^3b}$ | | |
| 6 |  | $\frac{0,469h}{r^2}\sqrt{\frac{E}{\rho\left(1-\mu^2\right)}}$ | $\frac{3\left(1-\mu^2\right)r^2}{4\pi Eh^3}$ | $\frac{B_M}{Eh^2}$ | 0,47 |

Таблица 2.

| № п / п | Упругий элемент | Сила, кГс | Модуль упругости материала, кГс/мм² | Конструктивные параметры | | | | $f_0$, Гц | $f'$, мм/кГс | $f''$, 1/кГс |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | l, мм | b, мм | h, мм | r, мм | | | |
| 1 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | 30 | | 0,65 | 3,18 | 430 | $0,999\cdot10^{-4}$ | $3,33\cdot10^{-6}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 1,07 | | 432 | $1\cdot10^{-4}$ | $3,33\cdot10^{-6}$ |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 6,87 | | 430 | $6\cdot10^{-6}$ | $1,66\cdot10^{-7}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 9,83 | | 432 | $5\cdot10^{-6}$ | $1,67\cdot10^{-7}$ |
| 2 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | | 10 | 5,46 | 19,1 | 96 | $3,7\cdot10^{-4}$ | $2,16\cdot10^{-6}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 7,21 | | 126 | $2,8\cdot10^{-4}$ | $2,16\cdot10^{-6}$ |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 24,4 | | 427 | $4,16\cdot10^{-6}$ | $1,08\cdot10^{-7}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 32,24 | | 565 | $3,15\cdot10^{-6}$ | $1,08\cdot10^{-7}$ |
| 3 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | 25 | 20 | 7,28 | | 97,9 | $3,85\cdot10^{-4}$ | $3,37\cdot10^{-6}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 9,63 | | 129,8 | $2,9\cdot10^{-4}$ | $3,37\cdot10^{-6}$ |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 32,54 | | 437,8 | $4,32\cdot10^{-6}$ | $1,69\cdot10^{-7}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 43,04 | | 580 | $3,27\cdot10^{-6}$ | $1,69\cdot10^{-7}$ |
| 4 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | 25 | 20 | 7,28 | | 191 | $5,8\cdot10^{-4}$ | $6,74\cdot10^{-6}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 9,63 | | 253,2 | $4,37\cdot10^{-4}$ | $6,74\cdot10^{-6}$ |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 32,54 | | 853,8 | $6,48\cdot10^{-6}$ | $3,38\cdot10^{-7}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 43,04 | | 1131,5 | $4,9\cdot10^{-6}$ | $3,38\cdot10^{-7}$ |
| 5 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | 40 | 20 | 9,26 | | 27 | $0,48\cdot10^{-4}$ | |
| | | | $E_2$=12000 | | | 12,25 | | 36 | $0,36\cdot10^{-4}$ | |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 41,4 | | 121 | $0,54\cdot10^{-6}$ | |
| | | | $E_2$=12000 | | | 54,22 | | 168 | $0,42\cdot10^{-6}$ | |
| 6 |  | $P_1$=30 | $E_1$=21000 | | | 0,56 | 30 | 15,9 | $530\cdot10^{-4}$ | $71,3\cdot10^{-6}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 0,74 | | 21 | $400\cdot10^{-4}$ | $71,5\cdot10^{-6}$ |
| | | $P_2$=600 | $E_1$=21000 | | | 2,49 | | 70,6 | $600\cdot10^{-6}$ | $36,2\cdot10^{-7}$ |
| | | | $E_2$=12000 | | | 3,29 | | 93,6 | $460\cdot10^{-6}$ | $36,2\cdot10^{-7}$ |

Сравнение значений собственных частот 166приведенных упругих элементов показывает, что 166меньше всего удовлетворяют требованиям к преобразователю по быстродействию балка на двух опорах и мембрана постоянного сечения.

У остальных четырех видов упругих элементов значения чувствительности – величины одного порядка, 166поэтому166 для выбора формы упругих элементов сравниваются рабочие напряжения, возникающие в наиболее опасных сечениях. Значения этих напряжений определяются для упругих элементов с выбранными ранее 166конструктивными параметрами при усилии 30кГс (см. табл. 3).

Таблица 3.

| № п/п | Упругий элемент | Модуль упругости материала, кГс/мм² | Рабочее напряжение, кГс/мм² |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Стержень постоянного сечения | $E_1$=21000 | $\sigma_{раб1} = 2,1$ |
| | | $E_2$=12000 | $\sigma_{раб2} = 1,2$ |

Продолжение таблицы 3.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 2 | Кольцо постоянного сечения | $E_1$=21000 | $\sigma_{внутр} = 2,36;\ \sigma_{нар} = -2,12$ |
| | | $E_2$=12000 | $\sigma_{внутр} = 1,43;\ \sigma_{нар} = -1,0$ |
| 3 | Консольная балка равного сечения | $E_1$=21000 | $\sigma_{раб2} = 4,24$ |
| | | $E_2$=12000 | $\sigma_{раб2} = 2,43$ |
| 4 | Консольная балка равного сопротивления изгибу | $E_1$=21000 | $\sigma_{раб2} = 4,24$ |
| | | $E_2$=12000 | $\sigma_{раб2} = 2,43$ |

В табл. 3:

$$\sigma_{раб1} = \frac{F}{S} + \gamma \cdot l_1; \tag{1}$$

$$\sigma_{внутр} = \frac{0,5 \cdot F}{b \cdot h}\left[-3,82\frac{r}{h} + \left(6\frac{r}{h} + 1\right)\cos\varphi\right]; \tag{2}$$

$$\sigma_{нар} = \frac{0,5 \cdot F}{b \cdot h}\left[3,82\frac{r}{h} - \left(6\frac{r}{h} - 1\right)\cos\varphi\right]; \tag{3}$$

$$\sigma_{раб2} = \frac{6 \cdot F \cdot l_2}{b \cdot h}, \tag{4}$$

где $F$ – прикладываемое усилие; $S$ – площадь поперечного сечения; $\gamma$ – удельный вес; $l_1$ – длина стержня; $b$ – ширина кольца, балки; $h$ – толщина кольца, балки; $r$ – средний радиус кольца; $l_2$ – длина балки; $\varphi$ – угол установки тензорезистора относительно образующей стержня.

Так как напряжения для балки равного сечения и для балки равного сопротивления изгибу практически в 2 раза больше рабочих напряжений, возникающих в стержне и кольце, выбираем формы упругого элемента в виде стержня постоянного сечения и кольца постоянного сечения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е. П. Осадчий. — М. : Машиностроение, 1979. — 480 с.

2. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. — М. : Наука, 1976. – 608 с.

3. Борисов, С. И. Расчет и конструирование механических систем приборов / С. И. Борисов. — М. : Машиностроение, 1981. — 269 с.

***Наук. керівник – ст. викл. Толочко Т.О.***

**УДК 681.2.084**

*Н.В. Вікторова, магістр гр. ПІ-71мп, ст. вик. Зайцев В.М.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З МЕХАНІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ

***Анотація.*** В статті розглянуто цифровий вимірювальний перетворювач відносних деформацій, його призначення, складові. Розглянуто конструкцію пружного чутливого елементу датчика деформацій. Побудованого структурну схему пружного елементу та оцінено чисельне значення його чутливості.

***Ключові слова:*** деформація, пружний елемент, підсилювач.

## ВСТУП

В наш час при проведені наукових досліджень, керуванні технологічними процесами, торгових операціях виникає необхідність застосовувати високоточні засоби вимірювання фізичних величин. Найбільш поширеним класом вимірювальних перетворювачів являються перетворювачі, які використовують тензорезистивний ефект. Об`єкти до яких прикладається зусилля отримують деякі прирощення розмірів, тобто деформації розтягу, стиску, або кручення. Тому для оцінки впливу навантажень та реакцій на них доцільно використовувати вимірювальні перетворювачі відносних деформацій, вихідні сигнали яких лінійно пов’язані з розміром внутрішніх механічних напруг. Їх основними перевагами є малі габарити та маса, висока точність та надійність, простота використання.

Звичайно тензорезисторні датчики наклеюються на спеціально підготовлену поверхню (зачищену, знежирену), але не завжди є можливість виконати необхідні дії на об`єкті вимірювання. Традиційним рішенням являється застосування перетворювачів з вже наклеєними тензорезисторами на допоміжний пружний елемент з подальшим кріпленням його на об’єкт дослідження зварюванням [1]. Такі конструкції перетворювачів мають суттєво меншу чутливість та точність. Застосування наступних послідовно включених електронних підсилювачів не поліпшують основні метрологічні характеристики перетворювачів деформації. З метою підвищення точності вимірювання пропонується конструкція вимірювача з механічним посиленням вхідного сигналу та його перетворенням в цифровий код безпосередньо в первинному вимірювальному перетворювачі.

Такий датчик може закріплюватись безпосередньо на опорах мостів, опорах будівель з великими прольотами, конструкціях виробничих цехів та будь-яких об`єктах де необхідно вимірювати та контролювати деформації. Це дозволяє суттєво розширити зону застосування методів тензометрії для дослідження міцності неметалевих конструкцій та об’єктів з важкими умовами експлуатації.

## ОПИС ВИМІРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Вимірювач відносних деформацій представляє собою пружний елемент, який закріплюється на об’єкті що досліджується. На одній стороні пружного

елементу приклеєні тензорезистори. З протилежної сторони елементу кріплять електронні компоненти прецизійного аналогового підсилювача та аналого-цифрового перетворювача. В конструкції застосовані фольгові константанові тензорезистори на поліамідній підложці з компенсацією температурних похибок які з'являються при відмінності лінійних температурних розширень матеріалів об'єкту дослідження та матеріалу пружного елементу. Топологія тензоструктури уявляє собою конструктивно об'єднані на одній підложці в мостову схему чотири тензорезистора, два з яких вимірюють повздовжню , а два інших поперечну деформацію пружного елементу.

В процесі вимірювання деформація досліджуваного об'єкта передається пружному елементу. Закріплені на ньому тензорезистори змінюють свій опір пропорційно відносній деформації, яку вони сприймають. Мостова схема живиться постійною напругою, яка одночасно являється опорною напругою сигма-дельта аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Сигнал з вимірювальної діагоналі підсилюється інтегрованим в АЦП підсилювачем, перетворюється в цифровий код та оброблюється для передачі за стандартом інтерфейсу RS422.

Якщо поверхня досліджуваного об'єкта не дозволяє закріпити пружний елемент датчика безпосередньо до об'єкту за допомогою рознімних з'єднань (не дозволяється робити отвори в об'єкті, або поверхня не плоска), тоді рекомендується використовувати допоміжні бабишки, які з одного боку повторюють геометрію поверхні. Бабишки приварюються до об'єкту вимірювання, а вже до них прикручується датчик.

В усіх випадках надійне зчеплення поверхонь та фіксація бази вимірювання деформації відбувається за рахунок сил тертя.

## КОНСТРУКЦІЯ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТУ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Основним конструктивним елементом цифрового вимірювального перетворювача відносних деформацій є його пружний елемент. Пружний елемент представлений у вигляді металевої конструкції, яка сприймає деформацію об'єкта вимірювання та механічно підсилює її.

На рис. 1 зображено зовнішній вигляд прийнятого за аналог розробки пружний елемент аналогового датчика деформацій, SLB-700A/06VA фірми HBM [2].

Рисунок 1. Зовнішній вигляд пружного елементу датчика деформацій

Пружний елемент має передавати деформацію об'єкта вимірювання, механічно підсилювати її, повинен мати високі пружні властивості, малі габарити та масу. Для реалізації цих вимог обираємо сталь 35 ХГСА в якості матеріалу з якого буде виготовлено пружний елемент датчика деформацій.

Сталь марки 35ХГСА відноситься до класу конструкційних легованих сталей, яка має мінімальні показники пружних недосконалостей, підвищену міцність та стійкість до значних навантажень.

Хімічний склад сталі марки 35ХГСА за ГОСТ 4543-71: вуглець – 0,32-0,39%; хром – 1,1-1,4%; марганець 0,8-1,1%; кремній – 1,1-1,4%; мідь – до 0,3%; нікель – до 0,3%.

Дані про механічні властивості даної сталі свідчать про стабільність геометричних та пружних характеристик деталей виготовлених з цього матеріалу з плином часу та під дією зовнішніх факторів. Сталь 35ХГСА технологічна при механічній та термічній обробці при виготовленні з неї деталей[3].

## СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ЧУТЛИВІСТЬ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Для оцінки ефективності застосування механічного підсилення необхідно провести аналіз чутливості пружного елементу до сприймання відносної деформації. Для визначення чутливості пружного елементу датчика деформацій необхідно визначити принцип передавання деформації від об'єкта вимірювання на пружний елемент. Для цього було умовно розділено пружний елемент на три частини та визначено габаритні характеристики поперечних перерізів на цих ділянках. Умовні позначення ділянок поперечних перерізів та габаритних розмірів зображено на рис. 2.

Як видно з рисунку, в конструкції пружного елементу присутня ділянка I яка найбільше деформується при його розтягу-стиску. Це відбувається за рахунок того, що площа поперечного перерізу даної ділянки найменша на всій площині вимірювання. Саме на ділянку I слід наклеювати тензорезистори.

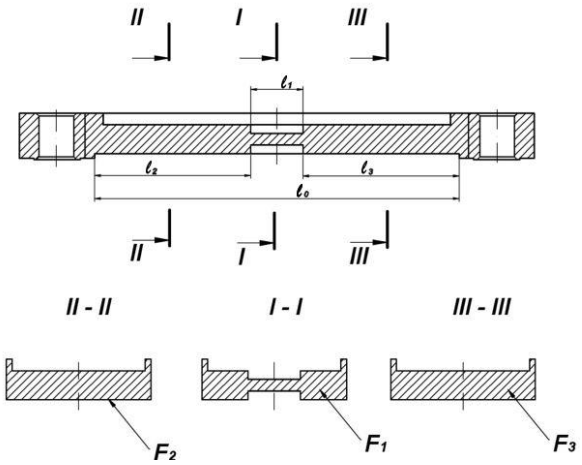



Рисунок 2. Умовні позначення ділянок поперечних перерізів

Для визначення загальної чутливості пружного елементу цифрового вимірювального перетворювача відносних деформацій побудуємо структурну

схему з зворотнім зв'язком (рис. 3) та оцінимо вплив на її величину геометричних параметрів кожної з ділянок.

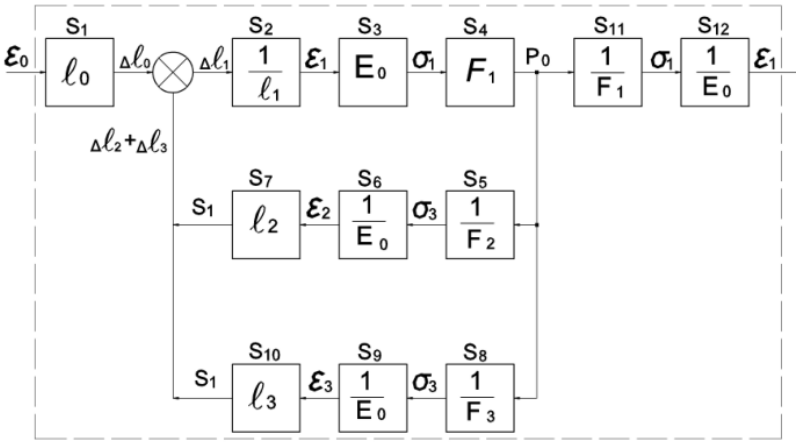



Рисунок 3. Структурна схема пружного елемента:

$\ell_0$ – база виміру деформацій; $\ell_1$ – база I ділянки виміру; $\ell_2$ – база II ділянки виміру; $\ell_3$ – база III ділянки виміру; $F_1$ – площа перерізу I ділянки; $F_2$ – площа перерізу II ділянки; $F_3$ – площа перерізу III ділянки; $E_0$ – модуль пружності матеріалу.

За структурною схемою чутливість пружного елементу буде дорівнювати:

$$S_{пче} = S_1 * \frac{S_2 * S_3 * S_4}{1 + S_2 * S_3 * S_4 * (S_5 * S_6 * S_7 + S_8 * S_9 * S_{10})} * S_{11} * S_{12} . \quad (1)$$

Підставимо до (1) формульні вирази чутливостей кожної ланки схеми, отримаємо значення коефіцієнту механічного підсилення в вигляді чутливості пружного елементу:

$$S_{пче} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} = \ell_0 * \frac{\frac{E_0 * F_1}{\ell_1} * \frac{1}{F_1 * E_0}}{1 + \frac{E_0 * F_1}{\ell_1} * (\frac{\ell_2}{E_0 * F_2} + \frac{\ell_3}{E_0 * F_3})} = \frac{\ell_0}{\ell_1} * \frac{1}{1 + \frac{\ell_2}{\ell_1} * \frac{F_1}{F_2} + \frac{\ell_3}{\ell_1} * \frac{F_1}{F_3}} . \quad (2)$$

Числові значення параметрів дорівнюють:

$\ell_0 = 63(мм)$; $\ell_1 = 9(мм)$; $\ell_2 = 27(мм)$; $\ell_3 = 27(мм)$;

$F_1 = 38(мм^2)$; $F_2 = 129(мм^2)$; $F_3 = 129(мм^2)$; $E_0 = 2{,}1 \cdot 10^{11}(Па)$.

Підставивши числові значення у формулу (2) отримаємо:

$$S_{пче} = \frac{63}{9} * \frac{1}{1 + \frac{27}{9} * \frac{38}{129} + \frac{27}{9} * \frac{38}{129}} = 2{,}53 .$$

## ВИСНОВОК

Використання конструктивно допустимих геометричних параметрів пружного елементу в конструкції цифрового вимірювального перетворювача дає можливість механічно підсилити деформацію в 2,53 раз, що підвищить

точність вимірювання відносної деформації. Виходячи з рівняння чутливості пружного елементу можна зробити висновок, що матеріал пружного елементу не впливає на розмір чутливості вимірювання відносних деформацій. Проте вибір матеріалу необхідно робити за його механічними характеристикам, врахувавши умови експлуатації та діапазон вимірювальних величин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки. - М.: Машиностроение, 1990. – 224 с: ил.

2. Датчик деформації SLB-700A/06VA1 – Режим доступа: http://www.hbm.ru/upload/iblock/8e8/SLB700A06VA1&2_ds(b3255-1.0ru).pdf

3. ГОСТ 4543-71 Прокат легированной конструкционной стали. Технические условия. – Введ. 01.01.73.– М.: Издательство стандартов, 1973. – 40 с.

***Наук. керівник – ст. вик. Зайцев В.М.***

**УДК 531.781.2**

*Д.С. Добронос, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф., Гераїмчук М. Д.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТИСКУ

***Анотація.*** В даній статті розглянуто основну причину виникнення похибок у вимірювальному перетворювачі тиску, що побудований на явищі тензоефекту. Розглянуто метод, завдяки якому вдається компенсувати негативний вплив температури на точність, а також принцип роботи.)

***Ключові слова:*** вимірювальний перетворювач тиску, тензоміст, температурна похибка.

## ВСТУП

Сьогодні, вимірювальні перетворювачі тиску широко використовуються в різних галузях промисловості. Області використання включають в себе різноманітні процеси в медичній, нафтовій, газовій, харчовій промисловостях, а також в авіаційній та космічній техніці, тощо.

Вимірювальні перетворювачі з тензорезисторами є перспективними засобами для вимірювання тиску, число даних вимірювальних перетворювачів побудованих на цьому принципі, в кілька разів перевищує число перетворювачів, в яких використовуються: індуктивний, ємнісний, електромагнітний та ін перетворювачі [1].

Головними вимогами, які пред'являються до сучасних вимірювальних перетворювачів тиску є: точність, малі габарити та маса, простота конструкції, великий термін служби, та якість передачі інформації на відстань. Попри наявність таких переваг у тензорезисторних вимірювальних перетворювачах, існує і суттєвий недолік: температурна похибка, яку необхідно компенсувати.

## ПРИНЦИП РОБОТИ

Великим недоліком деяких конструкцій вимірювальних перетворювачів тиску є те, що в результаті зміни температури буде змінюватися і опір плечей в яких знаходяться тензорезистори, що призводить до зміни чутливості, підвищенню нелінійності, а відповідно до збільшення похибки і зменшення точності вимірювання. Введення додаткового резистора в ланцюг живлення тензомоста, для температурної компенсації при постійній напрузі живлення, зменшує напругу вихідного сигналу з вимірювальної діагоналі тензомосту, яке і без того становить одиниці мілівольт. При цьому, зменшується перешкодозахищеність корисного сигналу при передачі його по лінії зв'язку до пристроїв обробки інформації [2].

В реальних умовах експлуатації вимірювальних перетворювачів тиску, робоча температура тензомосту може змінюватися в широкому діапазоні (від мінус 50 до 200 0С і навіть ширше, в залежності від умов використання), і тоді зі зміною температури, опір тензорезисторів, включених по мостовій схемі, буде змінюватися в залежності від температурного коефіцієнта опору.

На рис. 1 представлена функціональна електрична схема вимірювального перетворювача тиску. На виході вимірювального кола, що живиться від

джерела живлення Uдж з'являється вихідний сигнал, який підсилюється за допомогою операційного підсилювача ОП, у вигляді вихідної напруги Uвих.

Опір робочих плечей R1, R2, R3, R4 змінюється при дії температури, що призводить до зміни початкового рівня вихідної напруги вимірювальної схеми. Для компенсації цього впливу в плече включають опір RT, що змінюється при дії температури так, щоб початковий розбаланс вимірювального кола залишався постійним. Для регулювання чутливості вимірювального перетворювача тиску, при його виготовленні, в діагональ живлення включають додатковий опір Rд. Данна схема використовується як один із методів для урахування температурної похибки.

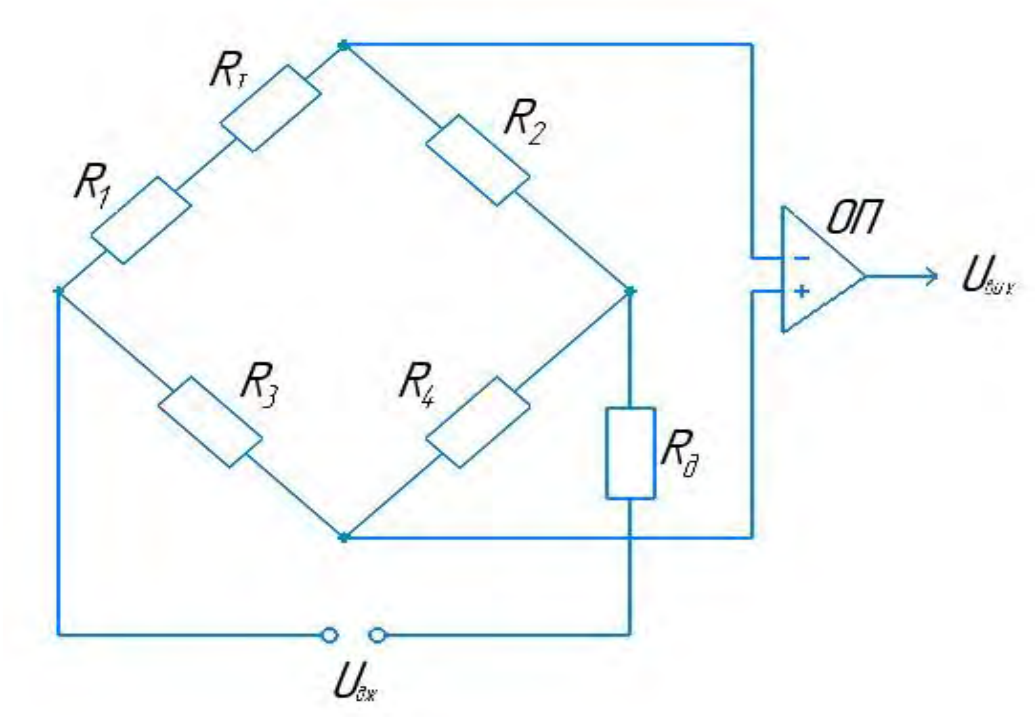



Рисунок 1. Функціональна електрична схема вимірювального перетворювача тиску.

Але, існує ще один метод для зменшення впливу дестабілізуючих факторів (температура), що впливають на похибку тензорезисторних вимірювальних перетворювачів тиску, а саме за допомогою вторинних перетворювачів, що перетворюють вихідний сигнал з первинних перетворювачів у частотний сигнал [3]. Це також дозволяє зменшити похибки від нестабільності джерела живлення, а також від змінних параметрів кабельної лінії та впливу навколишнього середовища.

Однак, даний метод має недолік пов'язаний з введенням у вимірювальний контур додаткових елементів: компоратора, інтегратора і операційного підсилювача [4].

Зменшення частоти перетворювача, за рахунок введення додаткового резистору, можна компенсувати за рахунок зменшення ємності конденсатору в необхідну кількість разів. Зменшення напруги живлення тензомоста через введення додаткового опору, зменшує потужність, що створюється тензорезисторами, але не впливає на чутливість, оскільки функція перетворення

не залежить від напруги живлення. Зменшення потужності, дозволяє знизити температуру розігріву тензорезисторів від протікання через них току.

Було виявлено, що за рахунок введення додаткового резистора, відбувається зменшення температурної похибки перетворювача сигналу. Зміна частоти вихідного сигналу зі зміною температури менша, ніж в схемі без додаткового резистора більш ніж в кілька разів [5].

Таким чином, існує декілька методів, завдяки яким досягається збільшення точності перетворення сигналу тензомосту вимірювального перетворювача тиску за рахунок зменшення впливу температури на вихідний сигнал.

## ВИСНОВОК

Вимірювальні перетворювачі тиску, що засновані на явищі тензоефекту, на сьогоднішній день мають дуже широке використання, адже відповідають необхідним метрологічним характеристикам. Попри це, існує суттєвий недолік таких перетворювачів – вплив температури.

Оскільки стандартні методи не є досконалими, був розглянутий один з перспективних методів, завдяки якому можна компенсувати подібні дестабілізуючі фактори, а саме за рахунок використання вторинних перетворювачів, що перетворюють вихідний сигнал з первинних вимірювальних перетворювачів у частотні сигнали.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добронос Д.С. Вимірювальний перетворювач тиску / Добронос Д.С., Нікітін О.К. // Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали доповідей X міжнародна науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 16-17 травня. – К. : НТУУ «КПІ ім.Сікорського», 2017. – С. 67.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е. П. Осадчего. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
3. Катков А.Н. Алгоритмы коррекции погрешностей тензометрических датчиков давления цифровыми вторичными преобразователями // Молодой ученый. — 2011. — №8. Т.1. — С. 58-60.
4. Вергазов И.Р. Использование частотного преобразователя для снижения погрешности тензорезистивного датчика / Вергазов И.Р., Петрин В.А., Тареева Ю.А. // Журнал технические науки. — 2015. — Т. 3, № 34. — С. 30-32.
5. Васильев В.А. Датчики давления с уменьшенной температурной погрешностью на основе нано и микроэлектрических систем и частотных интегрирующих развертывающих преобразователей / Васильев В.А., Громков Н.В., Николаев Д. П., Сатыбалдыев О. С // Журнал измерение. мониторинг. управление. контроль. — 2013. — Т. 3, № 5. — С. 72-78.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Гераїмчук М.Д.***

**УДК 681.511**

*Д.Р. Одайник, студент гр. ПМ-61*
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

# СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

***Аннотация.*** В данной статье рассматриваются автономные необитаемые подводные аппараты зарубежных производителей. Приведены их технические характеристики и их целевое назначение.
***Ключевые слова:*** автономный, подводный, малогабаритный, аппарат.

## ВСТУПЛЕНИЕ

Автономное необитаемые подводные аппараты (АНПА) - это технология, которая широко используется в океаническом поле. Как следует из названия, автономное подводное транспортное средство представляет собой морскую технологию, которая не нуждается в каком-либо физическом управлении ни одним человеком, пока его вводят в воду.

## ОБЗОР

Преимуществом такой морской технологии является то, что они могут использоваться в самых разных областях: от коммерческих до военных и разведывательных целей.

Большая часть АНПА относится к малогабаритным подводным аппаратам (масса менее 50 кг). Основными спонсорами разработок и производства автономных аппаратов являются оборонные ведомства государств. Лидерами в этой области являются Япония, Канада, Норвегия, США, Германия.

## ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Техническое оснащение малогабаритных АНПА позволяет им решать различного рода задачи на глубинах от 10 до 3000 м. Главными классификационными признаками АНПА являются их целевое назначение, конструктивный облик, массогабаритные характеристики, тип двигателя и системы энергообеспечения [1]. По целевому назначению АНПА делятся на:

- для коммерческих целей: нефтяные буровые и подводные буровые компании используют помощь АНПА для проверки соответствующей океанической зоны в соответствии с их деловой необходимостью;

- для военных целей: АНПА используются, чтобы выяснить, есть ли мины-ловушки, установленные на дне океана. Когда дело доходит до военного использования, АНПА - лучшая технология разведки, которая может использоваться для подводных целей;

- для исследовательских целей: АНПА используются для исследования морского дна не нарушая подводную экосистему. Кроме того, АНПА также могут использоваться для обнаружения рифов и других жизненных форм, существующих под водой.

Благодаря модульному принципу построения современных АНПА практически все они являются многоцелевыми. По массе АНПА делятся на большие, средние, малые, мини и микро (АПМА).

К автономным подводным микроаппаратам (АПМА) относятся аппараты масса которых не более 20 кг (рис. 1). Основные технические характеристики микро АПМА: дальность 1–2 морских миль, рабочая глубина погружения не более 150 м; скорость хода состовлет 1,5–2 узла.

Мини-АНПА - это аппараты массой от 20 до 100 кг. Дальности плавания мини АНПА – от 0,5 до 4000 морских миль. Самые известные мини-АНПА это проекы REMUS 100 (рис. 2), Gavia, SeaLion (BlueFin 9), Spray Glider, Slocum Glider I/II и Sea Glider. Последние три АНПА являются планерами с системой движения на основе изменения остаточной плавучести [2].

Рисунок 1. АПМА

Рисунок 2. Мини-АНПА REMUS 100

Малые АНПА – это аппараты массой от 100 до 500 кг. Типичные представители малых АНПА – проекты AQUA EXPLORER 2 (Япония), BPAUV, Odyssey III, SAUV II (рис. 3) и Ocean Explorer. Все эти аппараты произведены в США.

Масса средних АНПА составляет от 500 до 2000 кг. Типичные представители средних АНПА это – проекты REMUS 6000 (США), ARCS (Канада), HUGIN 1000/3000 (Норвегия) (рис. 4), Wayamba (Австралия) [3].

Рисунок. 3. Мини-АНПА SAUV II

Рисунок. 4. Средний АНПА проекта HUGIN 1000

Большие АНПА - аппараты массой более 2000 кг. Представители больших АНПА – проекты LAZARUS (США), Alistar 3000 (Франция) (рис. 5), AutoSub (Великобритания) и SEAHORSE (США).

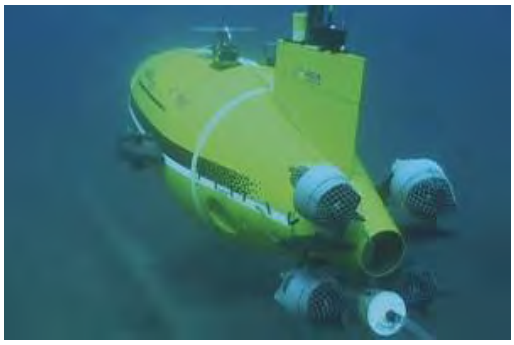
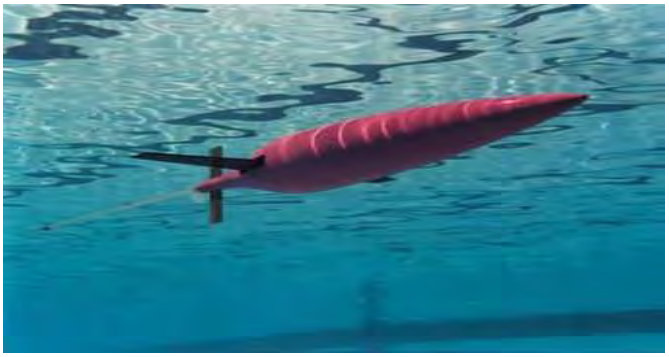
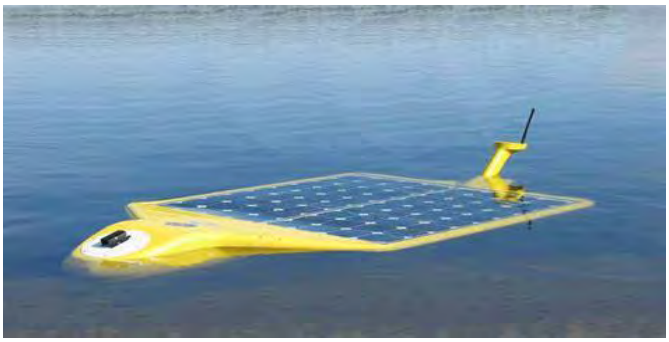


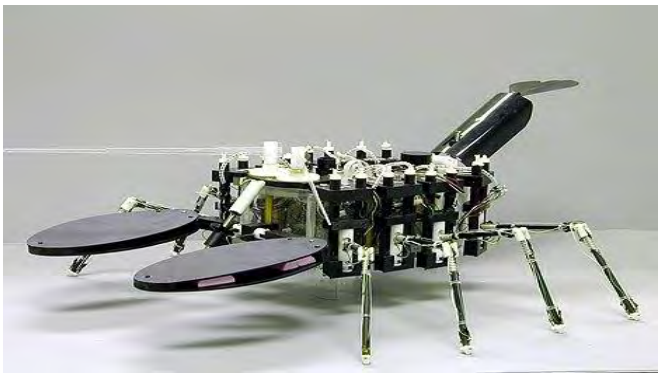
Рисунок 5. Проект Alistar 3000

По форме корпуса различают следующие типы АНПА (таблица 1) [4,5]:

Таблица 1. Классификация АНПА по форме корпуса

| | |
|---|---|
| **Классические.** Обладают цилиндрической, торпедообразной, каплеобразной, сигарообразной, плоской и комбинированной формами. | |
| **Планерные**. Движутся за счет изменения собственной плавучести подводного АНПА. |  |
| **Плоские.** На верхней плоской части корпуса АНПА располагаются солнечные батареи. |  |

**Бионические.** Различают плавающего и ползающего типа. Движутся за счет плавников, волнового движения тела и конечностей.



АНПА использует компьютерную систему, которая может быть укомплектована с корабля или военно-морского судна, с которого оно запускается или развертывается. Также включено оборудование, такое как компасы, гидролокаторы и терморезисторы.

## ВЫВОД

Основными преимуществами АНПА перед аппаратами других типов являются: отсутствие кабель-тросовой связи с судном-носителем и соответственно определяемых ею недостатков; способность функционировать в местах, недоступных для других типов ПА; скрытность функционирования; высокая мобильность.

АНПА является очень важной разработкой и заслуживает соответствующей оценки и признания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития [Электронный ресурс]/ Л. Бочаров – Режим доступа: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_286_934.pdf

2. ПЕРСПЕКТИВЫ И КОНЦЕПЦИИ РАЗРАБОТКИ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ. [Электронный ресурс]/ О.С. Голод, А.И. Гончар, Л.И. Шлычек – Режим доступа: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/19199/11-Golod3.pdf?sequence=1

3. Everything You Ever Wanted to Know About Autonomous Underwater Vehicle (AUV). [Электронный ресурс] // marine insight – Режим доступа: https://www.marineinsight.com/types-of-ships/everything-you-ever-wanted-to-know-about-autonomous-underwater-vehicle-auv/

4. Морские роботы: подводные системы [Электронный ресурс] // GOLOS – Режим доступа: https://golos.io/goldvoice/@teeves/morskie-roboty-podvodnyie-sistemy

5. Каталог подводных роботов [Электронный ресурс] // RoboTrends- Режим доступа: http://robotrends.ru/robopedia/katalog-podvodnyh-robotov

***Научный руководитель – д.т.н., доцент Киричук Ю.В.***

**УДК 004.652.4:62-791.2**

*Д. В. Скрипник, студент гр. ПІ-71мн, д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ДАНИМИ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ ХИТАННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА

***Анотація.*** У статті описана доцільність розробки та удосконалення систем діагностування механізму хитання кристалізатора. Авторами розглянуто особливості технології неперервного лиття заготовок та систем діагностування механізмів хитання. Описана конструкція системи-прототипу та її характеристики. Розглянуто переваги і недоліки використання реляційних баз даних для збереження інформації, запропоновані різні способи організації бази даних для зберігання інформації про діагностування системи хитання кристалізатора. Проведено розрахунок приблизного об'єму пам'яті, необхідний для зберігання даних.

***Ключові слова:*** механізм хитання, кристалізатор, MEMS-акселерометр, діагностування, база даних

## ВСТУП

Металургійні комбінати з технологією неперервного розливу сталі повинні працювати тривалий час у сталому режимі, забезпечуючи при цьому високу якість лиття заготовок і не допускаючи можливостей розвитку аварійних ситуацій, внаслідок яких виникне загроза життю працівників та пошкодження обладнання. Це, у свою чергу, зупинить виробництво і залишить решту працівників без роботи. Однією з ланок машини неперервного лиття заготовок, яка потребує посиленого контролю для забезпечення сталого режиму роботи, є кристалізатор (рис 1.), функцією якого є надавати форму сталевому прокату [1].

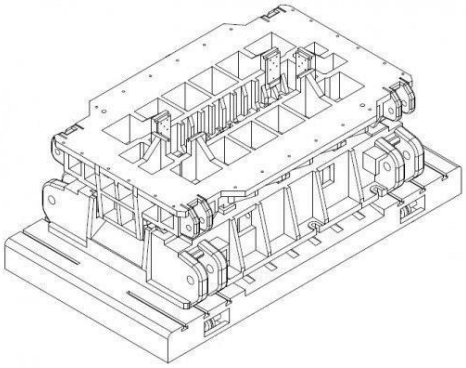


Рисунок 1. Зовнішній вигляд кристалізатора

У процесі роботи кристалізатор здійснює періодичні гармонійні або несинусоїдальні коливання невеликої амплітуди (f = 1,67.....6,6 Hz; A = 0.....7 mm; k = 0,5....0,8 ) з метою не допускати прилипання сталі до його стінок, а точність цих коливань прямо впливає на якість злитку, оскільки сліди хитання кристалізатора (oscillation marks), які виникають на ньому, погіршують якість продукту. В тому випадку, якщо параметри хитання грубо виходять за межі норми, сліди хитання набуватимуть розмірів достатніх для розриву затверділої корки сталі і проливу розплаву, що спричинить серйозну аварію. Тому доцільно використовувати системи моніторингу хитання кристалізатора на виробництвах для попередження вищезазначених недоліків, а розробка нових і вдосконалення існуючих систем моніторингу є актуальною задачею.

Найбільш широко використовуваними на металургійних підприємствах світу є системи діагностування виробників Voestalpine Mechatronics GmbH (Австрія), Kiss Technologies Inc, Tozato Engenharia (США, Аргентина), НПП

«Техноап» (Росія), Ergolines OPI (Італія). Системи мають схожу конструкцію, принцип роботи і обробки даних, а також високу ціну покупки та обслуговування іноземними спеціалістами чи ліцензованої підготовки працівників підприємства. Це заважає їм бути широко представленими на українському ринку. З недоліків варто зазначити також пропрієтарність форматів даних моніторингу, що можуть бути прочитані і досліджені лише в програмах цих виробників, тому дослідники не мають можливості отримати доступ до даних і використати їх. Також варто відмітити неможливість гнучкого налаштування системи під змінені параметри експлуатації. Оскільки ливарне виробництво в Україні та закордоном представлене достатньо широко, розробка подібної системи є достатньо пріоритетною та рентабельною задачею [2].

Тому важливими задачами є розробка адаптивної системи обробки інформації та оптимізація існуючого алгоритму обробки інформації. Це дозволить суттєво зменшити час обробки інформації та дозволить використовувати однаковий об'єм пам'яті для збереження більшої кількості даних. Також подібний спосіб збереження інформації дозволяє зробити дані легкодоступними з одного боку для візуалізації або додаткової обробки, а з іншого – надає можливість додатково захистити їх за допомогою відомих засобів шифрування [3].

## II. АПАРАТНА ЧАСТИНА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ

Прототип системи був створений на основі триосьових мікроелектромеханічних (MEMS) акселерометрів LIS331DLH (рис.3) і випробуваний на виробництві (рис.2). При низькій вартості, такі акселерометри мають досить високі метрологічні характеристики, що дає можливість створювати на їх основі системи контролю з точністю, співставною із закордонними системами, а вартість визначатиметься в основному складністю і функціональністю програмного забезпечення.

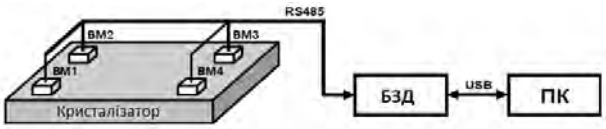



Рисунок 2. Узагальнена структурна схема системи

Система дозволяє відслідковувати траєкторію руху кристалізатора і визначати відхилення від заданого сигналу. На рис.2 позначені:: ВМ1 – ВМ4 – вимірювальні модулі на основі триосьових мікромеханічних акселерометрів, що також містять схеми перетворення сигналів; БЗД – блок збору даних; ПК – персональний комп'ютер або сервер, на якому буде встановлено програмне забезпечення.

Основні технічні параметри системи: кількість вимірів на секунду -1600; роздільна здатність – 0,5 mg; час вимірювання – 3с.

Технічні параметри акселерометра: 16-бітний вивід даних; напруга живлення від 2,16 до 3,6 В; 2g/4g/8g шкала з динамічним вибором; вимірювання

прискорень з частотою вихідних даних від 0,5 Гц до 1 кГц; 6D орієнтація у просторі; максимальне допустиме навантаження 10000g; діапазон робочих температур: -40˚ +85˚.

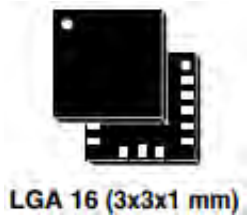



Рисунок 3. LIS331DLH

Вихідні дані системи: прискорення, швидкості і переміщення по кожній з трьох осей кожного датчика [4].

## III. РОЗРОБКА БАЗИ ДАНИХ

Мета статті: показати доцільність розробки та реалізації програмного забезпечення, що не матиме недоліків, наведених у попередньому розділі. Для цього необхідно створити базу даних для зберігання інформації, що надходить від апаратного забезпечення. Також, розробка бази даних дозволить у майбутньому накопичувати дані, які слугуватимуть опорними для навчання системи діагностування (технологія machine learning).

Для роботи системи діагностування пропонується організувати збереження інформації за допомогою реляційної бази даних (далі БД).

Реляційна БД представляє собою сукупність схем відношень, пов’язаних один з одним і дозволяє представити інформацію за допомогою пов’язаних між собою таблиць.

У реляційних базах даних вся інформація зведена у таблиці, рядки і стовпці, що називаються записами і полями відповідно. Ці таблиці отримали назву реляцій. Записи у таблицях не повторюються. Їх унікальність забезпечується первинним ключем, що містить набір полів, однозначно визначаючих запис [5].

Переваги моделі:

- відображає інформацію в найбільш простій для користувача формі;
- заснована на розвиненому математичному апараті, який дозволяє досить лаконічно описати основні операції над даними;
- дозволяє використовувати мови маніпулювання даними не процедурного типу;
- забезпечує маніпулювання даними на рівні вихідної БД і можливість зміни.

Модель має наступні недоліки:

- більш повільний доступ до даних, ніж у існуючих аналогів;
- трудомісткість розробки. [6].

Крім того, база даних дозволяє зчитати інформацію з файлу поза межами програми, що використовувалася для їх запису.

Було розглянуто два можливих варіанти організації структури бази даних:

- створення однієї таблиці, в яку будуть записані дані з усіх акселерометрів, і час, протягом якого проходило вимірювання;
- створення по окремій таблиці для даних з кожного датчика і окрема таблиця, у якій кожному вимірюванню буде присвоєно часову мітку та ідентифікатор, до якого будуть прив'язані всі відповідні вимірювання з інших таблиць.

Tables_in_prototype_db

data1

data2

data3

data4

time

а)

```
mysql> select * from data1;
+---------+---------+---------+----+
| X       | Y       | Z       | id |
+---------+---------+---------+----+
| 1121124 | 1212124 | 8845121 |  1 |
+---------+---------+---------+----+
1 row in set (0.04 sec)
```

б)

Рисунок 4. Структура прототипної БД (а) бази даних з чотирма таблицями даних і однією зв'язуючою; б) таблиця з умовними значеннями для прикладу;

## IV. ВИСНОВКИ

Використання СУБД для збереження інформації, отриманої під час моніторингу має ряд переваг перед існуючими аналогами. Основною із них є уніфікація, що дає можливість використовувати дані моніторингу при подальшій обробці без додаткових програм або конверторів, передавати їх для візуалізації у сторонні програми, додатки, веб-ресурси.

Авторами запропонована модель зберігання інформації у вигляді бази даних. Було перераховано переваги такої моделі. Окрім того, створення подібної бази даних суттєво спрощує доступ до даних та їх подальшу обробку.

Використання бази даних дозволить розширити спектр інструментів для обробки даних, полегшить впровадження нових технологій в процес вимірювання, обробки та візуалізації інформації, що є наступним етапом досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. Н. Смирнов, С. В. Куберский and Е. Штепан, Непрерывная разливка стали, Учебник. - Донецк: ДонНТУ, 2011. - 482 с. - рус.
2. В. А. Диденко, к. т. н. А. Ф. Бондаренко and А. Н. Полено, "Обзор средств контроля траектории движения кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок," Одеса, 2014.
3. В. А. Сидоров and А. Л. Сотников, "Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ," Наукові праці Донецького національного технічного університету (Сер.: Металургія)., no. 102, pp. 46-55, 2005
4. "LIS331DLH," [Online]. Available: http://www.st.com/...
5. К. Д. Дейт, Введение в системы баз данных — 7-е изд, Москва: Вильямс, 2001, p. 1072.
6. "Реляційні бази даних - переваги та недоліки," [Online]. Available: https://sites.google.com/site/gosyvmkss12/...

***Науковий керівник – д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.***

**УДК 621.436.038:006.032.-034**

*Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПРИМІНЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА

***Анотація.*** В даній статті розглянуто сфери застосування дизельних двигунів з інтелектуальними система впорскування палива. Проведено аналіз світових фірм, що виробляють дизельні двигуни та основні параметри для дизельних двигунів. Розглянуто принцип роботи інтелектуальної системи впорскування палива з механічним та електронним регулятором.

***Ключові слова:*** дизельний двигун, інтелектуальна система впорскування палива, електронний регулятор.

## ВСТУП

Дизельні двигуни найбільш широко застосовуються у всіх сферах життєдіяльності людини. Їх затребуваність пояснюється, перш за все, високою ефективністю їх роботи, надійністю, довговічністю і хорошою паливною економічністю. Обмеження норм токсичності відпрацьованих газів (ВГ) для дизельних двигунів також стають все більш жорсткими. Досягнення цих норм можливе лише при застосуванні інтелектуальних систем впорскування палива типу Common Rail [1].

Найбільш важливі сфери застосування дизельних двигунів наступні:

- Стаціонарні генераторні установки;
- Компресорні силові установки;
- Шахтні силові установки;
- Тепловози;
- Кар’єрні багатотонні самоскиди;
- Будівельна та сільськогосподарська техніка;
- Вантажні автомобілі;
- Судові головні силові та допоміжні силові установки.

Найбільш відомі світові фірми що виробляють дизельні двигуни це: MAN, DEUTZ, PERKINS, DAIMLER, CATERPILLAR, CUMMINS, MTU, ABC, та інші[2].

## ОГЛЯД ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

В основному дизельні двигуни бувають рядні або V-подібні з кількістю від 6 до 24 циліндрів. Є також досить унікальні дизельні двигуни фірми «ЗВЕЗДА», з Санкт-Петербурга, які мають 42 або 56 циліндрів, що розташовуються у вигляді 7-променевої зірки [3].

Основні параметри дизельних двигунів:

- Потужність двигуна при номінальних обертах;
- Максимальний крутний момент;
- Питома витрата палива;
- Діапазон робочих обертів;
- Тип паливної апаратури;
- Відповідність екологічним нормам;
- Масо-габаритні розміри двигуна.

Потужні дизельні двигуни мають хорошу паливну економічність, та великий термін експлуатації.

Конструкції та комплектація навісним обладнанням дизельних двигунів дуже залежить від області їх примінення. В залежності від цього використовуються і різні типи паливної апаратури та регуляторів частоти обертання. Перспективою є використання інтелектуальних систем впорскування палива які дають можливість реалізувати оптимальний режим роботи двигуна [4].

## РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ

Стаціонарні силові агрегати, а саме, для дизель-генераторів в основному працюють з фіксованою частотою обертання колінчастого вала тобто з однорежимним регулятором. Двигун і система живлення в цьому випадку повинні бути оптимально узгоджені для роботи в фіксованому режимі.

Однорежимний регулятор частоти обертання колінчастого вала змінює величину подачі палива в залежності від зміни навантаження, при цьому частота обертання залишається фіксованою. Найчастіше на стаціонарних агрегатах використовується апаратура впорскування палива з механічним регулятором.

Для важких вантажних автомобілів насамперед важлива економічність, тому тут необхідно застосовувати тільки дизелі з системою безпосереднього впорскування палива, які обладнані всережимними регуляторами частоти обертання колінчастого вала. Такий регулятор змінює величину подачі палива в залежності від зміни навантаження та частоти обертання. Частота обертання колінчастого вала цих двигунів досягає величини 3500 об/хв. Норми токсичності ВГ таких автомобілів стають все більш жорсткими. Схема системи вимірювання циклової подачі на стенді для випробувань систем Common Rail наведено нижче на рис.1 [5].

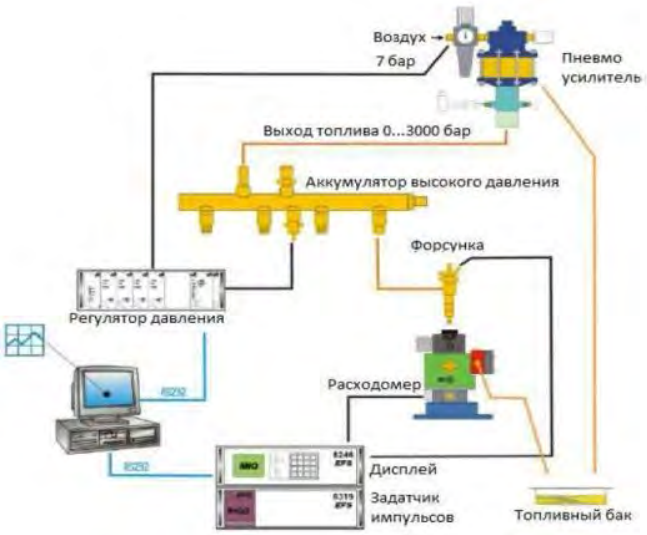



Рисунок 1. Схема системи вимірювання циклової подачі на стенді для випробувань систем Common Rail

Вимірювальний комплекс повинен дозволяти проводити одночасні виміри наступних параметрів електрогідравлічних форсунок акумуляторної системи

типу Common Rail: величини струму, напруги і тривалості сигналу, що подається на електроприводний керуючий клапан, опору обмотки котушки керуючого клапана, затримки спрацьовування клапана, продуктивності форсунок і подачі палива (витрата палива на управління), температури подачі палива [6].

В області будівельних і сільськогосподарських машин розробники звертають увагу на особливо високе значення економічності, міцності, надійності та зручності обслуговування двигунів найрізноманітнішої потужності - від 50 кВт до 3000кВт, характерні для важких вантажних автомобілів. Для будівельної і сільськогосподарської техніки дуже важливо миттєве переключення з одного режиму роботи на другий, наприклад з транспортного на генераторний або компресорний. Цей режим може забезпечити тільки інтелектуальні системи впорскування палива що не можливо з механічними системами управління.

Двигуни тепловозів конструктивно схожі на більші корабельні дизелі, що обумовлено, зокрема, тривалим терміном їх експлуатації. Крім того, вони повинні в крайньому випадку працювати на дизельному паливі гіршої якості. Їх типорозміри охоплюють область від великих до середніх суднових силових агрегатів.

Вимоги до суднових дизелів сильно розрізняються залежно від області застосування. Є агрегати високої потужності, наприклад для морських або спортивних катерів. У цьому випадку застосовуються чотиритактні середньооборотні двигуни з частотою обертання колінчастого вала до 1500 об/хв, які мають до 24 циліндрів. Потужні дизельні двигуни, які мають хорошу паливну економічність, та великий термін експлуатації.

Великі низько обертові дизелі внутрішнього згорання з частотою обертання колінчастого вала ($n<300$ об/хв) мають найвищий серед поршневих двигунів коефіцієнт корисної дії (ККД) до 55%. У більшості випадків вони можуть працювати на недорогому важкому мазуті [7].

Для цього, на борту судна потрібна спеціальна установка для підготовки палива. Залежно від якості палива, його слід підігрівати до високої температури (порядку 160°C). Тільки при таких умовах в'язкість мазуту зменшується до значень, які забезпечують необхідну роботу фільтрів і насосів. Перехід від механічного регулятора обертів до електронного регулятора частоти обертання.

В даний момент на дизельних двигунах замість механічних регуляторів використовуються електронні системи управління, які складаються з трьох основних елементів:

- електронний блок управління;
- датчик частоти обертання;
- виконавчий механізм.

Як виконавчі механізми для електронних систем управління можуть використовуватися різноманітні електричні приводи:

- Електричні актуатори для управління подачею палива;
- Електромагнітні клапани для паливних насосів високого тиску;

- Форсунки з інтегрованими електромагнітними клапанами.

Різноманітні сенсори для контролю частоти обертання, температури, тиску, витрати, вязкості та інш. дозволять покращити систему управління.

## ВИСНОВОК

Для великих дизельних двигунів, найбільш перспективним напрямом є інтелектуальні системи впорскування палива з електромагнітними клапанами.

Далі в роботі будуть проводиться дослідження, тестування та вибір оптимальних параметрів електромагнітів для електромагнітних клапанів, сенсорів, та розробка smart системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грехов Л.В. Методика определения характеристики впрыскивания измерителем НАМИ МГТУ при испытаниях дизельной топливной аппаратуры / Л.В. Грехов, Г.Г. Тер-Мкртичьян,А.А. Денисов, Е.Е. Старков // Труды НАМИ : сб. науч. ст. – 2014. – Вып. № 258. – С. 115–135.
2. Press information — Режим доступа: https://www.heinzmann.com/en/news/press-information
3. Судовые дизельные двигатели и дизель-редукторные агрегаты размерности ЧН16/17 — Режим доступа: http://www.zvezda.spb.ru/index.php/produktsiya/vidy-produktsii/969-sudovye-dizelnye-dvigateli-i-dizel-reduktornye-agre
4. Система управління дизелем (Electronic Diesel Control, EDC) — Режим доступа: http://www.newton-dieselcenter.com.ua/ua/biblioteka-klienta-ua/sovety-avtolyubitelyam-ua/entry/sovety-avtolyubitelyam/2014/12/05/sistema-upravlinnya-dizelem-electronic-diesel-control-edc.html
5. Система живлення двигуна — Режим доступа: http://bibliograph.com.ua/spravochnik-173-traktory-automobili/89.htm
6. Тер-Мкртичьян Г.Г. Анализ методик определения характеристики впрыскивания при испытаниях дизельной топливной аппаратуры / Г.Г. Тер-Мкртичьян, Л.В. Грехов, А.А. Денисов, Е.Е. Старков // Труды НАМИ : сб. науч. ст. – 2014. – Вып. № 259. – С. 162–173.
7. Коссов Е.Е., Шапран Е.Н., Фурман В.В. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов. Луганск, Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, 2006. 280 с

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Дубінець В.І***

**УДК 621.436.038:006.032.-034**

*Р.Р. Сорочинський, студент гр. ПІ-71мп, доц. Дубінець В.І.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА

***Анотація.*** В даній статті описано роботу систем управління впорскування палива. Розглянуто схему інтелектуальної системи управління впорскування палива з E-PPN клапанами. Проведено дослідження електромагніту на випробувальному стенді. На основі цього в Matlab Simulink, SolidWorks середовищі проведено розрахунки та побудовані діаграми. В результаті дослідження виявлено основні параметри які впливають на роботу електромагніту.

***Ключові слова:*** електромагніт, впорскування палива, E-PPN клапани, Matlab Simulink, SolidWorks.

## ВСТУП

Для дизельних двигунів тепловозів, які працюють в широких діапазонах швидкісних і навантажувальних режимів, одним з найбільш ефективних методів зниження витрати палива і викидів токсичних речовин є застосування інтелектуальних систем управління впорскування палива [1].

Для модернізації механічних систем подачі палива існуючих тепловозних дизелів, найбільш придатною є система Насос з Клапаном - Трубопровід - Форсунка (E-PPN), так як вона не вимагає зміни конструкції складових частин дизельного двигуна при проведенні модернізації. Така система розроблена та реалізована фірмою HEINZMANN [2].

В загальноприйнятій гідромеханічній системі подачі палива здійснюється переміщення паливної рейки для управління кількістю впорскуваного палива в циліндри двигуна. Оптимальний кут випередження впорскування палива для таких систем виставляється лише на номінальному режимі роботи двигуна [3].

## ПРИНЦИП РОБОТИ

Інтелектуальні системи управління впорскування палива з E-PPN клапанами використовують електромагнітні клапани для управлінням подачею палива. Паливна рейка при цьому демонтується як не потрібний елемент регулювання. Початок і кінець фази подачі палива, в залежності від обертів двигуна та навантаження, визначається моментом проходження струму через електромагнітний клапан. Таким чином з’являється можливість регулювання кута випередження подачі палива у всьому робочому діапазоні обертів та навантаження дизельного двигуна. Це забезпечує до 12% економії витрати палива двигуном та суттєво покращує роботу двигуна [4].

При проходженні струму через електромагніт E-PPN клапана, відбувається закриття клапану і паливо з насосу високого тиску спрямовується до форсунки. При припиненні подачі струму на електромагніт відбувається відкриття клапану і злив палива в паливний бак. Таким чином, відбувається регулювання моменту та кількості впорскуваного палива.

Така система управління включає електронний блок управління, керовані електромагнітні клапани, датчики і комунікаційні кабелі. Блок управління працює на основі дуже швидкого і потужного 32-бітового промислового мікропроцесора серії MC68332, фірми Motorola.

Нижче на рис.1 наведена схема інтелектуальної системи управління впорскування палива з E-PPN клапанами.

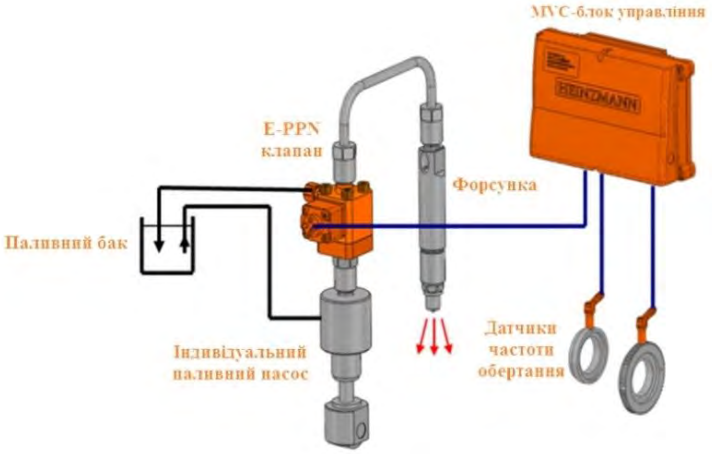



Рисунок 1. Схема інтелектуальної системи управління впорскування палива E-PPN клапанами.

Точність та кількість впорскуваного палива залежить від фізичних параметрів електромагніту та параметрів його управління. З ціллю вибору оптимальних параметрів для управління електромагнітним клапаном проводилися дослідження електромагніту на випробувальному стенді.

Нижче на рис.2 наведене фото випробувального стенду для дослідження електромагніту.

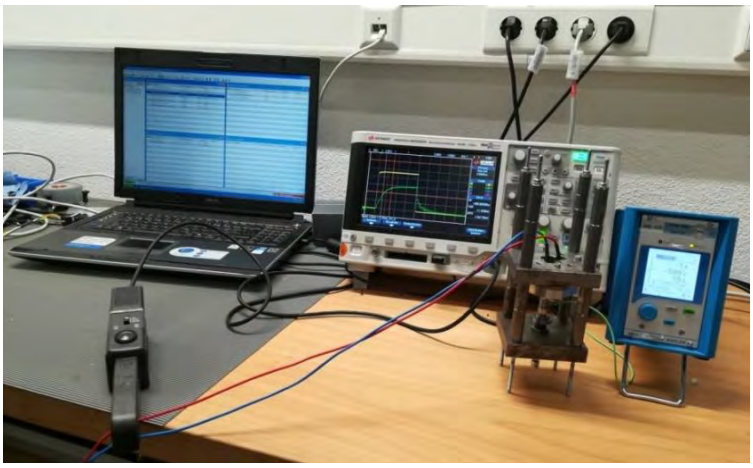


Рисунок 2. Випробувальний стенд з обладнанням для тестування.

## ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження електромагніту на випробувальному стенді відбувалися при наступних параметрах:

- Електромагніт магніт типу RM08[5],
- Час намагнічування від 1мс до 4мс,
- Напруга живлення магніту 24V,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А,
- Магнітний зазор 10 мм.

Ціллю даного дослідження було визначення силових параметрів електромагніту RM08 для різних комбінацій струму та часу намагнічування.

Результати тестів будуть використанні в подальшому для розрахунку зворотної пружини та площі затвору в клапані E-PPN управління впорскування палива інтелектуальної системи управління частотою обертання.

Перед виконанням тестів на випробувальному стенді було проведено підготовчі роботи:

- Калібрування зазору електромагніту типу RM08 фірми HEINZMANN;
- Налаштування роботи осцилографа, фірми KEYSIGHT, та зберігання даних у коректному форматі даних [6];
- Настроювання датчика сили та приладу для вимірювання сили, фірми Kistler Charge Meter;
- Налаштування струмових кліщів фірми Chauvin Arnoux типу E3N Clamp AC/DC у діапазоні вимірювання 10mV/A [7];
- Підключення та налаштування програмного забезпечення.

На основі налаштування випробувального стенду було проведено тестування електромагніту та побудовані діаграми залежності магнітного зусилля від часу для кожного зазору за допомогою середовища Microsoft Excel.

Тест 1. Вхідні параметри:

- Магнітний зазор 0,10 мм.
- Час намагнічування до 4мс,
- Напруга живлення магніту 24V,
- Діапазон струму для випробування магніту від 6А до 12А з кроком 2А.

Нижче на рис. 3 наведено діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,10мм, напруга 24В.

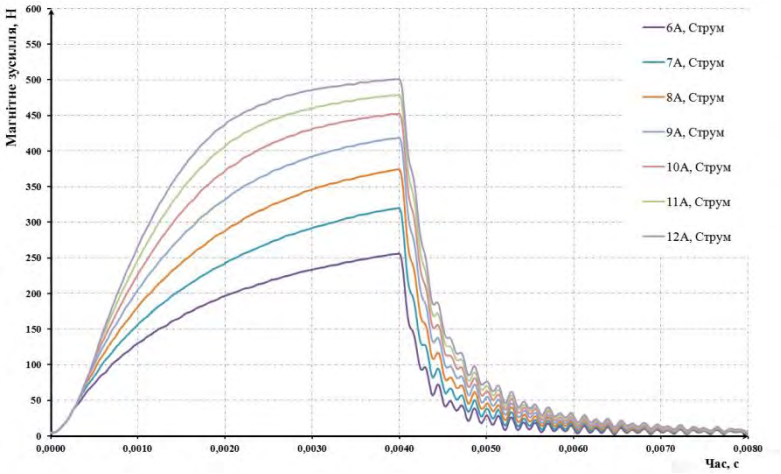



Рисунок 3. Діаграму магнітного зусилля від часу, зазор 0,10 мм, напруга 24В.

Мінімальне магнітне зусилля 255Н, досягається при струмі 6А.

Максимальне магнітне зусилля 500Н, досягається при струмі 12А.

## ВИСНОВОК

Інтелектуальна система управління впорскування палива з E-PPN клапанами широко застосовуються для зниження витрати палива і викидів токсичних речовин дизельних двигунів тепловозів, які працюють в широких швидкісних діапазонах і у навантажувальних режимах.

Згідно проведеного тестування на випробувальному стенді та аналізу при обробці результатів у середовищі MATLAB SIMULINK та у середовищі Microsoft Excel доведено, що на величину магнітного зусилля найбільше впливає струм відкривання і магнітний зазор.

Проведені дослідження на випробувальному стенді, дозволи підібрати зворотну пружину та розраховати пружину в середовищі SolidWorks, на основі проведених тестувань на випробувальному стенді.

**СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Коссов Е.Е., Шапран Е.Н., Фурман В.В. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов. Луганск, Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, 2006. 280 с
2. Система LAVINIA E-PPN фирмы HEINZMANN. Режим доступа: https://www.heinzmann.com/de/download-motoren-turbinen/dokumente-software/Dieselmotor-Management/E-PPN-Einspritzsystem/LAVINIAE-PPN/Datenblatt
3. Bosch: Системы управления дизельными двигателями. Москва, Изд-во «За рулем», 2004. 480 с
4. Система LAVINIA E-PPN фирмы HEINZMANN. Режим доступа: https://www.heinzmann.com/de/download-motoren-turbinen/dokumente-software/Dieselmotor-Management/E-PPN-Einspritzsystem/LAVINAE-PPN/prospekt
5. Electromagnet RM 08 Режим доступа: https://www.heinzmann.com/en/engine-and-turbine-management/solenoid
6. KEYSIGHT InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes . Режим доступа: https://www.keysight.com/en/pcx-x205206/infiniivision-2000-x-series-oscilloscopes?nid=-32542.0&cc=UA&lc=en
7. Chauvin Arnoux E3N Clamp AC/DC Режим доступа: http://www.chauvin-arnoux.com/en/produit/e3n.html

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Дубінець В.І***

**УДК 621.6.04**

*В.В. Ходячий, аспірант, доц. Нікітін О.К.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОГЛЯД СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

***Анотація.*** В даній статі наведений огляд сипких матеріалів і їх класифікація, наведені основні фізичні і хімічні властивості сипких матеріалів. Приведені основні формули розрахунку умовного діаметру і насипної щільності сипкого матеріалу. Визначення вологість сипкого матеріалу, і методи за допомогою який можна визначити її. Також в статті, були розібрані такі поняття, як адгезія і плинність сипкого матеріалу.

***Ключові слова:*** сипкий матеріал, класифікація сипких матеріалів, вологість, плинність, насипна щільність, методи вимірювання вологості.

## ВСТУП

Під поняттям сипучого матеріалу розуміють дисперсну систему, що складається з довільної форми твердих частинок, які знаходяться в контакті між собою. [1] Сипкий матеріла можна характеризувати по його розмірам і формою, хімічними і фізичними властивостями, вологістю, плинністю сипких матеріалів. Існують велика різноманітність сипких матеріалів наприклад такі як: мука, зерно, цукор, крупа, руда, вугілля і так далі.

Сипкі матеріали дуже рідко складається з частинок однакового розміру і однакової форми. Для визначення лінійного розміру частинок, використовують умовний діаметр di, який розраховується, після вимірю довжини, ширини і висоти однієї частинки сипучого матеріалу, за формулою як середнє арифметичне значення:

$$d_i = \frac{lbh}{3}, \tag{1}$$

або як середнє геометричне значення:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{lbh}{3}}, \tag{2}$$

де h – висота частинки, l – довжина частинки, b – ширина частинки сипучого матеріалу [2 – 3].

Зазвичай величина di змінюється від мінімального значення dmin до максимального dmax. Відношення мінімального до максимального значення, в деяких сипких матеріалів, може сягати більше 1000. Залежно від максимального розміру(dmax) частинок сипучого матеріалу, їх розрізняють на:

- пило – подібні (dmax < 0,05 мм);
- порошково – подібні (dmax = 0,05 ... 0,5 мм);
- дрібно – зернисті (dmax = 0,5 ... 2 мм);
- грубо- зернисті (dmax = 2 ... 10 мм);
- кускові (dmax> 10 мм).

Для встановлення гранулометричного складу сипких матеріалів застосовують такі методи як: ситового аналізу, електрокласифікації, кондуктометричний, телевізійний, метод прямого виміру, метод фільтрації і метод розділення в полі відцентрових сил. [2]

Наступний параметром який ми розглянемо є об’ємна маса сипучого матеріала, і як її ще називають насипна щільність(ρн). Насипна щільність називають маси сипкого матеріалу, що знаходиться в одиниці займаного ним

обсягу.[5] Величина ρн сипкого матеріалу залежить від вологості, від форм і розмірів частинок і від щільності укладання частинок в потоці. Цей параметр постійно змінюється незалежно від того, чи сипкий матеріал перебуває в стані покою, чи він рухається в потоці. Насипну щільність необхідний параметр при визначенні тиску на стінки бункера, на розміри бункерів і витрату енергії на перемішування сипких матеріалів в бункерах.

При розрахуванні насипної щільності, завжди потрібно зазначати при яких середніх розмірах частинок сипкого матеріалу вона була отримана. За насипною щільністю сипучі матеріали можна розділити на:

- вельми важкі (більше 2000 кг/м3);
- важкі (від 1100 до 2000 кг/м3);
- середні (від 600 до 1000 кг/м3);
- легкі (до 60 кг/м3).

Для розрахування насипної щільності сипкого матеріалу існують спеціальні прилади для її визначення, і для визначення використовують формулу:

$$\rho_н = \frac{G_1 - G^3}{V}, \tag{3}$$

де G1 і G - вага мірна ємність з матеріалом і без нього, кг;

V - внутрішній об'єм мірна ємність, м3 [2].

Один з найважливіших параметрів сипких матеріалів є вологість. Вологість впливає на багато властивостей сипучих матеріалів, такі як: тертя між частинками сипкого матеріалу і між стінками бункера, щільність, плинність, злипання сипких матеріалів. [4] Якщо вологість сипких матеріалів збільшується, це погіршую характеристику витоку сипкого матеріалу. Сипучий матеріал з підвищеною вологістю характеризується великими силами зчеплення частинок, що спричиняє утворення грудок і статичних склепінь над отвором воронки бункера. Витік такого матеріалу з отвору ємності вкрай тяжкий. [6]

Методи визначення вологості сипких матеріалів можна розділити на прямі і непрямі.

Прямі методи засновані на безпосередньому вимірі ваги вологи і ваги сухої речовини. До прямого метода належать: карбідний метод, метод висушування, екстракційний метод.

Непрямі методи надають змогу судити про вологість сипких матеріалів, шляхом вимірювання функціонально пов’язаних з нею величин. До непрямих методів відносяться: електричний, оптичний, калориметричний, механічний, ультразвуковий. [7]

Найбільш точний метод для визначення вологості сипкого матеріалу є метод висушування, при якому спочатку міряють вагу сипкого матеріалу, потім за допомогою повітряно-теплової сушки, висушують сипкий матеріал, і після цього роблять зважування його. Але цей метод потребую багато часу для визначення кількості вологи, і зазвичай використовують такий метод як оптичний, який заснований на вимірі потоку випромінювання після взаємодії

сипкого матеріалу з контрольованою речовиною. Такі прилади як аналізатори типу Берег та Донець дають змогу це зробити. [7]

Плинністю сипучих матеріалів називають здатність їх виходити з тією чи іншою швидкістю з отворів бункерів чи чогось іншого. Плинність залежить від форми сипкого матеріалу, його розмірів часток, вологості, коефіцієнту внутрішнього тертя і т.д. Від плинності сипкого матеріалу залежить багато параметрів на виробництві, так як від неї залежить тривалість операцій заповнення і спорожнення бункерів, змішування сипкого матеріалу. Також плинність визначає багато конструктивних особливостей з якими взаємодіє сипкий матеріал. [4]

Адгезія – здатність часток сипкого матеріалу прилипати до твердих поверхонь. При конструюванні бункерів, транспортних ліній, різних пристроїв з яким взаємодіє сипкий матеріал, потрібно враховувати цю характеристику сипкого матеріалу.

## ВИСНОВКИ

В даній статі був проведений огляд по темі сипкого матеріалу. Було визначено, що таке сипкий матеріал розібранні основні характеристики його, такі як: умовний діаметр окремих частинок сипкого матеріалу; насипна щільність; вологість; плинність; адгезія.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гусев Ю. И. Химическое машиностроение и аппаратостроение / Ю. И. Гусев, И. Н. Карасев, Э. Э. Кольман-Иванов. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
2. Хайлис Г. А. Механіка рослинних матеріалів / Г. А. Хайлис. – Киев: УААН, 1994. – 332 с.
3. Шубин И. Н. Технологічні машини і обладнання. Сипучі матеріали і їх властивості: Навч. посібник./ И. Н. Шубин, М. М. Свиридов, В. П. Таров. – Тамбов: ТГТУ, 2005. – 76 с.
4. Андрианов Е. И. Методы определения структурно-механическихxарактеристик порошкообразных материалов. / Е. И. Андрианов. – М.: Химия, 1982. – 256 с.
5. Навчально-методичний посібник до виконання контрольних робіт і самопідготовки студентів біологічного факультету напряму “хімія” денної форм навчання / Укладачі: Л.О.Омельянчик, Л.О.Гаврилова, Н.П. Лашко, Ю.В.Карпенко. – Запоріжжя: ЗНУ, 2013– 89 с.
6. Рогинский Г. А. Дозирование сыпучих материалов / Г. А. Рогинский. – М.: Химия. – 176 с.
7. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

# Секція 6.
# Економічні аспекти аналітичного та екологічного приладобудування

**УДК 542.85; 665.765**

*М.О.Музика, студент гр. ПН-71мп, Н.В. Кулик, студентка гр. ПН-71мп*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ЕКСПРЕС-МЕТРІЯ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ЗАСОБАМИ ОПТИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

***Анотація.*** В роботі представлено методику визначення інформативних показників моторних олив засобами оптичної спектрометрії. Були проведені виміри оптичних показників чистих та відпрацьованих моторних олив на вибраних довжинах хвиль (310 та 345 нм.) електромагнітного випромінювання та було встановлено залежність оптичної щільності зразків моторних олив від кількісного вмісту висококипучих компонентів фенольного ряду.

**Ключові слова:** спектр поглинання, моторна олива, спектрофотометрія, довжини хвиль, експрес метод, феноли, оптична щільність, кінематична в’язкість.

## ВСТУП

Ефективність експлуатації транспортних засобів можна оцінити по собівартості здійсненої ними роботи, яка залежить від витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на ремонт та технічне обслуговування. Знижуючи ці витрати шляхом оптимізації строків заміни моторної оливи, можна значно підвищити ефективність експлуатації рухомого складу, одночасно із цим підвищуючи їх експлуатаційну надійність.

Ресурс та надійність двигунів в значній мірі залежать від того, в якій мірі використовувана моторна олива по всім характеристикам відповідає в даних експлуатаційних умовах потрібним вимогам. Фахівці по мастильним матеріалам вважають, що 80% зносу двигуна припадає на останні 20% терміну служби оливи, тому основним завданням є визначення оптимальних інтервалів заміни оливи в двигуні [1].

## ОГЛЯД **ПОПЕРЕДНІХ** РОБІТ

В процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння автотранспортного засобу моторна олива зазнає ряд складних фізико-хімічних змін, в результаті чого її основні експлуатаційні властивості погіршуються і вона підлягає заміні. Важливою причиною погіршення експлуатаційних характеристик моторних олив є зменшення їх диспергуюче-стабілізуючих властивостей при роботі в розжареному середовищі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Під час температурних процесів збільшується її кінематична в'язкість (визначається при 100$^{o}$C і невисоких швидкостях зсуву від 20 до 100 $c^{-1}$) в результаті випаровування легких фракцій оливи, накопичення продуктів неповного згоряння палива у вигляді сажі і появи продуктів окислення. Іншою причиною зміни якісних показників моторних олив є кількість нерозчинного осаду що визначає інтенсивність надходження в оливу продуктів неповного згоряння палива, частинок зносу, пилу, спрацьовування присадок. Дана характеристика моторної оливи придатна до діагностики оптичними методами або при вимірюванні діелектричної проникності зразків. Для визначення часток зносу застосовують методи нейтральної активації, спектрального аналізу, радіоактивних ізотопів.

В багатьох роботах розглядаються питання строків заміни моторної оливи, дослідження зміни її фізико-хімічних властивостей та терміну експлуатації за фактичним станом, а також описується інструментальне та методичне забезпечення вимірів .В роботах О.О. Сасова, С.М. Янчука, Еригоров А.Б. [1-2] описано методи перевірки експлуатаційних властивостей моторних олив що визначають їх окремі характеристики, а саме: забрудненість механічними домішками, в'язкість, кислотне число, температура спалаху. В роботі Долгова Л.А., Салмін В.В. проаналізовано методику визначення показників якості моторної оливи на основі теорії подібності [3]. В роботі Долгова Л.А., Жаткін С.А. запропоновано розробку математичної моделі процесу старіння моторної оливи [4].

Із перерахованих вище методів визначення кількісних та якісних характеристик моторних олив можна виділити методи визначення оптичних характеристик досліджуваних зразків, що потребують мінімальної пробопідготовки, та можуть відповідати методиці експрес-діагностики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки стану моторної оливи ми запропонували метод порівняння оптичної щільності нової оливи і відпрацьованої в робочому діапазоні 310 та 345 нм, що відповідає діапазону поглинання висококипучих компонентів моторної оливи фенольного ряду (нафтові алкілфеноли, алкілфенолят лужноземельних металів, та ін). Дані сполуки містяться у складі як мінеральних моторних олив, отриманих простою температурної відгонкою масляних фракцій із сирої нафти, так і у складі дорогих синтетичних та напівсинтетичних марок моторних олив, у вигляді пакету присадок і полімерних модифікаторів в'язкості (алкіларил дитіофосфату цинку, сірчисті сполуки алкілфенолів кальцію, та ін.) [5,6].

Головне завдання висококипучих компонентів моторних олив – забезпечити утворення нерозривного мономолекулярного покриття на розжарених компонентах деталей ДВЗ, що необхідно для зменшення сил тертя що діють на рухомі елементи ДВЗ, та є теплоносієм, що сприяє тепловідведенню надмірного тепла із робочої зони ДВЗ.

По виміряним показникам оптичної щільності нової і відпрацьованої оливи оцінювали диспергуюче-стабілізуючі властивості моторної оливи та її в’язкісно-температурні характеристики, і відповідно, ступінь її відпрацювання. З метою визначення залежності зміни вмісту висококипучих компонентів моторних олив фенольного ряду від пробігу автомобіля були проведені дослідження оптичної щільності зразків моторних олив марок Nanoprotec Engine Oil 5W-40 та THK Magnum Motor Plus 10W-40.У якості джерела відпрацьованої оливи було використано ДВЗ та маслосистему легкового автомобіля Citroen C5 2.0 (EW10D) 2003 р.в.у якому було використано дані моторні оливи по черзі. При проведенні пробопідготовки, із маслосистеми легкового автомобіля Citroen C5 2.0 було відібрано 5 проб кожної оливи під час проведення технічного обслуговування, що відповідали пробігу 3500±10 км,

7000±10 км та 10000±10 км пробігу відповідно, з моменту початкової заміни усієї оливи в маслосистемі даного автомобіля.

Дослідження оптичної щільності моторної оливи проводились за допомогою вимірювального засобу «Сенсор-Л» здатного до вимірювання коефіцієнту пропускання зразків у рідкій фазі відповідно до закону Бугера-Ламберта-Бера, що виражається наступною формулою [6]:

$$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l}$$

де $I(l)$ – інтенсивність світла що пройшло через шар речовини товщиною $l$, $I_0$ – інтенсивність вхідного світлового потоку, $k_\lambda$ – показник поглинання, що визначається властивостями речовини і в загальному випадку залежить від довжини хвилі λ поглинутого світла.

В результаті, було отримано експериментальні залежності зміни оптичних показників моторних олив від кількісного вмісту висококипучих компонентів фенольної природи у зразках, що зображено на рис. 1.

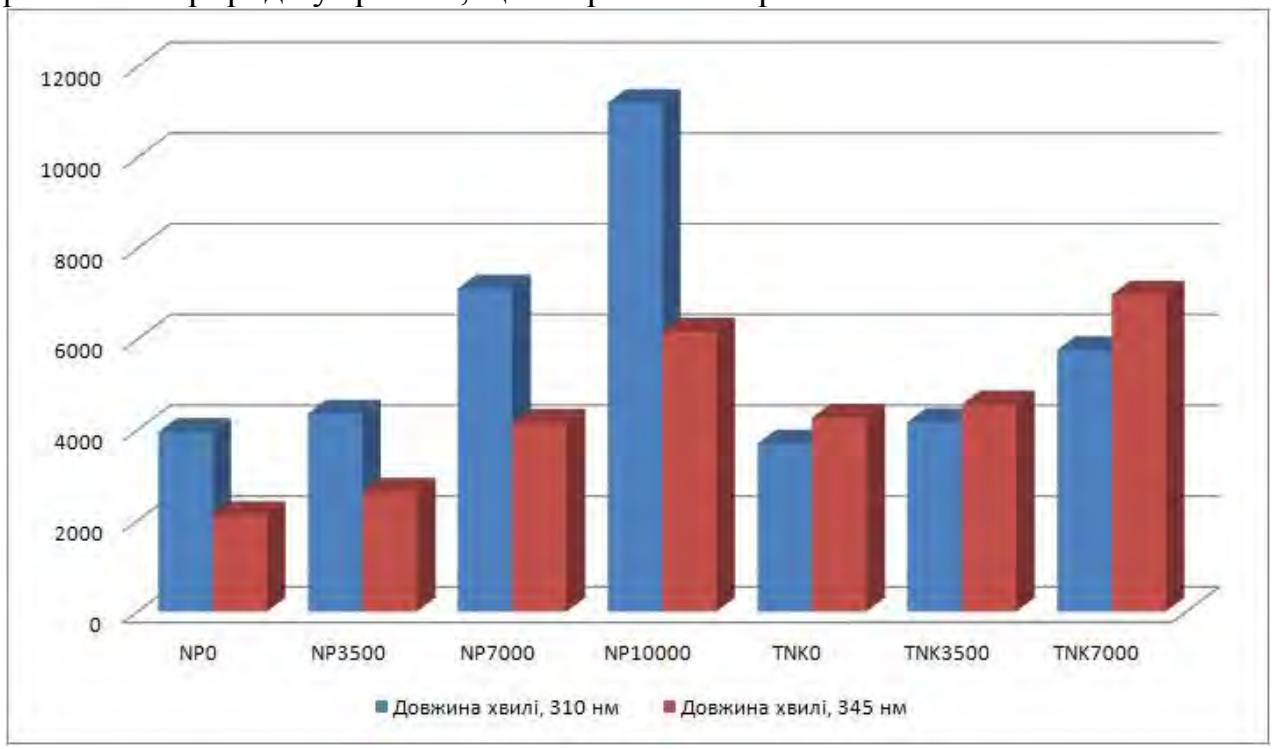



Рисунок 1. Порівняльна характеристика оптичної щільності чистих та відпрацьованих моторних олив по вибраним хімічним компонентам на довжинах хвиль 310 та 345 нм.

З рисунку 1 видно, що оптична щільність досліджуваних зразків на вибраних довжинах хвиль зменшується зі збільшенням пробігу автотранспортного засобу, що може говорити про вигорання у зразках фенольних в’яжучих компонентів, які необхідні для забезпечення експлуатаційних характеристик моторних олив.

ВИСНОВКИ

Резюмуючи проведений огляд матеріалів по досліджуваній темі та проаналізувавши отримані статистичні дані, можна стверджувати, що

застосований метод контролю експлуатаційних характеристик моторних олив по їх відносним показникам поглинання є перспективним в умовах лабораторії та технічного обслуговування транспортних засобів.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Сасов О.О. дослідження зміни фізико-хімічних властивостей моторних мастил та визначення їх терміну експлуатації за фактичним станом /О.О. Сасов, С.М. Янчук //Перспективні технології та прилади. – 2016.– Вип.8. – С.116-122.

2. Еригоров А.Б. Уточнение сроков смены моторных масел при их эксплуатации в автобусах «Богдан-А091» и «ПАЗ-4234». /А.Б. Еригоров, С.И.Наглюк, П.В. Карножицкий //Журнал «Автомобильный транспорт». – Вып № 23 – 2008. – 4 с.

3. Долгова Л.А. Методика определения показателей качества моторного масла на основе теории подобия /Л.А. Долгова, В.В. Салмин// Современные научные исследования и инновации. 2015. – № 2. – Ч.2 – С.27-34.

4. Долгова Л.А. Разработка математической модели процесса старения моторного масла. /Л.А. Долгова, С.А. Жаткин// Современные научные исследования и инновации. – 2015 – № 3. (Ч. 1) – С.63-66.

5. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений: учебное пособие (для студентов, обучающихся по специальности «химия»). – Горно–Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. – 95 с.

6. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии(Структурные методы и оптическая спектроскопия).М.: Высш. школа,1987, – 367с.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач, Таранов В.В.***

.

**УДК 621.383.51**

*О.А. Прищепа, студентка гр.ПН-з71мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРОННОГО ПОМНОЖУВАЧА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНТНИХ ДЕФЕКТІВ КРЕМНІЄВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

***Анотація.*** В роботі представлено результати досліджень дефектів кремнієвих сонячних елементів, яким притаманний ефект світіння у видимому діапазоні при подачі зворотної напруги, на основі застосування фотоелектронного помножувача. Розроблено лабораторний стенд та отримано залежність вихідного сигналу фотоелектронного помножувача від імпульсної напруги на сонячному елементі.

***Ключові слова:*** сонячний елемент, фотоелектронний помножувач, електролюмінісценція.

## ВСТУП

Електролюмінесценцію збуджують в деяких дефектах кремнієвих кристалічних пластин при подачі на них зворотної напруги від 4 до 20 В [1]. Дані дефекти виникають на етапах виготовлення фотоелектричних сонячних батарей, зокрема при нанесенні алюмінієвих шин на поверхню сонячного елементу. Особливістю світіння дефектів є видимий діапазон випромінювання та малі розміри (від 1 до 20 мкм). Дослідження видимих електролюмінісцентних дефектів сонячного кремнію досі було зосереджено на передпробійному типі випромінювання, яке виникає при критично високих напругах (до 30 В і вище), має значно більший розмір осередків світіння (від 100 до 1000 мкм і більше).

На нашу думку, причиною люмінесценції в нашому випадку є тунельний ефект в поверхневому нано-шарі кремнію. Дослідження цього явища має науковий інтерес з точки зору вдосконалення технології виготовлення фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ), а також створення нових світлодіодних структур.

## КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виявлення видимих електролюмінісцентних дефектів сонячних елементів, їх візуалізація, вимірювання їх параметрів та характеристик є предметом наукових досліджень кафедри НАЕПС [2-4]. Зокрема, були досліджені телевізійним методом мікродефекти ФЕСБ потужністю 30 Вт, для чого на неї подавали високу зворотну напругу в 1000 В від спеціально розробленого каскадного джерела живлення. У виробництві використовують даний режим при тестових випробуваннях ФЕСБ на появу деградації після 72 годин тримання під високою напругою (Power Induced Degradation Test – PID-Test) [5-6].

Електролюмінісценція дефектів кремнієвих сонячних елементів у інфрачервоному діапазоні випромінювання досліджується в роботах [7-9].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним методом збудження дефектів в кристалічних кремнієвих сонячних пластинах і елементах є пропускання через них зворотного темнового струму. При цьому окрім їх нагрівання внаслідок виділення тепла Джоуля

відбувається також світіння мікродефектів у видимому діапазоні випромінювання. Для дослідження даних дефектів був розроблений та виготовлений лабораторний стенд (Рис. 1) на основі фотоелектронного помножувача (ФЕП).

Рисунок 1. Лабораторний стенд для дослідження люмінесцентних мікродефектів кремнієвих сонячних елементів: використано ФЕП типу 86 та MOSFET типу IPF1010N

Для лабораторного стенду (Рис. 1) було спеціально розроблене та виготовлене високовольтне джерело стабілізованої напруги -969 В, яку подають на систему катодів ФЕП. При цьому нестабільність напруги дорівнює ±1В або ±0,1%. На дільнику напруги вимірюють анодний струм ФЕП за допомогою цифрового осцилографа Tektronix TDS1002. Осцилограми зберігають у пам'яті типу Flash у вигляді рисунків або таблиць Excel, що дозволяє надалі обробляти результати вимірювань на персональному комп'ютері. Для відокремлення постійної складової сигналу застосовано імпульсну модуляцію протікання струму через сонячний елемент. Коло модуляції утворюють несиметричний мультивібратор та дільник частоти на 10 із формуванням імпульсів частотою 700 Гц та шпаруватістю 10. Транзисторний ключ (MOSFET) подає імпульсну зворотну напругу на дефектний сонячний елемент.

Сонячний елемент захищено подвійним екраном. Подвійне екранування дозволило позбавитись фонового засвічування ФЕП і прилад на виході почав видавати сигнал виключно від джерела світіння – мікродефекту сонячного елементу (Рис. 2).

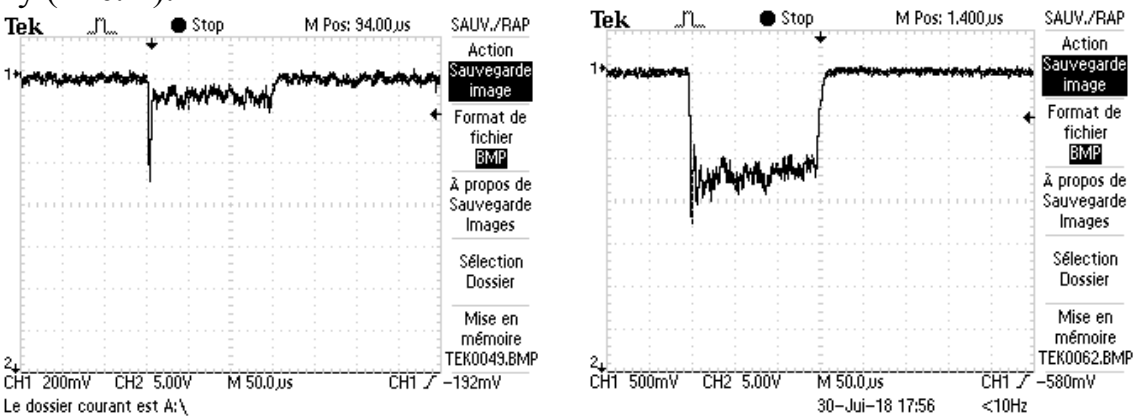



Рисунок 2. Осцилограми вихідного сигналу ФЕП при різному значенні імпульсної зворотної напруги на сонячному елементі: а) 6 В: б) 10 В

За результатами вимірювань була отримана залежність напруги на резистивному дільнику з виходу ФЕП, яка пропорційна до фотоструму, від імпульсної напруги на сонячному елементі (Рис. 3).

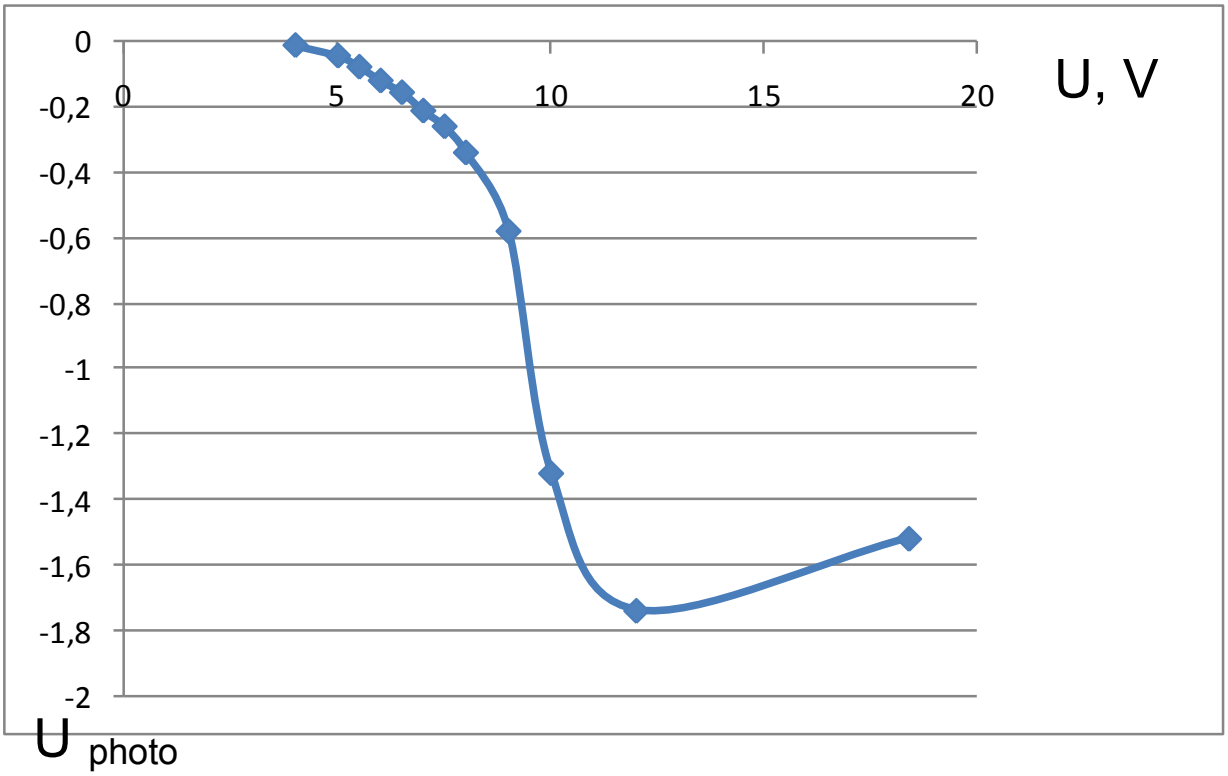



Рисунок 3. Залежність вихідної напруги ФЕП (яка є пропорційна до фотоструму) від імпульсної напруги на сонячному елементі

В залежності (Рис. 3) доводить наявність порогу світіння (приблизно 4,5 мікродефекту кремнієвого сонячного елементу, а також ефекту насичення світіння при напругах, які більші за 12 В. Зазначимо, що фотострум ФЕП лінійно залежить від світлового потоку джерела випромінювання.

Наступні дослідження мають бути зосереджені на визначенні світлової віддачі мікродефекту, який по суті утворює при поданні зворотної напруги, тунельну світлодіодну структуру.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень був розроблений лабораторний стенд для фотоелектричних вимірювань параметрів випромінювання електролюмінісцентних дефектів кремнієвих сонячних елементів у видимому діапазоні. Стенд має підвищений захист від засвічування у вигляді подвійного екрану. Це дозволило практично позбавитись від фонового сигналу. Виявлено поріг ефекту та зону насичення в результаті аналізу отриманої залежності вихідного сигналу фотоелектронного помножувача від величини імпульсної зворотної напруги на сонячному елементі.

Наступні дослідження дефектів дозволять керувати процесом утворення дефектів з метою отримання нових високоефективних світлодіодних структур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попов В.М. Локальные свойства электрически активных дефектов в солнечных батареях на основе кремния. /В.М. Попов, А.С. Клименко, А.П. Поканевич, Ю.М. Шустов, И.И. Гаврилюк, А.И. Панин. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, №4. – 2010. – С.43– 48.

2. Порев В.А. Исследование люминесцирующих дефектов солнечных панелей [Текст] /В.А. Порев, Р.И. Пахалюк, К.М. Божко //Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. –2014. –№1. – С. 11-14.

3. Пахалюк Р.І. Візуалізація дефектів кремнієвих фотоелектричних сонячних батарей [Текст] /Р.І. Пахалюк, К.М.Божко //Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси – 2014. – Вип. 40. – С. 3 – 7.

4. Bozhko K. The role of the solar power industry in sustainable development of society. [Текст] /K. Bozhko. //Sustainable Development: Social and Economic Changes. Monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 2016. – P. 36 – 42.

5. Fraunhofer ISE. Jahresbericht 2014/15 [Текст] . – Freiburg: Fraunhofer Publ. – 2015. – 156 p.

6. Luque A. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering [Текст] /A. Luque, S. Hegedus . – New York.: Wiley. – 2003. – 1180 p.

7. Haunschild J. Fast series resistance imaging for silicon solar cells using electroluminescence. /J. Haunschild, M. Glatthaar, M. Kasemann and others // Phys. Stat. Sol. RRL. – 2009. – № 3. – P. 227 – 229.

8. Breitenstein O. Quantitative evaluation of electroluminescence images of solar cells. /O. Breitenstein, A. Khanna, Y. Augarten and others //Phys. Stat. Sol. RRL. – 2010. – № 4. – P. 7 – 9.

9. Wang Y. Research to the typical defects of crystalline silicon photovoltaic cells based on EL images /Y. Wang, Z. Haipeng, S. Dengyan. International Journal of Energy Sciens (IJES), 2013, Vol. 3 – Is 3. – P. 200 – 204.

***Наук. керівник – к.т.н., ст.викладач, Божко К.М.***

**УДК 621.383.51**

*В.В. Старовіт, студент гр. ПН-71мп, к.т.н., ст. викл. Божко К.М.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

***Анотація.*** Розглянуто існуючі класифікації методів вимірювання вольт-амперних характеристик напівпровідникових приладів, на основі цього запропоновано нову класифікацію із виокремлення одноімпульсного (моно-), двоімпульсного (ди-) та багатоімпульсного (полісигналів) імпульсних методів вимірювання, що можуть бути застосовані при виробництві та експлуатації фотоелектричних сонячних батарей.

***Ключові слова:*** вольт-амперна характеристика, фотоелектрична сонячна батарея, напівпровідникові елементи, вимірювальний комплекс.

## ВСТУП

Розвиток альтернативних джерел енергії з кожним днем глобалізується, не винятком є і Україна. Зокрема, динаміка розвитку сонячної енергетики породжує пошуки ефективних методів впровадження використання систем даного виду (сонячних батарей) із забезпеченням відповідного технічного обслуговування, а саме засобів вимірювання та перевірки контролю енергетичних компонентів даної системи. Важливе місце посідає контроль елементів найпоширенішого вуду сонячних батарей – фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ), що полягає у вимірюванні струму та напруги з метою формування залежності струму від прикладеної напруги, що дістала назву вольт-амперної характеристики (ВАХ).

Для отримання достовірної оцінки характеристик ефективності роботи ФЕСБ необхідно обрати правильний метод вимірювання відповідно до виду сонячних батарей, їх фізичних властивостей та інших умов. Тому було розроблено нова класифікація методів вимірювання вольт-амперних характеристик сонячних батарей на основі класифікації методів вимірювання ВАХ напівпровідникових елементів, оскільки до складу останнії, безпосередньо, також відносяться сонячні батареї.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оглянувши літературні джерела [1-3] було зроблено висновки, що вимірювання ВАХ може проводитися різнмим методами, *зокрема із негативним диференціальним опором*, *з урахуванням контролю теплового стану приладу*, *з використанням математичних обчислень, з статистичною обробкою* та *за допомогою вимірювальних комплексів* [1]. Всі вищеописані методи за характером вимірювання поділяються на безперервні (статичні), імпульсні (динамічні) та комбіновані (змішані)

Залежно від інерційності вимірювальних засобів, а також швидкості і характеру поданих впливів методи вимірювання ВАХ поділяються на *статичні*, *динамічні* і *квазістатичні*, а за ступенем автоматизації – на *автоматичні* та *ручні* [4].

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Досить часто на виробництвах та в експлуатації виникає необхідність перевірити ФЕСБ на придатність та визначити її основні характеристики і побудувати ВАХ. Сьогодні одим із рішень даної проблеми є використання надмірно дорогих вимірювальних комплексів різних типів, що надають достовірні вихідні дані про стан об'єкту контролю (сонячної батареї) чи системи із напівпровідникових елементів в цілому. Тому на основі проведеного аналізу методів отримання вольт-амперних характеристик для напівпровідникових приладів, було розроблено нову класифікацію імпульсних методів вимірювання ВАХ ФЕСБ, що дозволяє обрати найдоцільніший метод в залежності від характеристик елементів сонячних батарей та заданих умов при вимірюванні (характеру вимірювальних впливів), що виникають, безпосередньо, в процесі вимірювання ВАХ.

Оскільки було виявлено основний недолік безперервних методів вимірювання ВАХ, який полягає у тому, що струм постійно протікає в ФЕСБ, що призводить до збільшення його амплітуди, внаслідок чого відбувається накопичення тепла в сонячному елементі. У свою чергу, це призводить до викривлення ВАХ і виникнення похибок, зокрема методичної. Для усунення цієї проблеми було розроблено нові види імпульсного методу (рис.1).

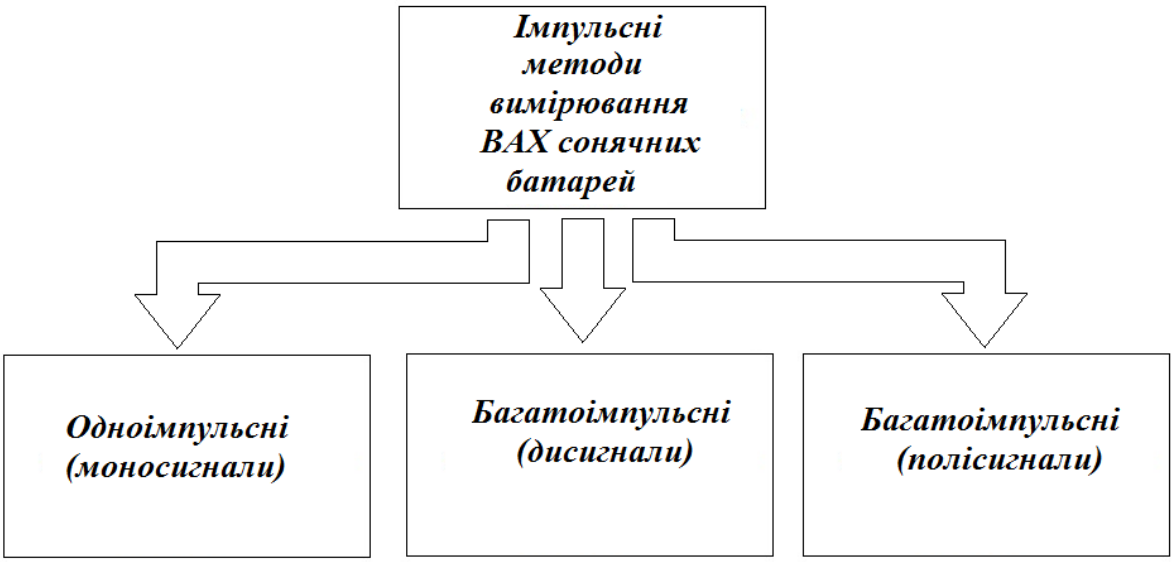



Рис.1. Класифікація імпульсних методів вимірювання ВАХ сонячних батарей.

Одноімпульсний метод полягає у вимиріюванні ВАХ із заданням характеристик сигналів, як основних (амплітуди, частоти), так і додаткових (форми, тривалості, такту та ін.) оскільки різні системи вимірювання дозволяють формувати імпульсі послідовності з різною тривалістю імпульсів та пауз між ними (від декількох сотень мілісекунд). Суть методу полягає у виборі одного параметру (напруги чи струму), при чому з наперед відомим іншим сигналом, а також у регулюванні імпульсної послідовності для найбільш ефективного вимірювання ВАХ.

Двоімпульсний метод вклюває в себе отримання характеристик ФЕСБ за двома вхідними сигналами (напруги чи струму) із використанням аналого-цифрового перетворювача та підсилювача, з подальшим формуванням ВАХ.

Багатоімпульсний метод полягає у одночасному зчитуванні багатьох імпульсних сигналів та їх переданні по багатоканальному модулі з використанням фільтрів. Наприклад, з використанням датчиків різного типу, зокрема датчика Холла [6].

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу було проаналізовано переваги і недоліки різних методів отримання вольт-амперних характеристик сонячних батарей та на основі цьтого розроблено підкласи імпульсниого методу, що дозволить зменшити похибки при вимірюванні, мінімізувавши вплив вимірювального сигналу на об'єкт вимірювання. Розглянуті підвиди імульсного методу отримання ВАХ можуть бути впроваджені як на виробництві, так і при експлуатації сонячних електростанцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Е.А. Ермоленко. Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / Е.А. Ермоленко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2014. — № 2-3. — С. 3-11. — Бібліогр.: 37 назв. — рос.

2. К.М. Божко. Вдосконалення методів та засобів контролю дефектів фотоелектричних сонячних батарей. дис….к.т.н. 05.11.13 / Божко Костянтин Михайлович. 2016. – 180 с.

3. Р.В. Зайцев. Розроблення системи автоматизації вимірювань параметрів напівпровідникових приладів / Зайцев, Р.В.; Кіріченко, М.В. // Вісник чернігівського державного технологічного університету ТЕТУ № 2 (78), 2015. – 242 с.

4. Е.А. Ермоленко. Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов [Текст] /Е.А. Ермоленко //ТКЭА. – 2014. – №2-3. – С. 3 – 11.

5. А. С. Глінченко. Вивчення параметрів та характеристик напівпровідникових приборів з використанням інтернет-технологій / Глінченко А. С., Єгоров Н. М., Комаров В. А., Сарафанов А. В. Москва, ДМК Пресса, 2008, 352 с.

6. Остафійчук Д.І. Магнітне поле. Магнітобіологія. Магнітобіологія [Текст] /Д.І Остіфійчук, В.В. Волощук, Ю.А. Білобрицький //буковинський медичний вісник. Том 20, №3 (79). – 2016. – С. 215-218.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Божко К.М.***

**УДК 621.383.51**

*М.М. Тарасюк, студент гр. ПН-71мп, К.М. Божко, к.т.н., ст. викл.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВИМІРЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ДАТЧИКОМ ХОЛЛА

***Анотація.*** В роботі описано дослідження на основі вимірювань імпульсного струму сонячних батарей датчиком Холла. Досліджено динамічні параметри датчика Холла у серійному мікроелектронному варіанті конструкції. Результати досліджень можуть бути застосовані при створенні незалежного каналу вимірювання струму при отриманні вольт-амперних характеристик.

***Ключові слова :*** вольт-амперна характеристика, фотоелектрична сонячна батарея, датчик Холла, імпульсний струм.

## ВСТУП

Сутність ефекту Холла полягає в наступному. Нехай через прямокутну пластину в слабкому магнітному полі B тече електричний струм *I* під дією напруженості електричного поля *E* (рис.1). Сила Лоренца $F_л$ відхиляє носії заряду (електрони) від їхнього руху вздовж або проти електричного поля до однієї з граней пластини. Це призводить до накопичення негативного заряду біля однієї із граней пластини і позитивного - біля протилежної. Накопичення заряду буде тривати до тих пір, поки електричне поле зарядів, яке створює напругу Холла $V_H$, не скомпенсує магнітну складову сили Лоренца [1].

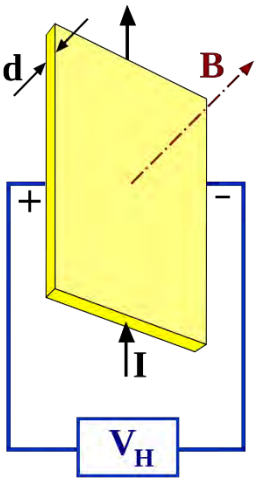



Рисунок 1. Виникнення напруги Холла в прямокутній пластині товщиною *d*

Оскільки сучасні напівпровідникові датчики магнітного поля, які працюють за ефектом (принципом) Холла, мають здатність вимірювати постійний та змінний струм, було поставлено мету застосувати мікроелектронні датчики Холла (серій 494 та 495) для динамічного вимірювання струму фотоелектричної сонячної батареї (ФЕСБ). На відміну від шунтового методу вимірювання, даний метод, що розроблений на основі датчика Холла, забезпечує незалежний інший канал вимірювання при отриманні вольт-амперної характеристики (ВАХ) ФЕСБ. Вирішення поставленої задачі дозволить створити дієву систему моніторингу стану ФЕСБ під час всього терміну експлуатації і підвищити коефіцієнт корисної дії сонячної енергетичної системи в цілому за рахунок оптимального узгодження ФЕСБ із навантаженням.

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТУ ХОЛЛА

На кафедрі НАЕПС проводяться дослідження із вдосконалення імпульсного (динамічного) методу отримання ВАХ сонячних батарей [2]. Продовжити ці дослідження можна, зокрема, і створенням вимірювального каналу струму на датчику Холла. Більш широкі знання у царині фізики і техніки використання ефекту Холла дозволить поширити надбані результати на інші галузі науки, виробництва, медицини тощо.

Огляд найбільш вагомих результатів сучасних досліджень в Україні і в світі, присвячених магнітним явищам і, зокрема, ефекту Холла, можна знайти у монографіях і оглядах, наприклад [3, 4].

Ефект гігантського магнітоопору (Нобелівська премія з фізики за 2007 рік) одразу став основою нового напряму – спінтроніки, яка має логічний виток із ефекту Холла і набула останнім часом бурхливого розвитку [5] . Цей розвиток має привести до більш вдосконалих сенсорів, які будуть виконувати функції датчика Холла.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При отриманні ВАХ сонячних батарей необхідно здійснювати вимірювання напруги і струму по окремим каналам. При імпульсному (динамічному) вимірюванні напруги було запропоновано використання цифрового осцилографу, який також може бути застосований для побудови вимірювального каналу струму з використанням датчика Холла типу SS494B. Цей датчик має лінійний вихід на основі схеми із відкритим колектором і забезпечує вимірювання індукції магнітного поля від 0 до 350 Гаус (від 0 до 35 мТесла).

Також було досліджено чутливість датчика при вимірюванні імпульсного струму від імітатора сонячної батареї, роль якої виконувало джерело на основі блоку живлення типу IBM AT, 400W. Для збільшення чутливості конструкцію датчика доповнили феритовим магнітопроводом. В колі навантаження був включений резистор номіналом 0,33 Ом. Резистор вмикали через ключ MOSFET IRF1010N прямокутними імпульсами тривалістю 430мкс та паузою між ними 3,9 мс.

Амлітуда імпульсу струму (CH1) дорівнювала 13,2 А. При цьому напруга на виході датчика Холла змінювалась на 390 мВ (рис. 2). На осцилограмі каналу вимірювання струму (CH2) помітна високочастотна імпульсна перешкода, яку слід відфільтрувати при наступній обробці сигналу. Вихідна напруга датчика Холла при відсутності магнітного поля дорівнює половині напруги живлення датчика або +4,5 В.

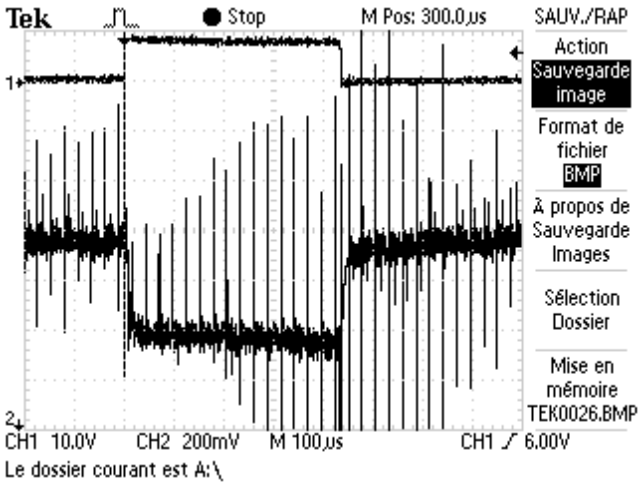



Рисунок 2. Імпульс управління (CH1) та вихідний сигнал сигнал датчика Холла (CH2)

При динамічному вимірюванні ВАХ ФЕСБ важливим параметром є час наростання і спаду вихідного сигналу датчика Холла. Встановлено, що при тривалості імпульсу більшій за 400 мкс датчик Холла серії 494 або 495 придатний для створення каналу вимірювання струму з похибкою 2,5%.

## ВИСНОВКИ

Чутливість датчика Холла, який розташовано у феромагнітному осерді, дозволяє вимірювати струм сонячної батареї в межах від 0,1 до 10 А і більше в імпульсному режимі. Для підвищення чутливості схеми, на нашу думку, необхідно виконувати вимірювання диференційного сигналу який утворюють виходи двох датчиків Холла: вимірювального та контрольного, який розташовують в осередку із відсутнім або екранованим магнітним полем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел [Текст] /А. Анималу – М. :Мир. – 1981. – 576 с.

2. Bozhko K. The role of the solar power industry in sustainable development of society. [Текст] /K. Bozhko. //Sustainable Development: Social and Economic Changes. Monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 2016. – P. 36 – 42.

3. Погорілий А.М. Спінтроніка. Основні явища. Тенденції розвитку [Текст] /А.М. Погорілий, С.М. Рябченко, О.І. Товстолиткін //Український фізичний журнал, Т.6, №1, ISSN 2071-0194. – 2010. – С. 37-97.

4. Остафійчук Д.І. Магнітне поле. Магнітобіологія. Магнітобіологія [Текст] /Д.І Остіфійчук, В.В. Волощук, Ю.А. Білобрицький //буковинський медичний вісник. Том 20, №3 (79). – 2016. – С. 215-218.

5. Лобода В.Б. Ефекти гігантського і анізотропного магнітоопору: демонстрація і вивчення в курсі фізики закладів вищої школи /В.Б. Лобода, Ю.О. Шкурдода, М.Я. Довжик, В.О. Кравченко, С.М. Хурсенко // Журнал нано- та електронної фізики, Том 10, №3, 03016. – 2018. – 8с.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Божко К.М.***

**УДК 621.383.51**

*В.В. Швайко, студент гр. ПН-71, К.М. Божко, канд. тех. наук, старший викладач*

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

# ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ЗБУДЖЕННЯ І КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ

***Анотація.*** В роботі представлено результати розробки стенду для дослідження металевих і напівпровідникових об'єктів на предмет наявності явних і прихованих поверхневих дефектів, які активують збудженням коронного розряду. Схема збудження має покращені характеристики завдяки вибору оптимальних параметрів збуджуючих сигналів. Особливістю конструкції стенду є застосування в газорозрядному пристрої скляного прозорого електроду, на який безпосередньо подають високовольтні імпульси. Стенд може бути використаний при дослідженні дефектів кремнієвих пластин для сонячних елементів.

***Ключові слова:*** коронний розряд; сонячний елемент; прозорий електрод.

## ВСТУП

Коронний розряд застосовують для газорозрядної візуалізації (ГРВ) різних об'єктів, які розміщують в між-електродному просторі. Метою ГРВ є контроль дефектів, над якими утворюється електричне поле з достатньою для збудження корони напруженістю. Доцільно застосувати ГРВ у телевізійних засобах вимірювання (ТЗВ) для контролю дефектів різного роду об'єктів. Представлений у даній роботі лабораторний стенд є однією із перших спроб створити дієвий засіб телевізійного контролю на основі ГРВ. Конструктивні та схемні рішення, які були реалізовані в даній розробці можуть бути розвинені і використані при створенні наступних моделей наукового обладнання.

## КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Позитивна і негативна корона на постійному струмі вивчалася багатьма авторами як самостійне фізичне явище. Відомо, що в коронному розряді виділяються дві області. У тонкому світловому шарі біля електроду корони відбуваються процеси іонізації. В іншому об'ємі світіння відсутнє і в ньому відбувається перенесення заряду до катоду іонами. Процеси іонізації і переносу заряду визначають вольт-амперну характеристику і досить повно відображені в роботах [1-2]. В коронному розряді спостерігається пульсуючий режим, який був вперше вивчений у роботі [3]. Дослідженнями групи авторів було встановлено, що за певних умовах імпульсний режим має місце і в позитивній, і в негативній короні [4-5].

Обчислення вольт-амперних характеристик коронних розрядів для різних умов наведено в роботах [6-7].

На кафедрі НАЕПС останніми роками проведено серію досліджень імпульсного коронного розряду, збудженого за допомогою спеціально розробленого газорозрядного пристрою на основі скляного прозорого електроду. Зокрема, була виявлена тонка високочастотна структура у збудженому сигналі [8] та надано її аналіз.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження коронного розряду об'єктів у твердій та рідкій фазах телевізійними засобами вимірювання нами створено лабораторний стенд, структурну схему якого наведено на рис. 1. Понижена напруга розряду та обмеження постійної складової його струму у 3 мА зменшують ризик короткого замикання та підвищують надійність і безпеку обладнання при його експлуатації.

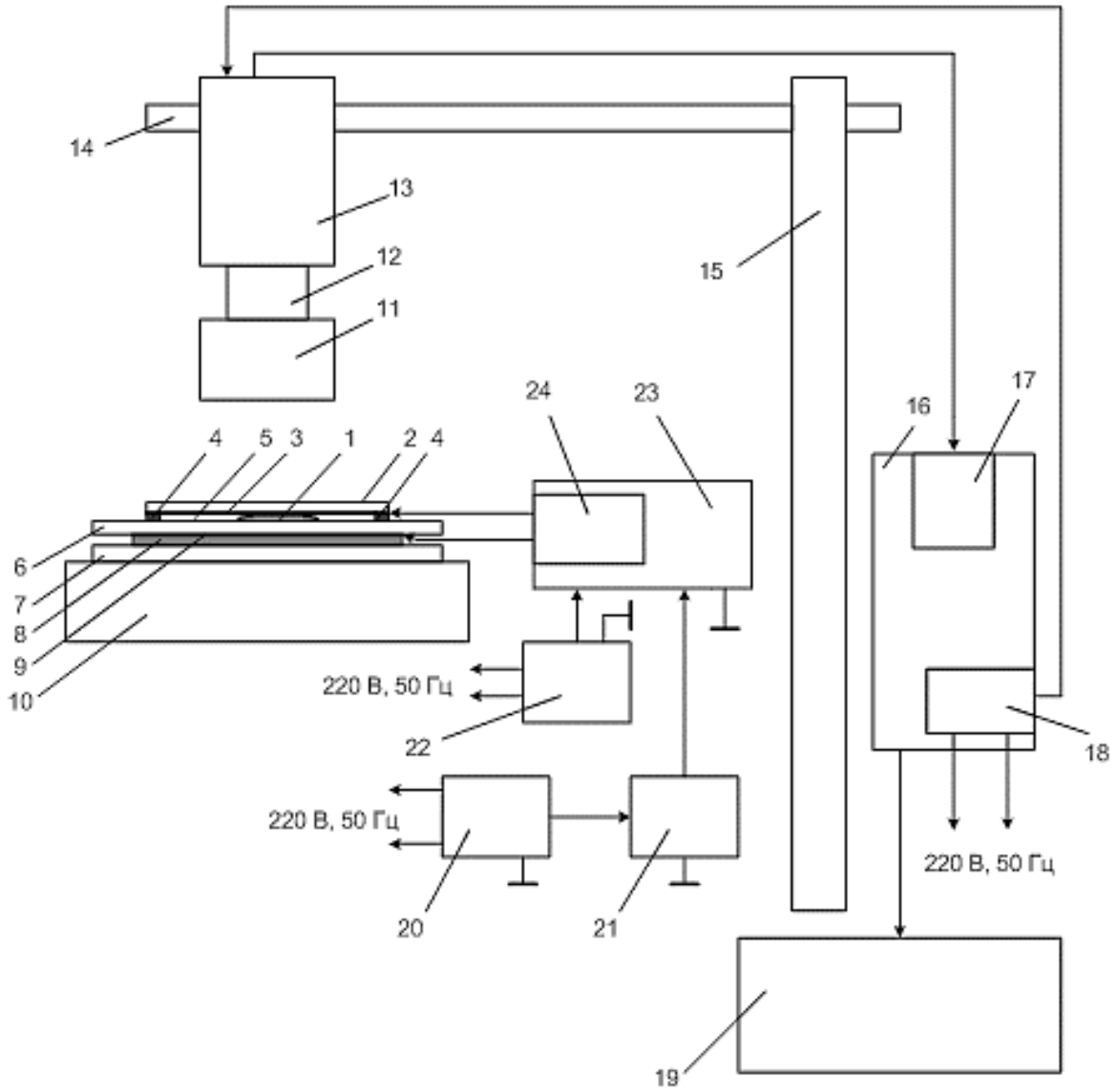



Рисунок 1. Структурна схема телевізійного стенду для дослідження коронного розряду: 1 – об'єкт дослідження; 2 – покрівельне скло; 3 – прозорий електрод (ITO); 4 – суцільні бокові доріжки припою; 5 – повітряний зазор; 6 – скло для електричної ізоляції об'єкту дослідження; 7 – скло для ізоляції нижнього електроду; 8 – склотекстоліт; 9 – нижній непрозорий мідний електрод; 10 – предметний столик; 11 – об'єктив; 12 – оптичні кільця; 13 – телевізійна камера; 14 – рухома балка для кріплення телевізійної камери; 15 – стійка; 16 - персональний комп'ютер; 17 – відеоадаптер із телевізійним входом; 18 – блок живлення АТХ; 19 – монітор; 20, 22 – лабораторне джерело живлення; 21 – генератор імпульсів управління; 23 – формувач імпульсів високої напруги; 24 – вихідний трансформатор

В конструкції цього стенду використано скляну касету, де верхня поверхня має бути , обов'язково прозорою. На нижню сторону покрівельного скла буде покладено прозорий електрод (.ITO). А Нижня поверхня касети навпаки повинна бути непрозорою, тому що для проходження світла перешкоджає інший електрод, який в свою чергу, утворився через пластину фольгованого текстоліту марки СТ-1-50. Касету ми можемо приводити в рух за допомогою ручних приводів предметного столика. Електроди, в свою чергу, розділені допоміжною фотопластиною, вона працює як ізолятора. Інша скляна пластина ізолює наступний електрод від предметного столика, на якому знаходиться касета.
Під час подачі на електроди касети високочастотних імпульсів високої напруги виникає тип газового розряду , який називають коронним розрядом, його конфігурація показує топологічні якості об'єкту дослідження. Електронно-Оптична система у численні об'єктиву, оптичних кілець та телевізійної камери типу Novus NVC-130BH у процесі закріпляє зображення коронного розряду та змінює в телевізійний композитний сигнал (аналогового типу). В розрядних нитках густина і яскравість постійно вища в місцях недоліків та загострень поверхні об'єкту.

Телевізійна камера належно отримує живлення від блоку живлення АТХ персонального комп'ютера. Монітор відповідно забезпечує виведення на екран зображення та результати вимірювання в числовій та графічній формі. Телевізійний сигнал, який за підтримки радіочастотного коаксіального кабелю виду (РК-70), що прямує до телевізійного входу звукоприймача різновиду Aver TV, що установлений ,належним чином, в місце для материнської плати виконуючого комп'ютера (ПК).

Спеціальне програмне забезпечення OWLEYE дає змогу нам визначати площі перерізаних зображень, циклічні заміри яскравості досліджуючого матеріалу по відокремлених пікселах. Заміри яскравості проводяться в відносних одиницях.

## ВИСНОВКИ

Поєднання в одному комплексі методу газорозрядної візуалізації та телевізійного контролю дозволив створити потужний засіб для активації і контролю поверхневих дефектів провідних об'єктів, зокрема фотоелектричних сонячних елементів. Подальші розробки мають бути зосереджені на вдосконаленні конструкції і оптимізації схемних рішень з метою створення універсального приладу контролю. Застосування майбутній прилад може знайти в машинобудівному виробництві різної продукції, зокрема, фотоелектричних сонячних батарей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kossyi I.A., Kostinsky A.Y., Matveyev A.A., and Silakov V.P. Kinetic Scheme of the Nonequilibrium Discharge in Nitrogen – Oxygen Mixtures [Текст]// Plasma Sources Sci. Technol., 1 (3), 207-220 (1992).

2. Morrow R. Theory of negative Corona in Oxygen [Текст]// Physical Review A 32 (3) 1799-1809 (1985).

3. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Каральник В.Б.,Трушкин Н.И. Пульсирующий режим отрицательной короны в азоте [Текст]// Физика плазмы. – 2001. – Т. 27. – № 6. – С. 550-562.

4. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Дерюгин А.А., Напартович А.П., Панькин М.В., Трушкин Н.И. Интегральные и локальные характеристики протяженной положительной короны в воздухе в режиме нелинейных колебаний [Текст] // Физика плазмы. – 1999 . – Т. 25. -№ 11. – С. 941-951.

5. Lowke J.J., Morrow R. Theory of Electric Corona Including the Role of Plasma Chemistry [Текст] // Pure and Appl. Chem, 66 (6), 1994, 1287–1294.

6. Bucella, C. Computation of V-I Characteristics in Electrostatic Precipitators [Текст]// J. Electrostatics, 1996, p.37, 277–291.

7. Божко К.М. Особенности тонкой структуры импульсного коронного разряда [Текст] /К.М. Божко, В.П. Маслов, И.В. Морозова, В.А. Порев, С.Ю. Сидоренко, А.Д. Руденко //East European Scientific Journal (Poland), №10. – 2016. – С.118-223.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Божко К.М.***

**УДК 621.383.51**

*В. С. Шуляк, студент гр. ПН-71мп*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ТЕПЛОВЕ ПОЛЕ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ ПРИ ПРОТІКАННІ ЗВОРОТНОГО ТЕМНОВОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ВОЛЬТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА

***Анотація.*** В роботі представлено результати досліджень вольт-амперних характеристик сонячних елементів на основі полікристалічного кремнію, а також їх теплових полів, отриманих методом інфрачервоної термографії. Теплові поля утворювались на поверхні внаслідок протікання зворотного темнового струму від зовнішнього джерела і виділення тепла Джоуля в сонячному елементі. Встановлено зв'язок між характером теплового поля сонячного елемента і формою його вольт-амперної характеристики.

**Ключові слова:** вольт-амперна характеристика; інфрачервона термографія; коефіцієнт корисної дії; фотоелектрична сонячна батарея.

## ВСТУП

Технологічні ланцюжки виробництва фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ) наразі добре відпрацьовані на основі результатів наукових досліджень фотовольтаїки останніх десятиліть [1]. Проте, підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) ФЕСБ або принаймні його збереження на заявленому рівні під час тривалого терміну експлуатації залишається нагальною проблемою. Явні і приховані дефекти різної природи притаманні кожному сонячному елементу і вони можуть суттєво впливати на процеси деградації сонячного елементу і, наприкінці, призводити до зменшення ККД всієї ФЕСБ на кілька відсотків (наприклад, з 14% до 10%, що стає причиною передчасного виведення ФЕСБ із експлуатації). Таким чином, дослідження дефектів різної природи, динаміки їх розвитку під час терміну експлуатації ФЕСБ та характеру впливу на її ККД залишаються актуальними науковими задачами, вирішення яких сприяє подальшому розвитку сонячної енергетики в Україні і в усьому світі.

## КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дефекти сонячних елементів типу «гарячих зон» (Hot Spots) фундаментально досліджені методом інфрачервоної термографії (ІЧТ), зокрема, в роботах [2-3].

Виявлення дефектів сонячних елементів природи, їх візуалізація різними методами та засобами, вимірювання їх параметрів та оцінювання їх впливу на експлуатаційні параметри і характеристики як окремого сонячного елементу, так і батареї в цілому, складають проблематику наукових досліджень кафедри НАЕПС [4-6].

В даній роботі нами вирішується задача дослідження зв’язку між параметрами «гарячих зон», виявлених методом ІЧТ, та ККД сонячних елементів, який отримають на основі їх вольт-амперних характеристик (ВАХ). Результати досліджень можуть бути використані при виробництві ФЕСБ, а також при їх експлуатації.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним методом збудження дефектів в кремнієвих сонячних пластинах і елементах є пропускання через них зворотного темнового струму та їх нагрівання внаслідок виділення тепла Джоуля. Візуалізація теплового поля відбувається застосуванням методу ІЧТ.

ККД сонячного елементу визначають на основі виміряної ВАХ. В лабораторії кафедри НАЕПС були виміряні ВАХ чотирьох зразків сонячних елементів на основі кристалічного кремнію (рис.1).

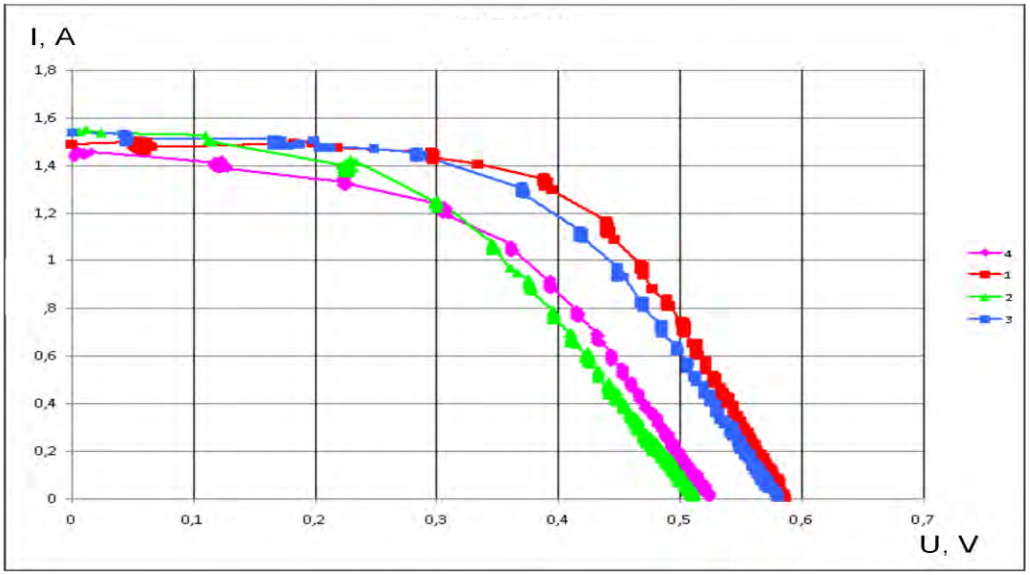
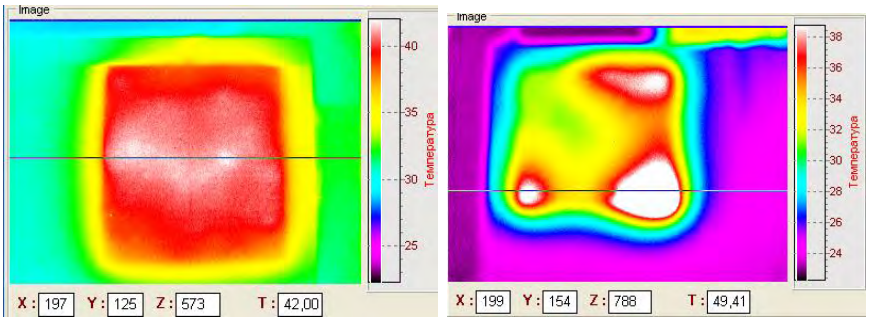


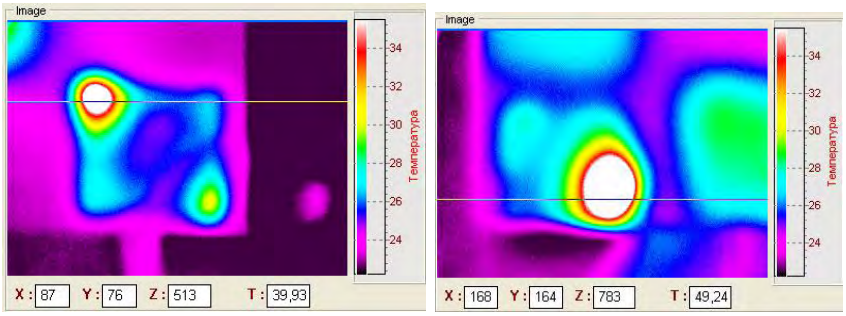

Рисунок 1. ВАХ зразків кремнієвих сонячних елементів

За результатами вимірювання ВАХ був розрахований ККД кожного із чотирьох зразків сонячних елементів. Встановлено, що ККД знаходився в межах від 12% (зразок №4) до 14% (зразок №1).

Методом ІЧТ були отримані теплові поля даних зразків після нагрівання їх від зовнішнього джерела потужністю 6 Вт. На зображеннях теплового поля сонячних елементів координати X та Y задано у пікселах, а температура наведена як у відносних одиницях Z , так і у градусах T за шкалою Цельсія (рис. 2).




а) б)




в) г)

Рисунок 2. Теплові поля зразків сонячних елементів: а) - №1; б) - №2; в) - №3; г) - №4

На зображеннях теплового поля сонячних елементів координати X та Y задано у пікселах, а температура наведена як у відносних одиницях Z , так і у градусах T за шкалою Цельсія.

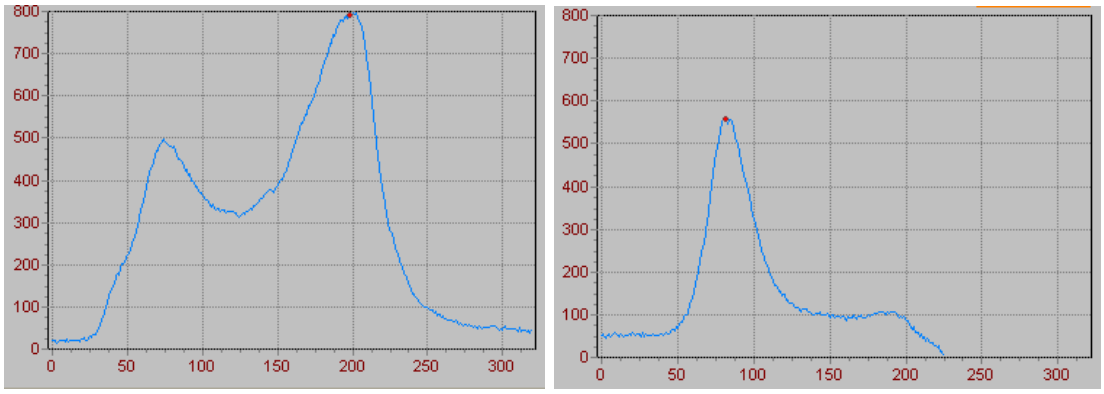
Зразок №1 має однорідне теплове поле із середньою температурою 39± 0,5 град (рис. 2,). Максимальна температура дорівнює 42 град.

Зразок № 2 має великі неоднорідності теплового поля на поверхні, при максимальній температурі 50 град .

Зразок №3 має відносно невеликі за площею зони дефектів (до 5% від загальної площі) з температурою до 40 град.

Зразок №4 має дефектну зону, яка складає більше 20% від загальної площі поверхні сонячного елементу. Температура в зоні дефекту сягає 50 град.

При дослідженні теплового поля сонячних елементів методом ІЧТ також були побудовані залежності температури у горизонтальному перерізі. На рисунку 3 наведені профілі температури теплового поля сонячних елементів із значним градієнтом температури в дефектних зонах.




а) б)

Рисунок 3. Профіль температури у горизонтальному перерізі теплового поля: а) – зразок №2; б) – зразок №3; температуру наведено у відносних одиницях, а координату X – у пікселах

Градієнт температури дефектних зон перевищив 1 градус/піксел або 0,5 град/мм в горизонтальному перерізі (за координатою X). Аналогічний результат отримали і в перерізі за координатою Y.

## ВИСНОВКИ

Порівняльний аналіз теплових полів сонячних елементів та пошук їх кореляції із формою ВАХ дозволяє нам стверджувати, що:

—зразки із рівномірним тепловим полем мають найбільш наближену до прямокутної форми ВАХ (зразок №1), що відповідає найбільшому ККД;

—нерівномірність теплового поля із відносною площею «гарячої зони» більше 10% від загальної площі поверхні сонячного елементу свідчить про зниження ККД на 2% і більше; при цьому ВАХ має характерний «завал» і більш відрізняється від прямокутної форми;

—значне перегрівання зони дефекту (до 50 градусів за Цельсієм і більше) також має кореляцію із «завалом» ВАХ і зниженням ККД;

Встановлено, що зразкам, які мають дефекти, притаманне неоднорідне теплове поле із градієнтом температури 0,5 град/мм і вище. При цьому коефіцієнт корисної дії зменшувався з 14% до 12%.

Наступною науковою задачею постає вдосконалення методу вимірювання геометричних розмірів зображень теплового поля дефектних зон сонячних елементів та розрахунку теплової потужності дефектів, що надасть дієвий критерій для контролю якості ФЕСБ під час їх виробництва, продажу або експлуатації.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf
2. Breitenstein O. Lock-in Thermography – Basics and Use for Evaluating Electronic Devices and Materials. [Текст] /O. Breitenstein, W. Warta, M. Langenkamp. – Berlin: Springer. – 2010. – 256 p.
3. Simon M. Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells. [Текст] /M. Simon, E.L. Meyer // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2010. – № 94. – P. 106–113.
4. Божко К.М. Інфрачервона термографія сонячних елементів, нагрітих темновим струмом [Текст] /К.М. Божко, В.І. Дунаєвський, В.Й. Котовський, В.П. Маслов, В.А. Порєв //Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 56 – 63.
5. Bozhko K. The role of the solar power industry in sustainable development of society. [Текст] /K. Bozhko. //Sustainable Development: Social and Economic Changes. Monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 2016. – P. 36 – 42.
6. Bozhko K. Thermographic modeling of pollution of reservoirs with solutions NaCl [Текст] /K. Bozhko, V. Maslov, V. Porev and others. //American Journal of Environmental Protection.– 2014. – Vol. 3, №5. – P. 263 – 266.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач. Божко К.М.***

# Секція 7.
# Ефективність неруйнівного контролю, технічна та медична діагностика

**УДК 621.396**

*М.С.Воловоденко, студентка групи ПК-71мп*
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

# ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБОК ТЕПЛООБМІННИКІВ

***Анотація.*** Проаналізовано теплообінні трубки парогенераторів АЕС щодо можливості їх контролю вихрострумовим методом. Розглянуто методику опрацювання сигналів ВСД, яка грунтується на визначенні фазових характеристик сигналів у сукупності з їх статистичним аналізом. Наведено основні розрахункові формули для визначення фазових характеристик сигналів ВСК. Проаналізовано та викладено результати дослідження. Зроблено висновки щодо напряму подальшої роботи

***Ключові слова:*** вихрострумовий контроль, дискретна фазова характеристика, дефектоскопія.

## ВСТУП

Одним з важливих вузлів атомних електростанцій (АЕС) є парогенератори(ПГ). Їх надійність суттєво впливає на роботу всієї АЕС, тому завдання їх періодичного контролю є актуальним завданням забезпечення безаварійної роботи АЕС. Складність його вирішення зумовлена особливостями формування сигналів від дефектів (мала глибина модуляції параметрів сигналів) та конструкцією ПГ (трубки знаходяться у важкодоступному місці).

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ І МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі [1] виконано аналіз об’єкту контролю (ОК) - теплообмінних трубок парогенератора на предмет основних дефектів, що виникають в ході їх експлуатації. В статті В. М. Учаніна [2] наведені результати експериментів з визначення селективності контролю тонкостінних трубок мініатюрним вихрострумовим датчиком. Зокрема відзначено, що найкращу чутливість до дефекту типу тріщина показав мініатюрний варіант вихрострумового перетворювача(ВСП) подвійного диференціювання [3], який має достатньо високу чутливість і роздільну здатність в поєднанні з малими габаритами. У цьому ВСП всі обмотки перетворювача мають феритові осердя діаметром 0,75 мм з початковою магнітною проникністю матеріалу осердя 2300. Збуджувальна і вимірювальна обмотки намотані проводом діаметром 0,06 мм у два шари (20 і 15 витків – збуджувальна обмотка, 25 і 23 витки – вимірювальна обмотка). Діаметр ВСП складає 2,8…3,0 мм, що дозволяє за необхідності монтувати його на роторі обертальних зондів. Для вибору оптимальної робочої частоти сигнали ВСП досліджували на різних робочих частотах у діапазоні від 50 до 500 кГц на дефекті з максимальною глибиною залягання 1,2 мм. Найвища чутливість ВСП досягалась на робочій частоті 200 кГц.

В статті В. Щукіна та Є. Луніна [4] розкрито питання розроблення алгоритму виділення сигналів від дефектів під дистанціонуючими ґратами за допомогою аналізу спектрограм за використання вейвлет перетворення. Цей метод є складним для аналізу інформативних сигналів, їх параметрів та фізичної інтерпретації отриманих результатів.

Загалом більшість відомих методів опрацювання сигналів вихрострумового контролю (ВСК) орієнтовано на використання їх амплітудних характеристик і не використовує інформації, що міститься в фазових характеристиках.

Метою роботи є підтвердження можливості використання вихрострумового методу для обстеження теплообмінних трубок під час експлуатаційного планового контролю, аналіз методів обробки сигналів та вибір методу опрацювання сигналів ВСП .

## РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В порівнянні з іншими методами контролю вихрострумовий метод має певні переваги, зокрема:

- можливість доступу до важкодоступних ділянок ОК за рахунок використання мініатюрних датчиків;
- можливість контролю труб великої протяжності;
- можливість контролю об’єкту в складі конструкції;
- відсутність необхідності використання контактних речовин для забезпечення контролю;
- відсутність необхідності очищати ОК після проведення контролю;
- висока вірогідність отриманих результатів контролю.

Для вибору режимів роботи основним визначальним фактором є необхідність контролю двох основних видів дефектів – тріщин і відхилення товщини стінки труби від номінального значення.

Зокрема, для забезпечення контролю товщини стінки використовується накладний вихрострумовий датчик з абсолютним включенням вимірюваних обмоток, а для контролю дефектів – з диференціальним включенням обмоток. Зміна режимів роботи може відбуватись комутацією вказаних обмоток перетворювача.

Пропонується в один прохід повної довжини ОК вмикати перший режим, а впродовж зворотного ходу використовувати режим контролю товщини труби.

З метою підвищення вірогідності виявлення сигналів дефектів запропоновано комбінувати амплітудний та фазовий методи опрацювання сигналів ВСП. Для випадку, коли сигнал ВСП перевищує шум більше ніж в 5 разів рекомендовано використовувати амплітудний метод, в протилежному випадку доцільно використовувати фазовий метод на основі оцінювання і аналізу R-статистики[5].

Методика опрацювання сигналів ВСК амплітудним і фазовим методом ґрунтується на спільній методологічній основі – дискретному перетворенню Гільберта сигналів. Ця методика передбачає наступні етапи[5]:

визначення дискретного перетворення Гільберта сигналу $u[j]$

$$\hat{u}[j] = H[u[j]] \tag{1}$$

де $H$– оператор дискретного перетворення Гільберта.

2) визначення дискретної фазової характеристики сигналу:

$$\Phi[j] = arg\,\dot{z}[j] = arctg\frac{\hat{u}[j]}{u[j]} + \frac{\pi}{2}\left\{2 - sign\ \hat{u}[j]\left(1 + sign\ u[j]\right)\right\} + 2\pi K\left[u[j], \hat{u}[j]\right]; \quad (2)$$

де sign – знакова функція;

К – оператор усунення розривів фазової характеристики сигналу.

3) визначення дискретної амплітудної характеристики сигналу проводиться за використанням такої формули:

$$U[j] = \sqrt{\hat{u}^2[j] + u^2[j]} \quad (3)$$

3)визначення різниці дискретної фазової характеристики (2) та ФХС гармонічного сигналу збудження частоти $f$

$$\Delta\varphi'[j] = \Phi[j] - 2\pi f j T_{\partial}. \quad (4)$$

де $T_{\partial}$ – період дискретизації сигналу;

4) визначення $R$-статистики [4] під час ковзного опрацювання послідовності:

$$r = \sqrt{C^2 + S^2} \quad (5)$$

де $C = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\cos\varphi[j]$;

$S = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\sin\varphi[j]$;

$N$ – апертура ковзного вікна.

На ділянках сигналу де відсутня модуляція його фази (дефект відсутній) $R$-статистика наближається до 1, а на ділянках з модуляцією зменшується. Ця ознака є статистично-стійкою і інваріантною до початкової фази сигналу.

У випадку реалізації амплітудного методу рішення щодо наявності дефекту приймається за результатами порівняльного аналізу послідовностей (3) і порогового рівня $R$-статистики, які визначаються на етапі навчання системи. Для фазового методу рішення приймається на основі порівняння $R$-статистики з відповідним пороговим рівнем.

Така комбінація амплітудно-фазового методу забезпечує підвищення вірогідності контролю в широкому діапазоні зміни відношення сигнал/шум.

## ВИСНОВКИ

В доповіді розглянуто доцільність використання вихрострумового методу контролю теплообмінних трубок ПГ АЕС на предмет наявності тріщин та стоншення товщини труби.

Запропоновано з метою підвищення вірогідності виявлення дефектів комбінувати амплітудний і фазовий методи аналізу сигналів ВСП. Амплітудні і фазові характеристики сигналу визначаються через перетворення Гільберта. Фазова характеристика є основою для визначення $R$-статистики за якою приймаються рішення щодо наявності дефекту.

Отримані результати можуть бути використані в розробках засобів вихрострумового контролю виробів різного призначення

Окрім підвищення вірогідності виявлення дефектів статистичне опрацювання фазових даних дозволяє зменшити мінімальний розмір дефектів, що можуть бути виявлені.

Подальші дослідження задачі контролю трубок ПГ доцільно спрямувати на проведення модельних експериментів з метою обґрунтування режимів реалізації вихрострумового контролю. Розглядається також питання розширення діапазону ОК, з використанням інших датчиків та спеціального програмного забезпечення.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Воловоденко М. С. Вихрострумовий контроль теплообмінних труб парогенератора АЕС // Погляд у майбутнє приладобудування 2016 – IX Науково-практична конференція студентів і аспірантів – С. 156

2. Учанін В.М. Селективне виявлення дефектів у тонкостінних виробах із аустенітних сталей накладним вихрострумовим перетворювачем// Фіз.-хім. Механіка матеріалів.–2015.–№3.– С. 15-17.

3. Учанін В.м. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання. – Львів: СПОЛОМ, 2013. –208 с

4. Shchukis E., Lunin V Метод выделения сигналов от дефектов под конструктивными элементами теплообменных труб парогенератора// NDT days 2017,– С. 169-173.

5. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак – Тернопіль: Видавництво Тернопіль. технічного інституту імені Івана Пулюя, 2009. – 383с.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. кафедри ПСНК Куц Ю.В.***

**УДК 620.1.08**

*Р.В.Каньоса, студент гр. ПК-81мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА В ЧАСОВІЙ ТА ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

***Анотація.*** В статті описується алгоритми реалізацій перетворення Гільберта інформаційних сигналів в часовій та частотній області. Проведенно аналіз методичних похибок які виникають при реалізації перетворення Гільберта за рахунок обмеженого часу аналізу сигналу. Наведено графіки залежності методичної похибки від параметрі системи збирання даних.

***Ключові слова:*** дискретне перетворення Гільберта, методична похибка.

## ВСТУП

В задачах неруйнівного контролю часто виникає необхідність вимірювання амплітудних і фазових характеристик сигналів. Одним з способів отримання необхідних характерисик є застосування перетворення Гільберта.

В технічних засобах перетворення Гільберта реалізується в цифровому варіанті як дискретне перетворення Гільберта (ДПГ) [1,2]. В порівнянні з класичними методоми визначення амплітуди і фази сигналів, які грунтуються на використані відповідних детекторів використання ДПГ має суттєву перевагу: воно дозволяє визначити декілька поточних значень амплітуди і фази сигналу за період, кількість отримуваних значень залежить від частоти дискретизації вхідного сигналу і частоти самого сигналу. Ця властивість надає додаткові можливості для статистичного аналізу експерементальних даних.

ДПГ можна реалізувати двома способами – в частотній і часовій областях. Кожний з варіантів має свої особливості, відрізняються за складністю реалізації, часом виконання обчислювальних процедур. В наслідок обмеженого часу аналізу сигналу за допомогою ДПГ гільберт-образи сигналів отримуються з методичною похибкою. Метою роботи є дослідження методичної похибки що виникоє під чам реалізації ДПГ в частотній і часовій областях, та формування рекомендацій щодо їх зменшення.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Реалізація ДПГ в частотній області грунтується на використанні швидкого перетворення Фур'є. Реалізація передбачає:

1. Отримання спектру Фур'є досліджуваного сигналу u[j], де j – номер відліку $j = 1 \ldots J$;
2. Отримання спектру Фур'є гільберт-образу сигналу $u_H[j]$ шляхом перемноження спектру сигналу на комплексний коефіцієнт передачі перетворювача Гільберта;
3. Визначення гільберт-образу сигналу $u_H[j]$ через обернене перетворення його спектру.

Дослідження методичної похибки здійснювалось на тестовому гармонічному сигналі. Для такого сигналу відоме теоретичне значення гільберт-образу сигналу $u_{Hт}[j]$. Методична похибка формування гільберт-образу визначалась за формулою:

$$\Delta_m = u_H[j] - u_{Hm}[j] \ . \qquad (1)$$

В процесі моделювання параметри сигналів задавались у відносних значеннях: частота $f = 1$ ; частота дискретизації $f_d = \frac{\pi}{G}$, де G=10,20,50,80,100; амплітуда сигналу $A = 1$. Результати моделювання наведені на рис.1.

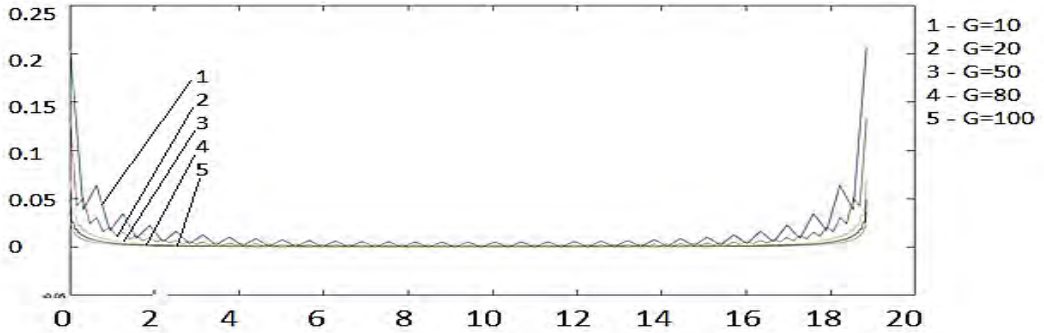



Рис.1. Графіки методичної похибки для ДПГ в частотній області

Різні криві на рис. 1 відповідають методичним похибкам отриманим від сигналів з різною частотою дискретизації. Як видно з рис.1 зі збільшенням частоти дискретизації вхідного сигналу, спостерігається збільшення крутості спаду/зростання методичної похибки на прикінцевих ділянках інтервалу спостереження. В центральній частині графіка методична похибка мінімальна, що дозволяє рекомендувати в прецезійних вимірюванях застосовувати високу частоту дискретизації і відкидати значення гільберт-образу отримані з великою методичною похибкою.

Реалізація ДПГ в часовій області ґрунтується на визначенні значень імпульсної характеристики h[*j*] дискретного фільтра Гільберта [3]. В цьому випадку сигнал $u_H[j]$ визначається як згортка вхідного сигналу з імпульсною характеристикою фільтра Гільберта

$$u_H[j] = h[j] \times u[j] \ . \qquad (2)$$

В цьому досліді форма тестового сигналу та його параметри залишилися незміними. Графік сигналів $u_H[j]$ і $u_{Hт}[j]$ наведені на рис.2.

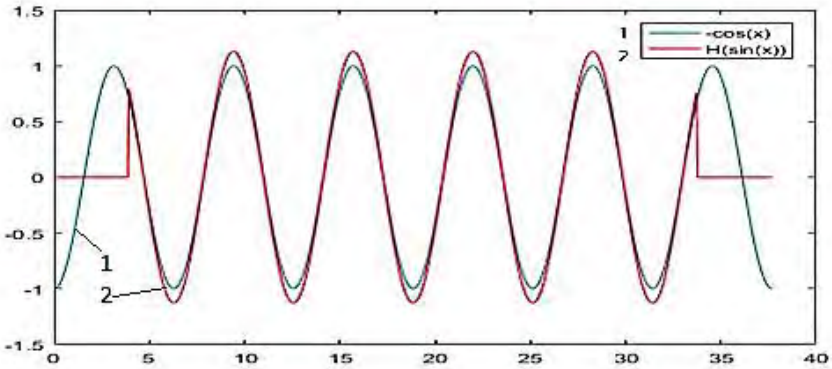



Рис.2. Графіки результатів теоретичного і реального перетворення Гільберта гармонічного сигналу

Результуючий сигнал $u_H[j]$ є дещо вкороченим у порівняні з вхідним сигналом. Його перший ненульовий відлік визначається номером середини реалізації імпульсної характеристики фільтра Гільберта. З наведеного графіка

також видно що, результати реального перетворення Гільберта в часовій області відрізняються від теоретичних значень на деяку методичну похибку. Методична похибка визначалась за формулою (1) для центральної частини реалізації сигналу після його масштабування, що виконувалось з метою вирівнювання амплітуд сигналів. В цілому методична похибка відповідає наведеним на рис.1, значенням.

Для визначення коефіцієнту маштабування k, проведені додаткові розрахунки. Визначено, що значення k залежить від початкових параметрів процесу збору даних, а саме від обсягу довжини масиву значень імпульсної характеристики фільтра Гільберта (H), та коефіцієнту G, який визначає частоту дискретизації вхідного сигналу. Графік функції k(H/G) наведено на Рис. 3

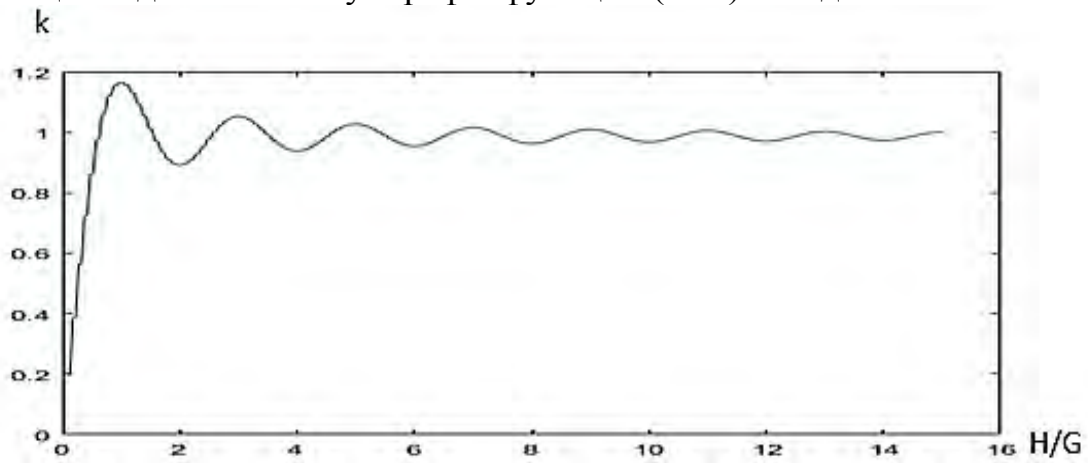



Рис.3. Графік залежності коефіцієнту відповідності від відношення параметрів ДПГ

Застосування коефіцієнта k дозволяє вирівняти масштаби теоретичного та отриманого на виході фільтра значень гільберт-образу сигналів, і на цій основі зменшити похибку визначення амплітудної та фазової характеристик сигналу.

## ВИСНОВКИ

Реалізація перетворення Гільберта в дискретному варіанті можлива в частотній і часовій областях. Обмеження часу аналізу сигналів приводить до виникнення методичної похибки перетворення. Для зменшення методичної похибки дискретного перетворення Гільберта необхідно підбирати і узгоджувати значення частоти дискритезації сигналу, обсягу вибірки імпульсної характеристики ДПГ, та власне частоти сигналу. В разі реалізації в часовій області виникає додаткова похибка яка може корегуватись відповідним коефіцієнтом k(H/G) .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джулиус Бендат, Аллан Пирсол. Прикладной анализ случайных данных/ Джулиус Бендат, Аллан Пирсол. — М. : МИР, 1989. — 498 с.

2. Куц Ю.В., Щербак Л.М. Статистична фазометрія / Куц Ю.В., Щербак Л.М. — Т. :ТДТУ, 2009. — 384 с.

3. Ричард Лойнс. Цифровая обработка сигналов / Ричард Лойнс : Второе издание. . — М. : Бином-Пресс, 2006. — 656 с.

***Науковий керівник: д.т.н., професор Куц Ю.В.***

**УДК 620.179**

*О.В. Курасов, студент гр. ПК-71мп.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛУ ЯКОСТІ СТВОЛА МІНОМЕТУ.

***Анотація.*** В данній статті було розглянута можливість ультразвукового контролю ствола мінометa . З точки зору контролю якості металу для уникнення руйнування його при експлуатації.

***Ключові слова:*** Неруйнівний контроль, ультразвуковий контроль.

## ВСТУП

Циліндричні трубчасті конструкції знайшли широке використання в сучасній техніці, як для транспортування рідинних та газоподібних матеріалів, так і для реалізації різноманітних технологічних процесів в різних галузях виробництва та озброєння. дужках

Значний інтерес з точки зору контролю якості металу трубчастих конструкцій представляють гладкі стволи гармати та мінометів, матеріал яких витримує значні швидкоплинні та теплові механічні навантаження в процесі згорання порохових зарядів при реалізації пострілу. Подібні трубчасті конструкції повинні періодично контролюватися з метою виявлення пошкоджень у вигляді тріщин втоми втрат матеріалу внутрішньої поверхні ствола, що дасть можливість уникнення руйнування у процесі виконання бойового завдання.

## ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ

Розглянемо можливість неруйнівного контролю направленого на виявлення дефектів внутрішньої структури матеріалу ствола з допомогою ультразвукових коливань, які збуджуються в його стінці ,як у хвильоводі з фіксованою товщиною. Така хвиля може збуджуватися при її кутовому вводі $\alpha$ в середовище контрольованого матеріалу [1]:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{0{,}5n\lambda}{h}\right) \qquad (1)$$

Тут $\lambda$ – довжина хвилі коливань в матеріалі об’єкту контролю; $h$ –товщина матеріалу ствола; $n$ –ціле число.

Ціле число n в виразі (1) визначається співвідношенням між товщинною хвильоводу (товщиною стінки ствола) і довжиною хвилі коливань, яка, як відомо залежить від частини коливань і швидкості її розповсюдження.

Кут $\alpha$ для збудження в хвильоводі нормальної хвилі визначається для металу ,як середовища контролю , між першим і другими критичними кутами вводу коливань. Умовою виникнення в хвильоводі так званої головної хвилі є співпадання фаз хвилі відбитої від нижньої границі металу (внутрішньої поверхні ствола) і падаючої хвилі з верхньої (зовнішньої) поверхні. При цьому швидкість розповсюдження утвореної таким чином нормальної хвилі вздовж хвильоводу (середовища між верхньою і нижньою поверхнями ствола) становить:

$$C_н = \frac{C_l}{\sqrt{1-(\frac{0,5n\lambda}{h})^2}} \qquad (2)$$

де $C_l$ —швидкість розповсюдження повздовжньої хвилі в матеріалі об'єкту контролю.

При $h/\lambda \to \infty$ швидкість нормальної хвилі стає рівною швидкості звичайної хвилі (в даному випадку –повздовжньої хвилі коливань для матеріалу трубчатої конструкції).

Згадана умова резонансу падаючої і перевідбитою в стінкі ствола хвиль вимагає, щоб тривалість радіо імпульсу коливань була більшою за величину затримки хвилі, яка відбивається від донної поверхні хвильоводу . Утворена в стінці хвильоводу ультразвукова нормальна хвиля здатна розповсюджуватися на значну відстань, що достатньо для виявлення дефектів в структурі матеріалу реального за довжиною ствола гармати чи міномету.

При цьому потрібно враховувати, що поява луносигналу можлива лише від неоднорідностей, які здатні відбивати падаючі на них хвилю. Ідеальна тріщина розташована у напрямку розповсюдження хвилі не зможе реалізувати відбиття ультразвуку. Для її виявлення необхідно використовувати іншу за напрямками розповсюдження хвилю. Тому в системі контролю матеріалу ствола слід передбачити збудження додаткової моди коливань під кутом до його осі, для чого слід використати додатковий канал вимірювання зі своїм відповідно орієнтованим ультразвуковим перетворювачем.

Напругу збудження п'єзоелектричного перетворювача Uзб визначимо задавшись рівнем луносигналу, наприклад – 0,01 В, відбитого від дефекту умовно розташованого в точці вводу коливань. Функціональна схема двохканальної ультразвукової системи контролю матеріалу трубчатої конструкції показана на рис 1.

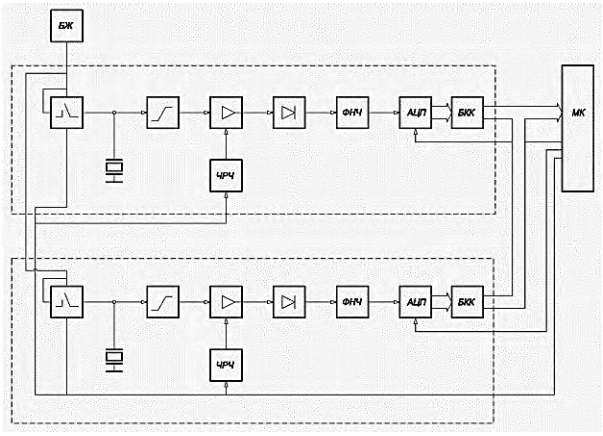



Рисунок 1. Функціональна схема двухканальної УЗ системи контролю

1, 2- прямий та канали

Збудження коливань в обох каналах (прямому і кутовому) виконується шляхом підключення імпульсу напруги до відповідного п'єзоелектричного перетворювача встановленого на клиноподібному звукопроводі. Амплітуда такого імпульсу визначається виходячи зі значення коефіцієнта відбиття коливань від дефекту бракувального рівня, умовно розташованого безпосередньо в зоні вводу коливань в середовище об'єкту контролю. При цьому необхідно врахувати втрати коливань в звукопроводі та за рахунок проходження ними матеріалу звукопроводу та границь між власним перетворювачем з ЦТС-19, матеріали звукопроводу (ортскло) та матеріалу об'єкту контролю (рис.2).

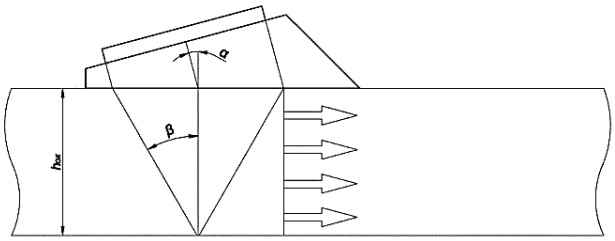



Рисунок 2.Схематичне зображення ходу акустичних коливань при прозвучуванні тонкостінного звукопроводу

Для визначення кутових параметрів клиноподібного звукопроводу (рис.3) виходячи з задоної товщини стінки трубчатої конструкції об'єкту контролю використовуем формулу (2):

$$h = \frac{n\lambda_t}{2\cos\beta} \tag{3}$$

де $\beta$ –кут заломлення повздовжньої хвилі в матеріалі об'єкту контролю; $\lambda_t$ – довжина хвилі коливань в цьому матеріалі; $n$ –ціле число.

Задамося кутами заломлення $\beta = 35°$ і визначимо кутовий нахил площини клиноподібного звукопроводу з оргскла($C_l = 2710$ м/с).

$$\frac{\cos\alpha}{C_{loop}} = \frac{\cos\beta}{C_{мет}} \tag{4}$$

$$\alpha = \arccos\frac{C_{loop}\times\cos\alpha}{\cos\beta} \tag{5}$$

Якщо $\beta = 35°$ $C_{lорк} = 2{,}7\times10^3$ м/с ; $C_{lмет} = 2{,}7\times10^3$ м/с ;

Значення кута падіння ультразвукових повздовжніх коливань на поверхню об'єкту контролю становитиме $\alpha = 18°$.

При цьому мінімальна товщина об'єкту контролю згідно не повинна бути меншою за 3,4 мм. (n=1).

Збудження коливань з допомогою плоского УЗ коливань в об'єкті з циліндричною поверхнею супроводжується розширенням головної пелюстки діаграмою направленості. Таким розширенням можемо знехтувати, якщо діаметр перетворювача набагато менший за діаметр трубчатої конструкції. Для визначення амплітуди збудження коливань визначимо значення коефіцієнту відбиття від дефекту бракувального рівня, еквівалента площа якого становить:

$$S_{деф} = \pi d^2_{деф} \tag{6}$$

Де *ддеф* еквівалентний діаметр дефекту.

При частоті УЗ коливань *f*=106 Гц граничне значення *ддеф* відповідає довжині хвилі коливань: *ддеф*=3,3 мм.

Задамося рівнем луносигналу від дефекту бракувального рівня U=0,01 В і визначимо амплітуду імпульсу збудження перетворювача, як:

$$U_{зб} \geq \frac{U_{лс}}{K^2_п \cdot K^2_{Пр1} \cdot K^2_{Пр2} \cdot K^2_{зат.зв} \cdot K_{від.деф.}} \tag{7}$$

Де $K_п$ –коеф. електромеханічного зв'язку (коефіцієнт прямого(зворотнього) п'єзоелектричного перетворення); $K_{Пр1}$ –коефіцієнт проходження границі розділу п'єзокераміки і оргскла звукопроводу з урахування падаючої і відбитої хвиль;

Для нормально падаючої хвилі на поверхню границі розділу середовищ значення $K^2_{Пр1}$ становить:

$$K_{Пр1}^2 = \frac{Z_{кер} \cdot Z_{оргскла}}{(Z_{кер} + Z_{оргскла})^2} \quad (8)$$

$K_{Пр2}$ –коеф. проходження границі оргскло-метал:

$$K_{пр2}^2 = \frac{2 \cdot Z_{мет} \cdot Z_{оргскла}}{(Z_{мет} + Z_{оргскла})^2} \quad (9)$$

Коеф. затухання коливань в оргслі: $K_{зат.оргскла} = kl$ (10)

Де $k$ –погонний коефіцієнт затухання в оргсклі ($k \approx 30$ нп/м).

Враховуючи , що коефіцієнт передачі детектора з фільтрами нижніх частот на його виході не перевищує $K_{дет} = 0{,}3$ визначаемо значення коефіцієнта підсилення луно-сигналу $K_{min}$ задавшись рівнем напруги при існуванні такого дефекту на вході АЦП, наприклад $U_д = 0{,}2$В:

$$K_{П\min} = \frac{0{,}2}{U_{деф} \cdot K_{дет}} = 0{,}66 \cdot \frac{1}{10^{-2}} = 66 \quad (11)$$

З моменту збудження коливань в матеріалі об’єкту контролю значення коефіцієнта підсилення луно-сигналу має зростати за законом зворотньої пропорційності затуханню коливань. Зміна коефіцієнта підсилення має відбуватися автоматично з допомогою схеми ЧРЧ(часового регулювання чутливості).Реально функція затухання коливань є нелінійного за рахунок розширення є нелінійною за рахунок розширення діаграми направленості перетворювача дальні зоні коливань. Максимальне значення коефіцієнта затухання Кзат в матеріалі об’єкту контролю на всій його довжині становить:

$$K_{птдс.\max} = \frac{K_{п.\min}}{K_{зат.ок}} \quad (12)$$

$$K_{зат.ок} = k \cdot 2L_{\max} \quad (13)$$

$L_{max}$ – максимальна довжина контрольованої ділянки трубчастої конструкції .

## ВИСНОВОК

Ефективність представленої в даній роботі ультразвукової системи неруйнівного контролю полягає в можливості подовження терміну використання міномету чи гармати за результатами їх обстеження. Автоматична система здатна забезпечити високу вірогідність контролю в польових умовах за короткий термін.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методы акустического контроля металлов/ Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Вопилкин и др.: Под ред. Н.П.Алешина — М.:машиностроение,1989 — 456 с.

2. Маєвський С.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі / С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. – К.: Либідь, 1993. – 200 с.

3. ГОСТ 17410-78. Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Маєвський С.М***

**УДК 681.2.083**

*С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ

***Анотація.*** В статті наведено результати аналізу існуючих методів вимірювання параметрів центральної гемодинаміки. На основі аналізу та сучасних вимог до процесу вимірювання параметрів гемодинаміки, запропоновано використання методу фазових зсувів на основі вимірювання торакального електричного біоімпедансу. Показано можливість проведення вимірювання в умовах операційного втручання, а саме при відкритій грудній клітці.

***Ключові слова:*** гемодинаміка, серцевий викид, моніторинг параметрів, торакальний електричний біоімпеданс, метод фазових зсувів.

## ВСТУП

Серцевий викид є одним з найважливіших параметрів діагностики функціювання серця. Він дозволяє оцінити роботу серцево-судинної системи, кількість доставленого кисню до органів пацієнта та зрозуміти причини невідповідності кров'яного тиску нормальним значенням. На сьогодні у клінічній практиці розповсюджено велика кількість методів вимірювання параметрів центральної гемодинаміки, в тому числі серцевого викиду, але вони не задовольняють потребам лікарів та не відповідають сучасним тенденціям розвитку медичної техніки. Серцево-судинні захворювання (ССЗ) досі займають найбільший відсоток причин смерті у всьому світі. При розробці запропонованого методу були проведені консультації з провідними українським спеціалістами в області кардіології та сформульовані наступні вимоги до методу. Першою вимогою є те, що метод має бути широкозастосовуваним, що дозволить виявлять ССЗ на ранній стадії та вчасно приймати рішення що до лікування. Наступною, не менш важливою вимогою є можливість тривалого вимірювання серцевого викиду в складних клінічних умовах, таких як операції на серці з відкритою грудною клітиною [1]. При постановці задачі дослідження був проведений аналіз існуючих методів, визначені їх основні переваги та недоліки. При розробці методу було враховано не тільки підвищення точності вимірювання, а й виключення недоліків існуючих методів та відповідність клінічним вимогам.

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ

У медичному напрямку методи вимірювання будь-яких параметрів класифікуються за ступеню втручання у організм людини. Інвазивні методи – такі, що передбачають введення в організм людини речовин або інструментів дослідження. Головними небезпеками використання інвазивних методів є потенційна вірогідність появи кровотечі, пошкодження внутрішніх органів та занесення інфекції. У зв’язку з цим, сучасні тенденції медичної техніки рухаються в напрямку заміни інвазивних методів на малоінвазивні та неінвазивні, тобто з мінімальним втручанням в організм, або без втручання

взагалі. Отже було розглянуто існуючи методи вимірювання параметрів центральної гемодинаміки, в тому числі параметру серцевого викиду та визначені їх основні недоліки.

До інвазивних методів відноситься метод термодилюції, з використання катетера Сван-Ганса, що заснований на вимірюванні швидкості розповсюдження болюса у крові. На сьогоднішній день, метод визнаний «золотим стандартом» вимірювання серцевого викиду, незважаючи на те, що метод потребує катеризації легеневої артерії та, як наслідок, підвищує ризик пошкодження клапанів серця [2]. Основним недоліком є дуже високі вимоги до досвіду й навичок лікаря при проведенні вимірювання, що значно впливає як на результат вимірювання так і на ймовірність травмування пацієнта.

В основі малоінвазивних методів лежить принцип визначення різниці концентрації певної речовини в артеріальній та венозній крові. До малоінвазивних методів відносяться класичний метод Фіка, літьєва дилюція, PICCO (Pulse Contour Cardiac Output/Серцевий викид заснований на комбінації транспульмональнії термодилюції і аналізу форми пульсової хвилі) [3]. Основним недоліком наведених методів є складність вимірювання концентрації кисню артеріальної та змішаної венозної крові, та необхідність встановлення катетерів для введення болюсу та відбору крові.

Найсучаснішими ж є неінвазивні методи вимірювання. Найвідомішим методом є МРТ (Магнітно-резонансна томографія серця), але він має велику кількість недоліків: метод вимагає великої кількості простору для встановлення обладнання, великих енергетичних і тимчасових витрат, високих вимог до кваліфікації медичного персоналу та неможливість тривалого вимірювання. Наступним методом є ЕхоКГ (Ехокардіографія), що потребує введення у стравохід зонду з датчиком Доплера [4]. Недоліками є неможливість проведення тривалого моніторингу у активних пацієнтів, досить високі вимоги до досвіду лікаря, що до позиціювання датчика, дуже висока вартість датчика та обладнання. Іншим за принципом є метод esCCO (Estimated continuous cardiac output), в його основі лежить тривале обчислення параметрів, відштовхуючись від зміни форми та частоти пульсової хвилі, але початково методу необхідна калібровка інвазивним методом [5]. Найбільш перспективними до використання та доробки є методи на основі вимірювання торакального імпедансу грудної клітки - ICG (Impedance cardiography / Імпедансна кардиографія) та EC (Electrical cardiometry / Електрична кардіометрія) [6]. Головною перевагою методів на основі біоімпедансу – можливість тривалого вимірювання, незалежність від навичок оператора але недоліками є неточність вимірювання при відкритій грудний клітині та значний вплив м’язових артефактів.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Існуючі на даний момент методи вимірювання параметрів центральної гемодинаміки мають ряд недоліків, які негативно позначаються на точності результату вимірювання та не задовольняють сучасним клінічним вимогам процесу вимірювання.

Пропонується метод фазових зсувів для вимірювання параметрів гемодинаміки, на відміну від існуючих методів визначення торакального біоімпедансу, що засновані на вимірювання амплітуди вимірюваного струму (ICG, EC). Отже основною задачею дослідження є адаптація методу фазових зсувів для задачі вимірювання параметрів гемодинаміки, а також розробка математичної моделі обрахунку серцевого викиду [7]. Також досліджено та запропоновано вирішення задачі корекції вимірюваних параметрів при операціях з відкритою грудною кліткою.

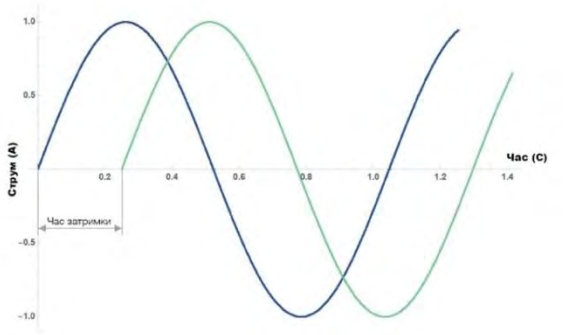



Рис. 1 Графік фазового зсуву згенерованого та виміряного струму

В основі методу є припущення, що при пропусканні через грудну клітку низькоамплітудного високочастотного змінного струму, пульсуючий кровоток у великих грудних артеріях викликає затримки часу між згенерованим та виміряним струмом (Рис. 1). На основі цього ефекту можливо побудувати математичну модель залежності фазових зсувів струму, що пропускається через грудну клітку, до значення серцевого викиду.

Оскільки форма кривої змінного струму заснована на тригонометричній синусоїдальній функції, то часова затримка між згенерорваною та виміряною кривою може бути представлена у фазі. Визначивши тривалість повного синусоїдного циклу, та враховуючи властивості тригонометричної функції можливо побудувати графік зміни кута зсуву.

На наведеному нижче графіку (Рис. 2) кожна точка – певний зсув у часі. Ми можемо зазначити, що під час систоли спостерігається швидке нарощування фазових зрушень, доки пік не досягне кінця систоли. Це відображає збільшення об'єму крові аорти при викиданні шлуночків. Після піку, під час діастоли ми спостерігаємо зменшення фазового зсуву, що відображає зменшення об'єму крові. Оскільки потік визначається як похідна зміни об’єму, утворений сигнал являє собою єдиний удар.

Серцевий об’єм (SV) вираховується шляхом обчислення площі під позитивною частиною похідної кривої, або частиною графіка що представляє систолу.

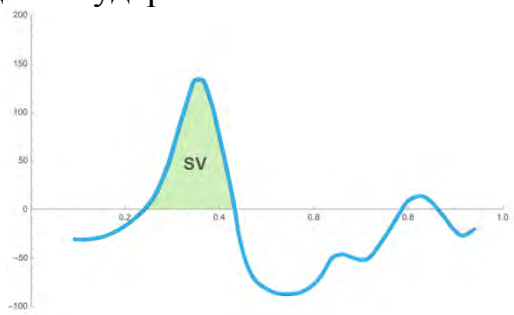



Рис. 2 Графік зміни кута зсуву з визначеною площею серцевого об’єму

При цьому серцевий викид може бути обрахований CO=SV*HR, де CO - серцевий викид, SV – серцевий об’єм, HR – частота серцебиття.

Для того, щоб вирішити задачу забезпечення роботи в умовах відкритої грудної клітки пропонується передбачити алгоритм зміни пар електродів згенерованого та виміряного струму. При стаціонарному процесі вимірювання струм протікає між верхньою та нижньою парами електродів, що показано на

Рис 3. Задля корегування математичної моделі розрахунку серцевого викиду, за умови відкритої грудної клітки, пропонується періодично перемикати подачу та вимір струму на інакшу схему, де струм протікає між лівою та правою парами електродів, що показано на Рис. 4.

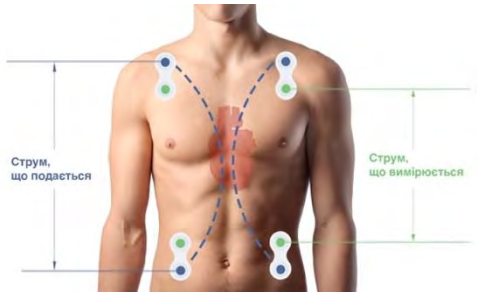



Рис. 3 Схематичне зображення напрямку протікання струму між електродами при стаціонарних умовах

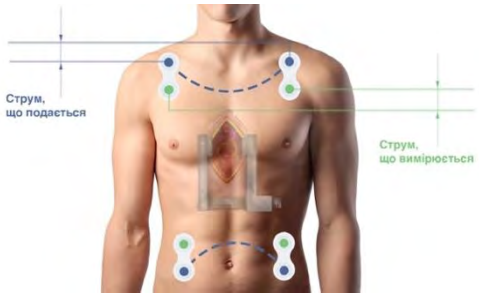



Рис. 4 Схематичне зображення напрямку протікання струму між електродами при умовах відкритої грудної клітки

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод дозволяє проводити тривале вимірювання параметрів гемодинаміки неінвазивно, що відповідає сучасним клінічним потребам. При цьому особливістю методу є можливість проведення вимірювання в умовах відкритої грудної клітини, за рахунок зміни напрямку поданого та виміряного струму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гемодинамический мониторинг в практике интенсивной терапии критических состояний / Йовенко И.А, Кобеляцкий Ю.Ю, Царев А.В, Кузьмова Е.А. // Медицина неотложных состояний. – 2016. – С. 42–46.

2. Thermodilution method for measuring cardiac output. / Eur Heart J., Conway J, Lund-Johansen P. -1990. – p. 17–20; PMID: 2092986

3. Mehta Y. Newer methods of cardiac output monitoring [Електронний ресурс] / Y. Mehta, D. Arora // Baishideng Publishing Group Inc.. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: doi: 10.4330/wjc.v6.i9.1022.

4. Биотехническая система многоканальных электроимпедансных исследований фазовой структуры деятельности сердца: дис. канд. техн. наук: 05.11.17. – Москва, 2017. – 127 с.

5. Неинвазивный гемодинамический мониторинг escco в ходе анестезиологического пособия при лапароскопической холецистэктомии/ Ю. Ю.Кобеляцкий, А. М. Машин, А. В. Царев, И. А. Йовенко. – 2016. – DOI: 10.22141/2224-0586.5.76.2016.76440.

6. Engoren, M. Comparison of cardiac output determined by bioimpedance, thermodilution, and the Fick method / M. Endoren, D. Barbee // Am. J. Crit. Care. 2005. V. 14. P. 40-45.

7. O'Shea P. Phase Measurement [Електронний ресурс] / Peter O'Shea // CRC Press LLC. –2000.– Режим доступу до ресурсу: http://etc.unitbv.ro/~olteanu/Tehn._Phase_Measurement.pdf.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Шевченко К.Л.***

**УДК 621.386**

*Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АНАЛІЗ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН ЯК ОБ'ЄКТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

***Анотація.*** Розглянуто лопатки вітрових турбін, проаналізовано характерні пошкодження лопаток турбіни. Показано, що виявити та оцінити такі дефекти на ранніх стадіях, можливо за допомогою різних методів неруйнівного контролю, зокрема методом вихрострумової імпульсної термографії. За породженими вихровими струмами тепловими зображеннями виявляються зразки з поверхневими дефектами такими як тріщини, тоді як внутрішні дефекти, такі як відшарування та пошкодження удару, виявляються за допомогою теплових методів.

***Ключові слова:*** вихростумовий контроль, неруйнівний контроль, лопатки вітрових турбін, дефекти.

## ВСТУП

Вітрові турбіни працюють за простим принципом. Ротор турбіни з'єднаний з головним валом, який обертає генератор для створення електричного струму. Вітрова турбіна працює обернено до вентилятора: замість того, щоб використовувати електроенергію для створення повітряного потоку.

Вітряні турбіни, як правило, недорогі. Вартість виробленої ними електроенергії коливається в межах від двох до шести центів за кіловатгодину. Цей показник є одним з найнижчих поміж інших альтернативних джерел енергії. Оскільки технологія виробництва вітрових турбін продовжує поліпшуватися, слід очікувати подальшого зниження вартості такої електроенергії. Основну вартість вітрових турбін складає процес їх установлення ( на сьогодні вона коливається в межах від $ 48 000 до $ 65 000).

Вітрові турбіни використовують чисте джерело енергії, процес генерування електроенергії не супроводжується виділенням ні парникових газів, ні будь-яких шкідливих відходів. Використовуючи вітрову турбіну потужністю один мегават можна завадити викиду в атмосферу понад 1500 тонн двоокису вуглецю на рік, що має місце під час спалювання різних палив у теплових електростанціях.

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН

Лопатки вітрових турбін працюють у вітровому потоці з низьким тиском, але з досить великою витратою повітря і високою швидкістю. Тому відношення довжини лопатки до діаметра ротора досить велике. Порівняно з нагнітальними лопатевими машинами (гвинтах літаків і вертольотів) особливої різниці в конструкціях лопаток немає.

Контроль на відсутність дефектів лопаток вітрових турбін під час виготовлення та експлуатації критично важливий для запобігання подальшим збиткам. Завдання контролю лопаток ускладнюється внаслідок значного розширення номенклатури матеріалів для їх виготовлення. На заміну важких металевих матеріалів для виготовлення елементів лопаток все більше застосовують неметалеві композитні матеріали такі як карбонові армовані пластмаси (КАП) і скло армовані пластмаси (САП). Більшість вітрових

турбінних лопатей виготовляють з таких композитів: скловолокно/епоксидна скла, скловолокно/поліестер, дерево/епоксидне. Вважливою перевагою композитів є те, що вони витримують більші механічні навантаження і легші за масою в порівнянні з металами. КАП демонструє вищу міцність, ніж САП, і забезпечує кращі можливості щодо зменшення ваги. Однак вартість КАП дещо вища. Структура типової лопатки вітрових турбін представлена на рис. 1.

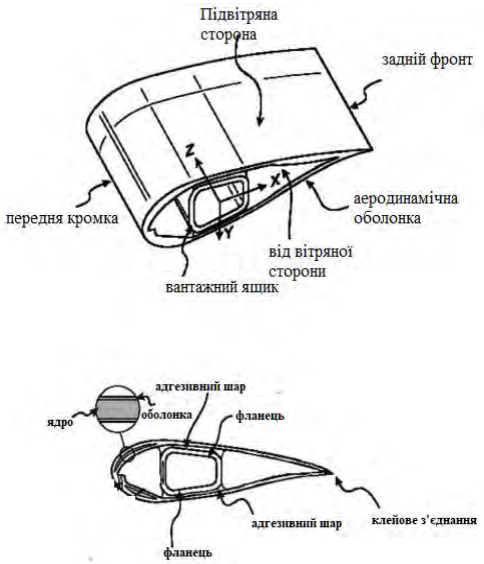



Рис 1. Основні елементи лопатки вітрової турбіни

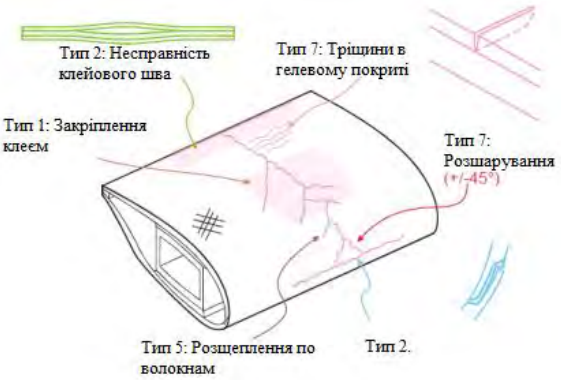



Рис. 2 Найпоширеніші види пошкоджень, виявлених у лопатках вітротурбіни

Пошкодження лопатки може відбуватися кількома способами. Характерні пошкодження вітрової лопатки турбіни наведені нижче.

1. Формування і зростання ушкоджень в адгезійному шарі покриття.
2. Формування пошкоджень та зростання в адгезійному шарі, що з'єднує покриття вздовж провідних та/або кінцевих країв.
3. Розщеплення та розрив окремих волокон у ламінатах покриття та основному сплаві.
4. Формування та зростання тріщин в гель-покритті.
5. Низькоенергетичні, низькошвидкісні пошкодження ударом, спричиняють великі розриви поверхневого шару, матричні тріщини та переломи волокон.

Розташування різних видів дефектів на лопаті показано на рис. 2.

Багато пошкоджень за своїм впливом подібну тріщинам, відшаруванням і пошкодженням ударом. Різні типи пошкоджень призводять до порушень властивості матеріалу в напрямку глибини виробу (напрямок z). В результаті розщеплюються волокна або тріщини (x і y напрямки).

Виявити та оцінити небезпечність цих та інших дефектів на ранніх стадіях розвитку можна за допомогою різних методів неруйнівного контролю (НК).

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН

1. *Ультразвуковий НК.* Ультразвук є добре встановленим методом, використовуваним для оцінювання внутрішньої структури і дефектів у

твердих об'єктах. Ультразвукові методи зручні для перевірки великогабаритних структур, таких як лопатки вітрових турбін. Ультразвук найбільш ефективний для виявлення дефектів, орієнтованих перпендикулярно до напрямку поширення ультразвукової хвилі.

2. Акустичний НК. Методи акустичного контролю можуть дати інформацію про зародження дефектів, їх локалізацію та динаміку їх поширення. Акустична емісія визначається як перехідна пружна хвиля, що утворюється, коли енергія деформації раптово звільнюється всередині або на поверхні матеріалу. Важливе тестування, яке базується на дослідженні звукових хвиль від лопатки з тріщиною, було проведено вченим Джоссі []. 9-метровий вітрогенератор з вуглецевого волокна типу CX-100 був випробуваний з навантаженням, відхиленням, деформацією та контрольованими акустичними викидами. Було показано, що система моніторингу акустичної емісії виявила не тільки місця розташування пошкоджень, але і вади глобального леза. Тестування як малих, так і великогабаритних лопаток вітро турбін було розроблено та продемонстровано за допомогою програмного забезпечення Aegis і Aegis PR, яке може послужити основою для створення онлайнової системи моніторингу стану леза лопаті.

3. Оптичний НК. Оптоволоконні датчики широко використовуються в моніторингу стану мостів і літальних апаратів для виявлення і контролю втомних тріщин, корозії в металевих і композиційних матеріалів тощо. Переваги волоконної оптики для НК композитних лопатей полягають у тому, що вона чутлива до механічних напружень і добре адаптується до завдань контролю великомасштабних конструкцій.

4. Вихрострумовий НК. Розвиток методу вихрових струмів завдячує відкриттю електромагнітної індукції Майклом Фарадеєм у 1831 році. На розподіл вихрового струму у електропровідному матеріалі помітно впливає його неоднорідність, яка спричинена дефектами. Ефективність цього методу суттєво залежить від взаємного розташування сенсора (електричної котушки) ) та дефекту, орієнтації волокна композиту, що впливає на відношення сигнал/шум.

Контроль вихровими струмами став потужним інструментом для перевірки виробів з електропровідних матеріалів. В різний час було запропоновано багато методів, що базуються на явищі вихрових струмів. Багаточастотний вихровий струм та імпульсний вихровий струм розглядаються сьогодні як перспективні напрями вдосконалення технології контролю при розробленні нових засобів вихрострумового НК та розширення сфери його застосування. Обидва ці напрями передбачають використання сигналів збудження вихрових струмів в широкому діапазоні частот.

Імпульсна термографія з використанням імпульсного струму включає застосування короткочасного електромагнітного імпульсу високого струму до контрольованого провідного матеріалу. Вихрові струми індуковані в матеріалі призводять до нагрівання останнього. Існування будь-яких дефектів спотворює поширення вихрового струму, що призводить до зміни температури матеріалу,

яку можна виявити за допомогою термографії. точки зору матеріалів, що підлягають інспекції, імпульсну термографію вихровими струмами можна використовувати тільки для електропровідного композиту, такого як карбонові армовані пластмаси, тоді як інші три методи можуть бути використані як для провідних, так і для непровідних матеріалів.

За тепловими зображеннями виявляються дефектні зразки з поверхневими дефектами типу тріщини, тоді як внутрішні дефекти, такі як відшарування та пошкодження ударом краще виявляються за допомогою теплових методів.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто лопатки вітрових турбін, проаналізовано їх характерні пошкодження. Показано, що виявити та оцінити небезпечність дефектів в лопатках на ранніх стадіях можливо за допомогою різних методів неруйнівного контролю, зокрема методами ультразвуковим, акустичним, оптичним, вихрових струмів та вихрострумової імпульсної термографії.

На основі порівняння можливостей цих методів обґрунтовано висновок про те, що імпульсну термографію з використанням вихрових струмів можна рекомендувати як ефективний гібридний метод контролю для оцінювання якості пластмасових лопаток з вуглецевого волокна.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жерздев С. В. Теплозащитные покрытия для лопаток турбин авиационных двигателей (обзор) / С. В. Жерздев, Ю. А.Тамарин. – М.:ВИАМ, 1990. – 128 с.

2. Будиновский С. А. Современное состояние и основные тенденции развития высокотемпературных теплозащитных покрытий для рабочих лопаток турбин авиационных ГТД / С. А. Будиновский, С. А. Мубояджян, А. М. Гаямов // Авиационная промышленность, 2008. –№ 4. – С. 33–37.

3. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий / [С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. М. Гаямов, П. В. Матвеев] // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 17–20.

4. M. Jureczko, M. Pawlak and A. Mezyk, “Optimisation of wind turbine blades”, J. Mater. Process. Technol, vol. 167, pp. 463–71, 2005

5. C.C. Ciang, J.-T. Lee and H.-J. Bang. “Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods”. Measurement Science and Technology, vol 19, Issue 12, 122001, pp. 1-20, 2008

6. J.K. Kim, D.B. Mackay and Y.W. Mai, “Drop-weight impact damage tolerance of CFRP with rubber-modified epoxy matrix”, Composites, vol. 24, pp. 485-491, 1993

***Науковий керівник д.т.н., проф. Куц Ю.В.***

# Секція 8.
# Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій

**УДК 535.2**

*О.В. Барбул, студент гр. ПБз-71, к.т.н., доц. Безугла Н.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ДЛЯ НЕІНВАЗИВНОЇ ЛАЗЕРНОЇ ГЛЮКОМЕТРІЇ

***Анотація.*** У даній роботі приведено аналіз та особливості роботи оптичних неінвазивних методів визначення концентрації глюкози в крові. Виділено особливості формування лазерного пучка променів для здійснення раманівської спектроскопії. За допомого методу Монте Карло проведено моделювання взаємодії пучків променів різного діаметру з поверхневими шарами шкіри людини та отримано фотометричні зображення плями розсіяння у відбитому та пропущеному світлі.

***Ключові слова:*** глюкометрія, раманівська спектроскопія, еліпсоїдальний рефлектор, метод Монте Карло

## ВСТУП

Для визначення концентрації глюкози розроблено багато інвазивних та неінвазивних методів, що базуються на оптичних явищах (інфрачервона спектроскопія, раманівська спектроскопія, фотоакустична спектроскопія, поляризаційні методи та ін.), принцип роботи яких полягає у реєстрації та спектральному аналізі відбитого або пропущеного випромінювання. Параметри оптичного випромінювання обираються в залежності від характеристик (товщини, кольору і структури шкіри, кісток та інших тканин) об’єкту досліджень (палець, язик, плече, мочка вуха та ін) [1]. Деякі складові крові мають спектральні властивості, аналогічні до глюкози, і спектри при цьому накладаються, що негативно впливає на результати. Для усунення цієї проблеми існують різні аналітичні та технічні методи. Найбільш ефективними є методи, що базуються на явищі раманівського розсіяння. На емісію розсіяного світла впливає вібрація молекул, яка залежить від концентрації глюкози [2].

Досить важливим аспектом технічної реалізації методу з використанням принципів раманівської спектроскопії є вибір джерела випромінювання, що забезпечить необхідний рівень фото-збудження саме молекул глюкози та виключить шкідливий фон флуоресценції. При цьому джерело випромінювання повинно мати досить велику потужність, оскільки раманівське розсіяння має інтенсивність як мінімум в чотири рази меншу, ніж інтенсивність падаючого випромінювання. Однак велика потужність може спричинити деструктивні процеси всередині біологічних тканин. Цю задачу можна вирішити шляхом збільшення діаметру падаючого лазерного пучка, при цьому потужність буде нижча, а ймовірність фото-збудження вища.

Метою даною роботи є визначення особливостей формування лазерного пучка змінного діаметру при неінвазивній глюкометрії з використанням еліпсоїдального рефлектору.

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Раманівський спектр зазвичай розглядається в ближньому інфрачервоному діапазоні, де спектр глюкози найбільше відрізняється від інших розсіювачів (води, меланіну, білірубіну та ін.). З огляду на проведений аналіз, найкраще себе зарекомендували вимірювальні пристрої, що працюють на довжині хвилі 830 нм.

У даній роботі для визначення концентрації глюкози в крові використовуються принципи раманівської спектроскопії в поєднанні з методом еліпсоїдальних рефлекторів (ЕР) [3]. Лазерне випромінювання, встановленого за допомогою колімуючої оптичної системи діаметру, падає на досліджувану ділянку передпліччя. Після взаємодії з поверхневими шарами шкіри, розсіяне назад випромінювання збирається в нижній фокальній площині ЕР, яка знаходиться у щільному контакті з досліджуваною ділянкою, у вигляді плями розсіяння та передається у верхню фокальну площину, що оптично спряжена з приймачем випромінювання. Конструктивні особливості ЕР дозволяють зібрати якомога більше розсіяного назад випромінювання, що дозволяє використовувати менш потужне джерело випромінювання за рахунок більшого діаметру пучка.

Розглянемо передумови формування лазерного пучка. Розмір пучка світла обмежується розміром фокального параметра еліпсоїдального рефлектору, який повинен забезпечити захват розсіяного назад випромінювання після взаємодії з досліджуваним середовищем. У даному випадку фокальний параметр еліпсоїдального рефлектора – 16,8 мм. Отже, з конструктивних міркувань, максимальний діаметр лазерного променю може становити 10 мм.

Авторами було проведено аналіз впливу діаметру лазерного пучка на просторовий розподіл розсіяного назад випромінювання шкірою людини в зоні передпліччя. Шкіра була представлена трьома шарами (епідерміс, дерма та жирова тканина), які характеризуються набором оптичних та геометричних параметрів. Для наближення модельного експерименту до реального доцільно також ввести четвертий шар (м’язи), який забезпечить напів-нескінченість, оскільки запропонована методика визначення глюкози працює у відбитому світлі. Оптичні та геометричні параметри досліджуваних шарів шкіри для довжини хвилі 830 нм наведені в таблиці 1 [4, 5].

Таблиця 1. Оптичні властивості шкіри передпліччя для довжини хвилі 830 нм [4,5]

| ***№*** | ***Шар шкіри*** | ***μa, см-1*** | ***μs, см-1*** | ***g*** | ***n*** | ***d, см*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Епідерміс | 0,51 | 23,37 | 0,86 | 1,417 | 0,0141 |
| 2 | Дерма | 0,40 | 14,02 | 0,86 | 1,385 | 0,25 |
| 3 | Жирова тканина | 1,1 | 11,62 | 0,86 | 1,44 | 0,072 |
| 4 | М’язи | 0,54 | 66,7 | 0,93 | 1,4 | 3 |

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Моделювання поширення лазерного випромінювання у середовищі біологічної тканини та вимірювального засобу проводилось прямим методом Монте Карло шляхом запуску 20 млн фотонів. Діаметр лазерного пучка з перетином рівномірного профілю змінювався від 0 до 10 мм.

У результаті проведеного моделювання було отримано серію фотометричних зображень у пропущеному та відбитому світлі, що представлені на рис.1. Отримані зображення свідчать про те, що зі збільшенням діаметру

лазерного пучка підвищується можливість формування просторового розподілу розсіяного назад світла, геометрія якого перевищить фокальний параметр EP.

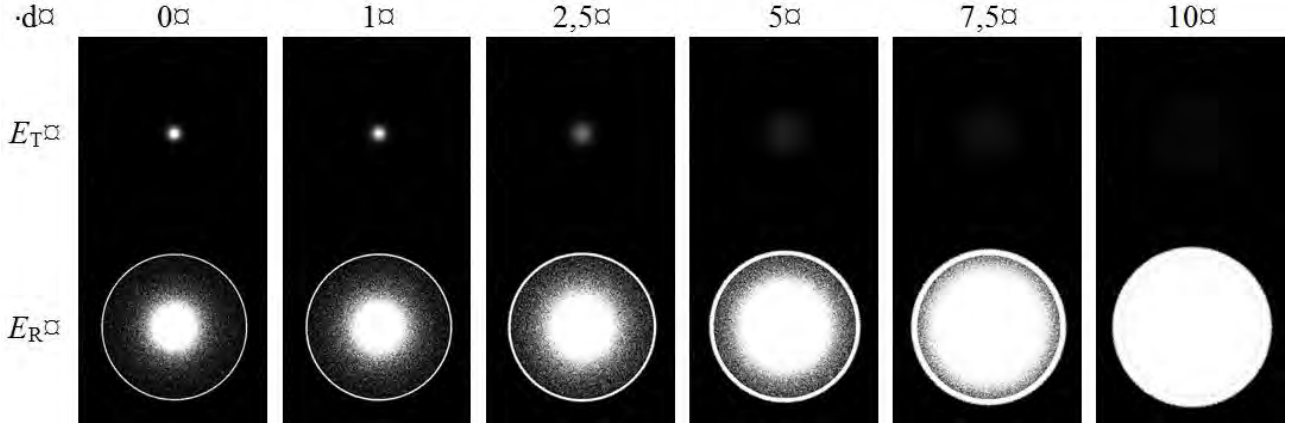



Рисунок 1. Фотометричні зображення плями розсіяння для різних різного діаметру лазерного пучка у пропущеному ET та відбитому ER світлі

Подальший розгляд особливостей формування лазерного випромінювання можливий в рамках зонного [6] або просторового аналізу [7]. Це дозволить підібрати оптимальні параметри лазерного джерела випромінювання при неінвазивній глюкометрії еліпсоїдальними рефлекторами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Т Кожем'яко В. П. Порівняльний аналіз методів та середовищ для неінвазивного моніторингу біологічних об'єктів / В. П. Кожем'яко, А.В. Турлюк, А.О. Яровенко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 2. – С. 118–126.

2. Poddar R. Non-Invasive Glucose Monitoring Techniques: A review and current trends / R. Poddar, J. Th. Andrews, P.Shukla, P. Sen [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2FarXiv.org%2Fabs%2F0810.5755v1.

3. Bezuglyi M. A. Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors / M. A. Bezuglyi, N.V. Pavlovets // Proc. OSA-SPIE . –2013. – vol. 8798.

4. Bashkatov A. N. Optical properties of skin, subcutaneous and muscle tissues: A review / A. N. Bashkatov, E. A. Genina & V. V. Tuchin // Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4, No. 1. – Pp. 9 – 38.

5. Tuchin V.V. Finger tissue model and blood perfused skin tissue phantom / V.V. Tuchin, A.N. Bashkatov, E.A. Genina et el. // Proc. of SPIE Vol. 7898 78980Z-1 - 78980Z-11.

6. Bezuglaya N.V. Spatial photometry of scattered radiation by biological objects / N.V.Bezuglaya, M.A. Bezuglyi // in Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 9032. – Pp.Q1 – Q5.

7. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, "Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors", Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018. DOI:10.21122/2220-9506-2018-9-1-56-65.

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

**УДК 621.38**

*А.П. Батурін, студент гр. ПБ-72мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# РЕОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПРИ ДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ

***Анотація.*** У статті досліджується зміна значень параметрів реографії під під час дії зовнішніх факторів ( ультразвуку) на біологічний об'єкт (БО).
На сьогоднішній день існує визнаний метод оцінка рівня заповнення кровоносних судин досліджуваної зони, оцінка тонусу на рівень розподільних артерій, рівень периферичного опору, стан венозного відтоку і т. д. У статті приведений огляд і аналіз сучасних методів і засобів реографії, встановлення перспективних напрямків її розвитку , методів дослідження і засобів експрес-реєстрації реографії периферичного кровотоку, експериментальні дослідження і реєстрації змін в реограмах кінцівок конкретної зони БО під впливом дії ультразвуку, розробка експериментального зразка портативного реографа.
***Ключові слова:*** ультразвук, реографія, імпедансна плетизмографія, зміни реографічних параметрів.

## ВСТУП

Найбільше число смертельних випадків в світі пов'язані із захворюваннями серця і кровоносної системи. Для ефективної оцінки функціонального стану системної гемодинаміки потрібно розробки нових ІТ-технологій діагностики, лікування та прогнозування стану організму. Звідси розробка досконалих методів досліджень, що забезпечують ефективну діагностику функціонального стану серцево-судинної системи, є вкрай актуальною і полягає в пошуку доступних для широкого застосування нових методів і показників кількісного визначення інтенсивності кровопостачання [1]. В даний час функціональна діагностика використовує прямі і непрямі методами оцінки стану серцево-судинної системи До них відноситься і реографія судинного кровотоку для кількісного та якісного аналізу значень параметрів серця і судинної системи [1,2]. Однак на достовірність отриманих реограм впливають зовнішні факторів - температура середовища, електромагнітні поля і акустичні коливання.

Оцінці впливу на дійсні значення параметрів реограмм в середовищі дії ультразвукових коливань присвячена дана робота. Експериментально досліджені зміни значень географічних показники під дією ультразвуку.

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Процесом визначення пульсових коливань кровонаповнення судин різних органів і тканин, заснований на графічній реєстрації змін повного електричного опору тканин досліджували наукові школи США, Європейського Союзу, України , Росії, Білорусії та дослідники такі як: А.А. Кедрів, М.М. Савицький, А.І. Науменко, Г.І. Енін, Б.І. Биск, Ю.Т. Пушкар, Л.Г. Терехова, М. І. Тищенко, М.А. Осколкова, Л.Б. М.А. Ронкін, Л.Б. Іванов, В.А. Макаров, С. Ю. Єрмолов, Б.С. Агте і багато ін. [1,2,3,4].

В даний час реографічних методів знайшли застосування для оцінки стану периферичного кровообігу кінцівках, кровонаповнення головного мозку, хребта, легень, а також в органах репродуктивної і видільної систем людини.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

При опису реограм включають оцінку рівня кровонаповнення судин досліджуваної зони, оцінку значень тонусу на рівні артерій поширення, оцінку еластичності судин, рівня периферичного опору і стану венозного відтоку.

Для оцінки рівня кровонаповнення зазвичай використовується амплітудна і частотна складова реосигнала. Розглянемо моделі ділянки тіла, верхньої кінцівки, при повздовжній реографії.

Представимо найпростішу модель ділянки тіла у вигляді чотирьох паралельно з'єднаних резисторів, один з яких моделює опір магістральних артерій при діастолічному тиску $R_Д$. Змінний опір пов'язане зі зміною діаметра судин $\bar{R}_Д$, опір тканин $R_T$, опір Ry , що змінюється в результаті дії ультразвукових коливань.

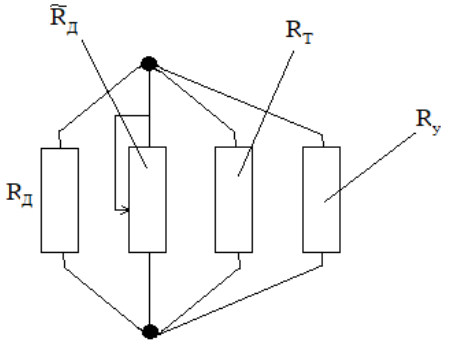



Рис. 1 Модель вимірюваного ділянки тіла людини

Зміна значень опору $RA$ кровотоку обчислюється зі співвідношення:

$$R_A = \rho_k \frac{L_A}{S_A} + R_y \qquad (1)$$

де $\rho_k$ питомий опір протікаючої крові, $L_A$ - довжина ділянки тіла між потенційними електродами, $S_A$ - площа поперечного перерізу артерії, $R_y$ - опір, що виникає в результаті дії ультразвукових коливань.

При такій моделі амплітуда реографічного сигналу буде дорівнювати різниці підсумкового опору (тобто опір чотирьох паралельно з'єднаних резисторів) при діастолічному тиску $R_Д$ і результуючий опір при систолічному тиску $R_C$ помноженому на коефіцієнта впливу ультразвуку $k_{у.впл}$. .

$$\partial R_{A\max} = \left[ (R_Д - R_C) \cdot k_{впл} \right] = \left( \frac{\rho_T^2 L_A \partial S_{A\max}}{\rho_k S_T^2} \right) \cdot k_{у.впл} \qquad (2)$$

Як бачимо, зміна значень $\partial R_{A\max}$ амплітуди реосигнала дійсно визначається величиною максимальної зміни поперечного перерізу артерії $\partial S_{A\max}$, зміна опору реографічного сигналу, а значить, кровонаповнення, але, крім цього, вона залежить від відстані між потенційними електродами $L_A$, еластичності і тонусу артерії (так як $\partial S_{A\max}$, залежить від еластичності і тонусу

теж), залежить від квадрата поперечного перерізу тіла $S_T^2$, залежить від серцевого викиду і від коефіцієнта впливу ультразвуку $k_{у.впл}$ [3,4].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження - залежність реографічних індексів від впливу параметрів ультразвуку. Для цього була створена дослідна установка в складі комплексу біомедичних досліджень «KL-720» та апарату ультразвукової терапії «УЗТ-1.01Ф» (частота коливань – 880 кГц, тривалість імпульсів 1-10 мс) неперервний(синусоїдальний) та в імпульсний режимі з регулюванням інтенсивності від 0,4 до 1,0 Вт/см2 та часу дії на біологічний об'єкт (БО)(Рис.1).

Для визначення динаміки змін реографічних параметрів біологічних тканин при впливі ультразвуку були проведені ряд експериментів, для 10 пацієнтів в нормальних умовах і з впливом ультразвуку інтенсивністю від 0,4 Вт / см2 до 1,0 Вт / см2, для чоловічої і жіночої статі, розрахунок реографічних індексів в табл.1.

Рис.2. Дослідна установка

Таблиця 1. Результати реографічних дослідів без впливу ультразвуку в нормальних умовах.

| *№* | *Стать* | *А (амплітуда)* | *РІ (Реографічний індекс) Ом* | *ІЕ (Індекс еластичності ) %* | *ПТС (Показник тонусу судин) %* | *ІПО (Індекс перефиричного опору) %* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Пацієнт | Чол. | 0.16 | 1.5 | 87.09 | 12.85 | 77.77 |
| Пацієнт | Чол. | 0.24 | 1.7 | 82.05 | 13.22 | 78.12 |
| Пацієнт | Чол. | 0.25 | 2.3 | 82.85 | 13.14 | 75.86 |
| Пацієнт | Чол. | 0.25 | 2.3 | 86.2 | 13.00 | 80 |
| Пацієнт | Чол. | 0.17 | 1.6 | 82.92 | 14.33 | 73.52 |
| Сер. зн. | | 0.21 | 1.88 | 84.22 | 13.3 | 77.05 |
| Пацієнт | Жін. | 0.27 | 1.6 | 86.66 | 13.07 | 76.92 |
| Пацієнт | Жін. | 0.25 | 2.5 | 84.8 | 13.68 | 78.57 |
| Пацієнт | Жін. | 0.15 | 1.5 | 88.57 | 13.51 | 80.64 |
| Пацієнт | Жін. | 0.17 | 2.5 | 91.17 | 13.61 | 74.19 |
| Пацієнт | Жін. | 0.18 | 1.6 | 82.14 | 14.72 | 86.95 |
| Сер. зн. | | 0.20 | 1.94 | 86.66 | 13.71 | 79.45 |

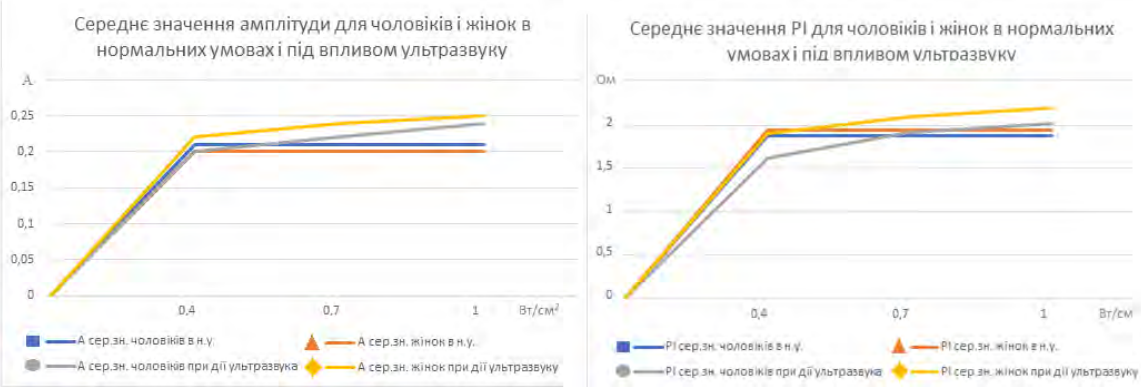



Рисунок 3,4 Графіки середніх показники амплітуди А, реографічних індексів РІ для чоловіків і жінок в нормальних умовах і під впливом ультразвуку

## ВИСНОВКИ

В результаті досліджень встановлено, що при впливі ультразвуку терапевтичних інтенсивностей змінюється швидкість кровотоку, кровонаповнення органів, пульс. На рис.3,4 показані амплітуди А, реографічних індексів РІ для чоловіків і жінок в нормальних умовах і при впливі ультразвуку різних інтенсивностей. Встановлено зміни параметрів реограм по амплітуді та частоті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф. Тимчик Г. С., Чухраєв М.В. Кравченко АЮ. - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. -184 с.

2. Батурин А.П., Терещенко Н.Ф. Влияние ультразвука на изменения реографических характеристик// Новые направления развития приборостроения. Материалы 11-й Международной научно-техничес. конфер. молодых ученых и студ. 18-20 апреля 2018 г. / Минск, БНТУ, 2018,- 497 с.

3. Терещенко М.Ф. Дослідження параметрів впливу ультразвукового сигнала на биологічні структури./ М..Ф. Терещенко, А.В. Кирилова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування.-2011.- Вип.41 . С.152-161

4. Батурін А.П., Терещенко М.Ф. Вплив ультразвуку на реографічні показники біологічних тканин при фізіотерапевтичних процедурах // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 29 (68) № 5, ч.1, 2018 с.33-38

***Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.***

**УДК 681.784**

*А.О. Большаков, студент гр. ПБ-72мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ

**Анотоція.** У роботі розглянуті методи та способи діагностики стану серцево-судинної системи на основі методу плетизмографії. Розглянуто переваги та недоліки застосування різних методів виміру показників та розроблено електричну схему пристрою для проведення фотоплетизмографії.

**Ключові слова:** кров, пульс, плетизмографія, серцево-судинна система, пульсова хвиля, еластичність (пружність) судин.

## ВСТУП

Актуальною проблемою сучасних медичних досліджень є визначення параметрів, які ідентифікують стан серцево – судинної системи організму [1]. Подібні дослідження можливі лише за створення нових засобів медичної техніки.

Лівий шлуночок при викиданні порції крові в аорту в процесі свого скорочення створює невелику за протяжністю область підвищеного тиску. Поширення цієї області по артеріях називають пульсовою хвилею. Хвиля, поширюючись, призводить до їх короткочасного розширення. А пружні властивості судин і періодичне розслаблення серцевого м'яза дають можливість поширюватися пульсовій хвилі кровоносною системою людини і рухати кров від серця до найвіддаленіших частин тіла людини. Параметри пульсової хвилі дають можливість оцінити показники серцево – судинної системи організму: артеріальний тиск, еластичність (пружність) судин, товщину стінок судин, діаметр судин, загальний тонус судин і т.д [2]. Це, в свою чергу, може дати достатньо інформації для оцінки стану серцево – судинної системи в цілому, а також і її окремих ділянок, що здійснюють кровопостачання окремих органів людини. Тому методам дослідження і аналізу пульсових хвиль вчені приділяють багато уваги.

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ

З розвитком науки, техніки і технологій з'являються нові і вдосконалюються більш ранні методи досліджень. Методи отримання та реєстрації під час досліджень пульсових хвиль розділяють на дві групи: прямі та непрямі. До того ж прямі і не прямі методи дослідження пульсової хвилі, при яких вимірюються зміни об'єму ділянки тіла пацієнта, називають плетизмографією. Плетизмографію поділяють на: фотоплетизмографію, механічну плетизмографію та електроплетизмографію. При прямих дослідженнях пульсова хвиля безпосередньо впливає на сенсор приладу для реєстрації параметрів пульсової хвилі. Тому датчик (сенсор) приладу повинен знаходитися безпосередньо в середовищі, де поширюється пульсова хвиля, тобто в крові пацієнта. Таке можливе з застосуванням катетерів і відповідно в великих кровоносних судинах. Такий тип досліджень дає дуже точну інформацію про параметри пульсової хвилі, але має труднощі з процедурою розміщення чутливого сенсора в судинах і не дає змоги отримати інформацію про пульсову хвилю в периферійних ділянках серцево – судинної системи, де

діаметри кровоносних судин є малими. На відміну від прямих методів, непрямі методи знімання інформації та реєстрації параметрів пульсової хвилі використовують реєстрацію інших фізичних явищ, що супроводжують поширення по кровоносній системі пульсової хвилі. До непрямих методи вимірювань відносять: механічний, ємнісний, електроіндукційний, п’єзоелектричний, оптоелектронний, ультразвуковий, імпедансний [3].

Всі перелічені вище непрямі методи реєстрації пульсової хвиль мають свої як переваги, так і недоліки. Недоліки методів полягають в наявності електричних контактів з пацієнтом, неможливість довготривалого зняття показників без впливу на процеси, що протікають в досліджуваних тканинах, відсутність одночасної обробки результатів досліджень за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, складності фіксування датчиків, громіздкістю обладнання. Тому вдосконалення цих методів є постійним процесом. Проаналізувавши і порівнявши непрямі методи дослідження пульсових хвиль, було виявлено, що оптоелектронний метод непрямого знімання та реєстрації пульсової хвилі, тобто фотоплетизмографія, має перспективність свого застосування. Перевагами цього методу є: простота використання, зручність для пацієнта, відсутність побічних ефектів, неінвазивність, достатньо висока точність, електростійкість до перешкод, висока чутливість до мінімальних змін насичення тканин досліджуваного органу кров’ю, механічна стійкість до перешкод. Фотоплетизмографія реєструє зміни об'єму кровонаповнення частини тіла за допомогою реєстрації інтенсивності електромагнітного випромінювання. Всі дослідження методом фотоплетизмографії відбуваються за допомогою реєстрації інтенсивності випромінювання в діапазоні від інфрачервоного (1 мкм) до видимого світла (0,4 мкм) після взаємодії такого випромінювання з тканинами організму пацієнта. Об'єктами досліджень при фотоплетизмографії є шкіра та слизові оболонки [4].

## РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ

В лабораторних умовах було створено схему реєстрації пульсової хвилі на основі мікроконтролера, яка використовує оптичний датчик для вимірювання зміни об’єму крові на кінчику пальця з кожним серцебиттям. Датчик складається з інфрачервоного світлодіода та фотодіода, розміщеного поруч. Випромінювальний діод передає інфрачервоне світло в кінчик пальця, а фотодіод поглинає світло що відбилося назад [5]. Інтенсивність відбитого світла залежить від об’єму крові всередині пальця. Таким чином, кожне серцебиття частково змінює кількість відбитого інфрачервоного світла, яке детектується фотодіодом [6]. При коректному формуванні сигналу ця невелика зміна амплітуди відбитого світла може бути перетворена в імпульс. Потім імпульси можна порахувати мікроконтролером для визначення частоти серцевих скорочень. Фотоплетизмограф, який зображений на рисунку 1, складається з таких основних блоків:

1. Блок живлення. Забезпечує роботу пристрою в цілому, надаючи електроенергію. Блок складається з трансформатора, випрямних діодів,

стабілізаторів напруги, а також каскаду який забезпечуватиме подачу стабільного струму для оптичної частини пристрою.

2. Джерело випромінювання електромагнітної хвилі відповідної довжини хвилі. Необхідне для генерації безперервного світлового потоку на обмежену ділянку тіла людини.

3. Фотоелектричний приймач електромагнітної хвилі відповідної довжини хвилі з перетворювачем. Сприймає світловий потік від джерела випромінювання, яке було видозмінене в результаті проходження чи відбивання від біологічного об’єкту.

4. Підсилювач сигналу від перетворювача фотоелектричного приймача. Блок складається з аналогового RC фільтру для фільтрації небажаних артефактів і виділення корисного сигналу та підсилювача, який забезпечує поступове підсилення слабкого сигналу, що надходить від блоку фотодатчика та забезпечує достатню потужність сигналу на виході для блимання червоного світлодіода на виході, який буде світитися в такт з серцебиттям. Для блокування постійної компоненти сигналу необхідно встановити полярний конденсатор на вході підсилювача.

5. Система реєстрації, обробки та зберігання сигналу від підсилювача. Включає мікропроцесор Atmega8 для збору, аналізу інформації, а також дисплею, світлодіодною та звуковою індикацією поточної інформації отриманих даних про кровонаповненість ділянки тіла людини. Додатково до схеми можна під’єднати осцилограф для оцифрування аналогового сигналу та подальшій обробці за допомогою програмного забезпечення на персональному комп’ютері.

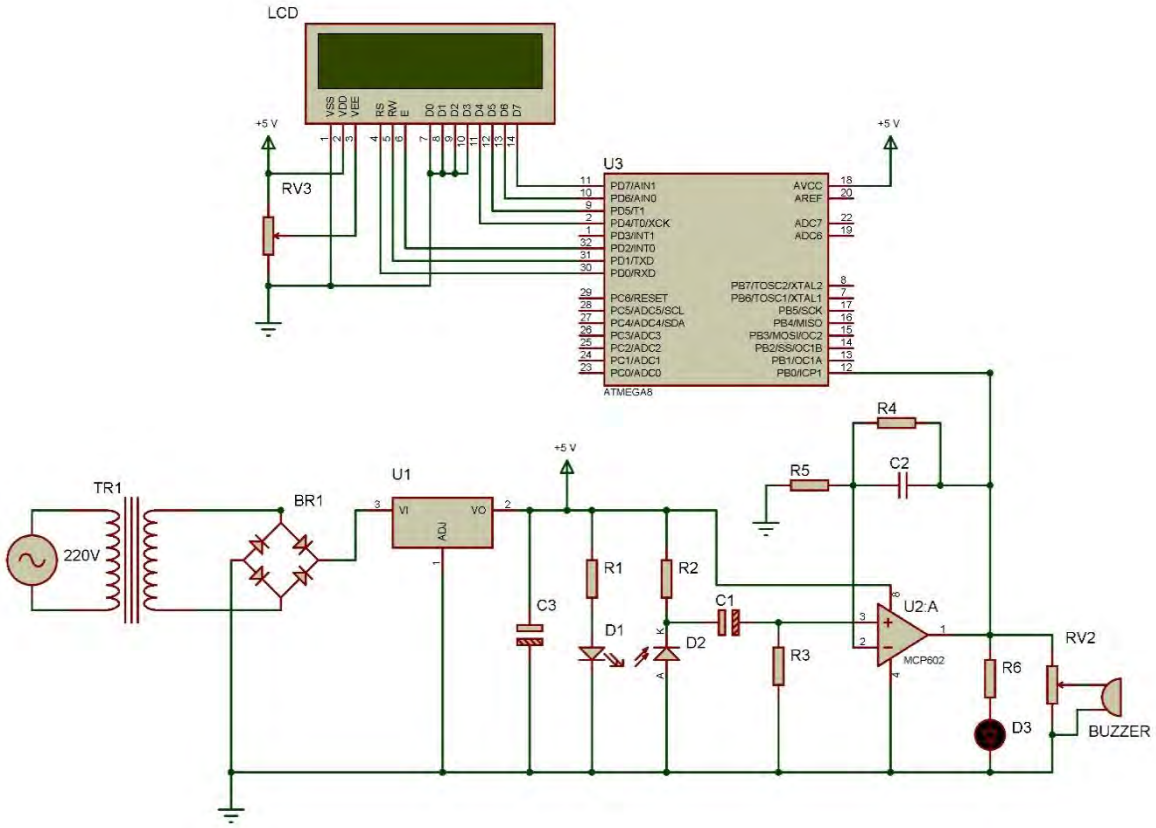


Рисунок 1. Електрична схема пристрою.

Пристрій для діагностики стану серцево-судинної системи, розроблений на базі мікропроцесора Atmega8, може бути використаний для обрахунку кількості серцевих скорочень за хвилину, можливість обрахунку періоду між певними фазами роботи серця, визначення відхилень, пов'язаних із захворюваннями судинної системи людини, аперіодичності роботи шлуночків серця, закупорюванням деякої ділянки кровоносної системи холестерином та інше.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було розглянуто методи реєстрації змін кровонасичення тканин організму пацієнта в домашніх та амбулаторних умовах. Розглянуто переваги та недоліки методик аналізу. Обгрунтовано простоту, зручність, надійність і перспективність методу фотоплетизмографії. Проведено розробку діагностичного пристрою для реєстрації змін кровонасичення тканин. Описано схему побудови приладу на основі методу фотоплетизмографії. Розглянуто основні блоки схеми, їх функціональне призначення та взаємодію між собою. Створено електричну схему пристрою та показано особливості його побудови. Подальші напрямки наукового дослідження полягають у створенні засад для створення схемотехнічних рішень інтегрованого приладу з розширеними функціональними можливостями, також автоматизації зняття показників, постановки діагнозу, визначення методів і способів лікування пацієнта.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковенко И.А., Клочко Т.Р., Леус Е.А. Автоматизация обработки ЭКГ для повышения достоверности диагноза // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 156-163.

2. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения: Пер. с англ./Под ред. С.А. Регирера и В.М. Хаютина. – М.: Мир, 1981.– 624 с.

3. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: Справочник / Под ред. Т.С. Виноградовой. М.: Медицина, 1986. - 230 с.

4. Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати. Ч. 1 - Неінвазивні методи діагностики серцево-судинної системи: Навч. посібник / Павлов С., Кожем'яко В., Петрук В. та ін. - Вінниця: ВДТУ, 2003. - 115 с.

5. Павлов С. В. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи : монографія / С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П. Ф. Колісник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2007. – 254 с.

6. Павлов С.В. Фізичні основи біомедичної оптики / С.В. Павлов, В.П. Кожем'яко, П.Ф. Колісник та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 152 с.

***Науковий керівник: кандидат технічних наук Клочко Т.Р.***

**УДК 612.821**

*А.Ю.Вождаєнко, студент гр. ПП-72мс, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент, к.т.н., доц.Стельмах Н.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ В РІЗНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАНАХ

***Анотація В роботі розглянуто емоційні стани людини такі як тривожний та стад депресії. Виконано аналіз досліджень електричної активності мозку., що представлені в роботах відомих світових вчених.*** Серед всіх активних ритмів емоційного реагування, що зафіксовано ЕЕГ було виділено альфа-, бета- і тета-ритми. В результаті експериментальних досліджень виявлену чіткі зміни реакції нервової системи людини при моделюванні різних функціональних станах, а саме тривожному та депресивному.

***Ключові слова:*** електроенцефалограмма, ритми, головний мозок, частота, амплітуда.

## ВСТУП

Тривожно-депресивний розлад - хвороба сучасності, яка суттєво знижує якість життя людини, який все частіше виникає у людей в умовах сучасної глобалізації та динамічного розвитку суспільства.

Реєстрація електричної активності мозку давно застосовується для вивчення нейрофізіологічних основ тривожних станів. Різноманітні емоційні стани людини знаходять відображення в електроенцефалограмі головного мозку (ЕЕГ) швидше за все у зміні співвідношення основних ритмів: дельта, тета, альфа і бета. Зміни ЕЕГ, характерні для емоцій, найбільш чітко виникають в лобових областях. За деякими даними негативні емоційні стани супроводжуються посиленням альфа-активності в правому і посиленням дельта-активності в лівій півкулі [1].

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Реєстрація електричної активності мозку застосовується для вивчення нейрофізіологічних основ тривожно-депресивних станів ще з початку XX століття. Перші дослідження електричної активності показали, що енцефалограма головного мозку складається з ритмічних процесів. Ганс Бергер зареєстрував в 1929 р [2] електроенцефалограму (ЕЕГ) людини, виділивши альфа- і бета-ритми. У всіх аналогічних роботах зверталась увага на домінуючі частоти, а малоамплітудні, як правило йшли з поля зору дослідників. Серед всіх ритмів ЕЕГ найбільш ймовірно відображення знака емоційного реагування в альфа-, бета- і тета-ритмі. Тепер ми знаємо, що альфа-хвилі та інші електричні і магнітні коливання в мозку надзвичайно наочні, надзвичайно індивідуальні, постійні в своєму прояві і, що абсолютно безсумнівно, пов'язані з розумовою діяльністю.

Зауважимо, що альфа-хвилі (частота 8-13,5 Гц) спостерігаються лише у людини. Грей Уолтер і американський психолог Уоррен Мак-Каллок висловили досить обґрунтовану гіпотезу про те, що альфа-ритм характеризує процес внутрішнього "сканування" уявних образів при зосередженні уваги на якій-небудь розумовій проблемі. Спостерігається, наприклад, цікавий збіг між частотою альфа-хвиль і періодом інерції зорового сприйняття (приблизно 0.1 секунди). Коли ми закриваємо очі, наші альфа-ритми посилюються і набувають

характеру довгих рядів синусоїдальних коливань. У більшості людей альфа-хвилі зникають, коли вони відкривають очі і перед ними виникає та чи інша реальна картина. Це дозволяє думати, що альфа-ритм - це процес скануючих пошуків патерну, затухаючий, коли патерн знайдений.

Коли ми починаємо відчувати сонливість, на електроенцефалограмі насамперед спостерігається зменшення інтенсивності альфа-хвиль, властивих станом неспання, і їх поступове заміщення тета-ритмами. У спокійно сплячої людини домінують повільні дельта-хвилі, хоча під час сну можуть виникати кілька періодів появи швидких коливань - веретеноподібних груп хвиль сигма-ритму з частотою близько 14 циклів в секунду - сплячий бачить сни.

Тут слід відзначити той факт, що у більшості людей час сну і ослаблення альфа-ритмів відповідає нічному часу доби. Грей Уолтер вважає, що сон - це спадщина далекого минулого, коли при настанні ночі людина відчувала потребу усунутись від активної діяльності.

У деяких дослідженнях було встановлено, що альфа-ритм пригнічується при емоційних переживаннях [3], а зміна його на дельта-ритм відображає розвиток стресової реакції. Інші дані свідчать про специфічність відображення різних емоцій в потужності альфа-ритму. Наприклад, такий результат був отриманий Костюніна і Куликовим, які досліджували частотні характеристики спектрів ЕЕГ при уяві випробуваним різних емоцій. Вони отримали наступні дані: при «страху» і «горе» відбувається придушення альфа-ритму, а при «радості» і «гніві» - зростання [4]. Бета-ритм (частота 18-30 Гц) значно посилюється при різних видах діяльності, пов'язаних з активацією робочих механізмів мозку. Є думка, що найбільш сильне збільшення потужності бета-ритму відбувається при стресі [5]. Тета-ритм (4-8 Гц). Питання про функціональне значення тета-ритму по теперішній час є предметом дискусій. Однак існують факти, що дозволяють розглядати цей ритм як показник стану психофізіологічної спрямованості людини, індикатор емоційного збудження, «ритм напруги». Дельта-ритм (0,5-4 Гц) виявляється чітко при гальмівних станах кори і пухлинах мозку. Існують також дані про зміну гамма-ритму (30-90 Гц) під впливом емоційних реакцій. Так було показано асиметричне зміна в гамма-ритмі при пред'явленні позитивною, негативною і нейтральною емоціогенной стимуляції. Потужність ритміки 30-50 Гц була максимальною в тім'яних відведеннях при негативній стимуляції. Таким чином, за даними різних авторів емоційні реакції, стану тривожності, напруженості і стресу знаходять своє відображення у всьому частотному діапазоні ЕЕГ.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для виявлення зміни реакції нервової системи людини, та встановлення можливих нервових розладів, в залежності від її функціонального стану, з урахуванням особливостей альфа-ритму ЕЕГ була досліджена контрольна група із 20 осіб для добровільного спостереження. Діагностика проводилася за загально прийнятими методиками моделювання впливу на емоційно-психологчний стан за допомогою зовнішніх подразників. International Scientific Journal “Internauka” http://www.inter-nauka.com/ критеріями МКБ-10.

Електроенцефалограми реєстрували в стані спокійного неспання за допомогою апаратного комплексу «Система біомедичних досліджень» KL-720 (Тайвань). Запис ЕЕГ здійснювався в основних контрольних точках реєстації альфа- ритму [5]. Дослідження проводилось згідно гендерного розподілу. Серед досліджуваних було 10 осіб жіночої статі і 10 осіб чоловічої статі, які були розподілені на дві окремі групи людей, в зв'язку з їх різним реагуванням на емоційно-психологічно зміни в різноманітних життєвих ситуаціях. Отже експеримент містив наступні етапи:

1. Кожному з досліджуваних людей було виконано реєстрацію альфа-ритму ЕЕГ в стані спокійного неспання, тобто в нормальному стані.
2. Реєстрація альфа- ритму ЕЕГ здійснювалась повторно в умовах моделювання тривожного-депресивного стану під дією впливу ультразвукових коливань.
3. Електроенцефалограма з альфа- ритмами реєструвалась в умовах моделювання стресового стану досліджуваної людини за рахунок впливу низько інтенсивного лазерного випромінювання.
4. Результат другого та третього вимірювання порівнювали з результатом першої реєстрації сигналів альфа- ритму ЕЕГ в стані спокійного неспання. Аналізували зміну значень амплітуди, частоти коливань та форми альфа- ритмів.

Приклад графіка запису альфа- ритмів ЕЕГ одного з досліджуваних наведено на рисунку 1, де на вісі абсцис є частота сигналу (Гц), а на вісі ординат – амплітуда спектральної потужності.

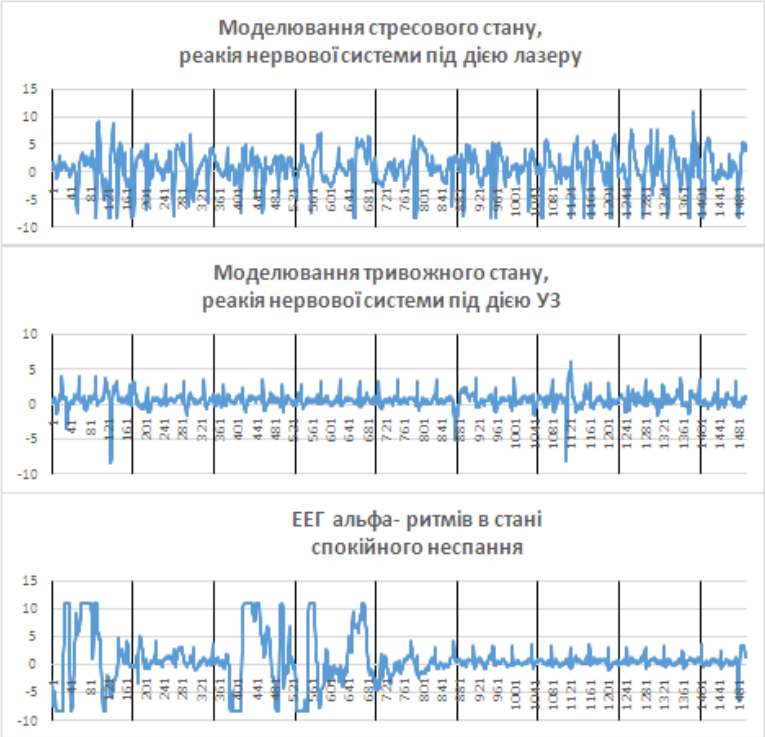



Рисунок 1. Графіки реєстрації сигналів альфа- ритмів ЕЕГ при моделюванні різних функціональних станах нервової системи людини

## ВИСНОВКИ

Таким чином, виконані дослідження коливань сигналів альфа- ритму ЕЕГ при різних функціональних станах нервової системи людини дозволили виявити зміну реакції при нормальному, та змодельованих тривожно-деприсивному та стресовому станах людини.

Так під дією ультразвуку і відповідно тривожному стані людини спостерігалось як у жінок так і в чоловіків зменшення амплітуди коливань альфа- ритму ЕЕГ на 10-15% та зростання частоти на 8%. При моделюванні стресового стану під дією лазерного випромінювання відбувалось суттєве зростання амплітуди на 18-25% і збільшення частоти на 12-15% зі зміною форми альфа - коливань.

На підставі даних про природу електричної активності мозку (а саме, в загальних рисах: більш швидкі хвилі (бета, альфа) генеруються в більш поверхневих структурах мозку, більш повільні (тета, дельта) в більш глибоких, крім того, відомо, що кора приймає участь в модуляції всіх коркових ритмів), можна сказати, що зниження потужності альфа ритму і зростання потужності дельта ритму при переживанні почуття тривоги відображає реакцію активації. З огляду на локалізацію в центральних областях, ці зміни можна інтерпретувати як посилення активності підкіркових структур. Швидше за все в даному випадку люди відчувають тривогу, яка спонукає до дії, оскільки відбувається активація підкіркових структур і деякі ознаки гальмування кори великих півкуль. У зв'язку з цим тривога, яку відчувають люди спонукає їх на моторні дії, тобто активація уникнення тієї ситуації, в яку вони потрапили.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kanda P.A.M., Anghinah R., Smidt M.T., Silva J.M. The clinical use of quantitative EEG in cognitive disorders // Dementia & Neuropsychologia. 2009. Vol. 3, N 3. P. 195–203.

2. Белялов Ф.И. Психические расстройства в практике терапевта. — Иркутск: РИО ИГМАПО, 2013. — 327 с.

3. *Chang B.S., Ives J.R., Schomer D. L.* // J. Clin. Neurophysiology. – 2002. – Vol. 19. – P. 152–154.

4. Цокота М.В. Особливості обробки електроенцифалографічних сигналів для діагностики та корекції тревожно-депрессивніх розладів у студентів / Цокота М.В., Тимчик Г.С., Терещенко М.Ф.,Висоух С.П., .Чухраєв М.В // *International Scientific Journal "Internauka"*Научный журнал "Интернаука" (2017 год) / Выпуск №4 (Апрель) с.67-72. https://www.inter-nauka.com/issues/?author=2790

5. Костюніна М. Б., Куликов М. А. Частотні характеристики спектрів ЕЕГ при емоціях // Журнал ВНД 1995 Т. 45. № 3

***Наук. керівник – к.т.н., доц. СтельмахН.В.***

**УДК 535.2:616.71**

*Р.О. Воронков студент гр. ПБ-72мп, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОПТИЧНА БІОМЕТРІЯ ТКАНИН МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ МЕТОДОМ ДЗЕРКАЛЬНИХ ЕЛІПСОЇДІВ ОБЕРТАННЯ

***Анотація: У роботі представлені результати Монте Карло симуляції поширення оптичного випромінювання для залозистої тканини молочної залози людини у нормі на довжині хвилі 700 нм. Отриманий розподіл освітленості різних зон фотометричних зображень при біометрії еліпсоїдальними рефлекторами в залежності від товщини зразка досліджуваної біологічної тканини.***

***Ключові слова:*** ***еліпсоїд обертання, біометрія, еліпсоїдальний рефлектор, фотометрія молочна залоза.***

## ВСТУП

Унаслідок оптичної неоднорідності біологічних середовищ вплив лазерного випромінювання на тканини є вибірковим, а ступінь проникнення залежить від їх фізіологічного стану. Об'ємне розсіяння при цьому вважається основною характеристикою, що визначає ступінь прямого або зворотного напрямку поширення оптичного випромінювання в біологічних тканинах (БТ). Джерелами розсіяння світла в БТ вважають відмінність в значеннях показників заломлення компонентів їх структури (тобто мітохондрій та ядра з цитоплазмою клітин або внутрішньо-тканинної рідини зі структурними елементами сполучної тканини) [1]. Отже дані структурні елементи (їх розміри та кількість) визначають ступінь нормального або патологічного функціонування органу, до складу якого входить досліджувана БТ. Звідси випливає, що зміни в цих структурних елементах спричиняють зміни в характері розсіяння світла, яке для точності діагностики необхідно зареєструвати з мінімальними втратами та обробити.

З позицій кількісної оцінки широко використовуються такі оптичні властивості БТ, як коефіцієнти розсіяння та поглинання, а також фактор анізотропії розсіяння. Показник заломлення, товщина досліджуваного зразка та параметри вимірювального засобу також належать до визначальних величин, що характеризують взаємодію оптичного випромінювання з БТ та його реєстрацію. Їх отримання можливо шляхом розв'язання оберненої задачі теорії переносу випромінювання (ТПВ), наприклад, в рамках прямого й інверсного методів Монте Карло (МК). Метод МК використовується при вирішенні основного рівняння ТПВ з будь-якою заданою точністю, за умови, що забезпечена необхідна обчислювальна здатність. Метод МК вважається «золотим стандартом» серед методів біофотоніки, так як оптичні властивості, отримані саме при його застосуванні, використовуються в якості еталонних для менш обчислювально-затратних чисельних методів (наближення першого порядку, потокових моделей, методу додавання-подвоєння та інш.) [2].

Підвищення питомої кількості зареєстрованого світла, розсіяного в прямому і зворотному напрямку в зразку БТ успішно вирішено при використанні фотометричних засобів з дзеркальними еліпсоїдами обертання в якості приймально-інтегруючих систем [3,4]. При цьому технологія виготовлення таких засобів теж досить добре апробована, а контроль форми

поверхні, і, як наслідок, якості функціонування еліпсоїдальних рефлекторів розроблений [5,6].

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

У даній роботі проведений чисельний експеримент з моделювання поширення оптичного колімованого випромінювання в системі «еліпсоїдальний рефлектор + біологічна тканина» для різно-товщинних зразків залозистої тканини молочної залози людини в нормі. Модель передбачала зміну товщини досліджуваної тканини в інтервалі, мінімальне значення якого відповідає однократному розсіянню, а максимальне – визначає анатомічну здатність отримання реального зразка і умовах експерименту *in vitro*. При симуляції МК були використані наступні оптичні властивості залозистої тканини, що відповідають довжині хвилі лазерного випромінювання 700 нм,: коефіцієнт розсіяння та поглинання $284 см^{-1}$ та $0{,}47 см^{-1}$ відповідно, фактор анізотропії розсіяння $g = 0{,}95$ [7,8], показник заломлення 1,4.

У результаті були отримані типові [3] фотометричні зображення у відбитому світлі і у світлі, що пройшло крізь зразок, обробка яких була проведена за аналогією з [4]. На рис.1 представлені графіки залежності освітленості зовнішнього і середнього кільця фотометричних зображень від товщини зразка в відбитому (рис.1.а) та пропущеному (рис.1.б) світлі. Слід зауважити, що наведені результати отримані при симуляції МК руху 20 млн фотонів в фотометричній системі за результатами одного запуску. Як зазначалося в [3,4], достатнім для адекватності результатів є запуск симуляції не менше як 10 раз, що спричинить згладжування і однозначність кривих з одночасним збільшенням часу розрахунку. Цей процес буде проведений і представлений в наступних роботах авторів.

а)

б)

Рис.1 Освітленість зовнішнього (а) і середнього (б) кільця фотометричних зображень для залозистої тканини молочної залози у відбитому (помаранчева лінія) та пропущеному (синя лінія) світлі

Отримані результати є біометрично значущими, проте їх практична цінність буде набагато більшою при порівнянні з результатами симуляції поширення оптичного випромінювання в зразках патологічно зміненої тканини молочної залози, зокрема з карциномою.

## ВИСНОВОК

Дана робота характеризує процес симуляції для опису ефектів світлорозсіяння в біологічних тканинах, що знаходяться в умовних станах норми та патологічної зміни, і, очевидно, потребує подальшого опрацювання з впровадженням зразків реальних БТ. При цьому і кількість ітерацій, і крок моделювання повинні бути збільшені. Використання даного методу дозволить з більшою ймовірністю і доступністю визначити ступінь розвитку патології, а відтак і стан пацієнта.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Симоненко В. В. Оптические свойства биологических тканей / В. В. Симоненко, Г. В. Тучин., 2007. – 48 с
2. Сетейкин А. Ю. Применение метода Монте-Карло для задач биофотоники: Изд-во АмГУ. / Сетейкин Алексей Юрьевич, 2014. – 68 с.
3. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, I.V. Helich, “Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media”, Appl Opt., no. 56 (30), pp. 8520–8526, 2017.
4. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, S. Kostuk, “Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors”, Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.
5. Безуглий М. О. Особливості виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів фотометрів / М. О. Безуглий, І. І. Синявський, Н. В. Безугла, А. Г. Козловський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2016. – №2 (52). – С.76-81. [На украинском].
6. Безуглий М.О. Контроль форми еліпсоїдальних рефлекторів біомедичних фотометрів / М.О. Безуглий, Лінючева О.В., Безугла Н.В., Бик М.В., Костюк С.А // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017, №1 (53). – С.62-69. [На украинском].
7. Alterations of the extracellular matrix in ovarian cancer studied by Second Harmonic Generation imaging microscopy / O.Nadiarnykh, R. B. LaComb, M. A. Brewer, P. J. Campagnola // BMC Cancer. – 2010.
8. LaComb R. B. Quantitative Second Harmonic Generation Imaging of the Diseased State Osteogenesis Imperfecta: Experiment and Simulation / R. B. LaComb, O. Nadiarnykh, P. J. Campagnola // Biophysical Journal. – 2008. – vol. 94. – Pp. 4504–4514.

**УДК 681.7.012:681.785.4**

*І.В. Геліч, студент гр. ПБ-72мп*
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

# ВПЛИВ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ФОКАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ НА ФУНКЦІОНАЛ ЕЛІПСОЇДАЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА

***Анотація.*** У роботі на основі модельного експерименту проаналізовано вплив дискретизації першої фокальної площини еліпсоїдального рефлектора на функціональні можливості при побудові фотометричних зображень плями розсіяння у другій фокальній площині. Розглянуто вплив кількості запущених променів на відносне відхилення.

**Ключові слова:** еліпсоїд обертання, рефлектор, фотометрія, асферична поверхня.

## ВСТУП

Використання елементів з несферичними поверхнями в оптичних системах для побудови зображень виявилося доцільним з точки зору абераційної якості зображення та функціонування системи. У той же час номенклатура незображуючих оптичних систем з асферичними поверхнями стрімко збільшується. Широко використовуються дзеркальні або дзеркально-лінзові системи, що містять щонайменше один еліпсоїдальний рефлектор (ЕР) з внутрішньою або зовнішньою поверхнею відбиття. Було доведено доцільність використання не тільки фокальної, але і бічної поверхні рефлектора. Наприклад, фотометри з еліпсоїдальними відбивачами з внутрішньою дзеркальною поверхнею представлені як сучасний клас систем для дослідження оптичних властивостей середовищ. Вони працюють з відбитим, пропущеним або відбитим та пропущеним світлом і дозволяють на підставі виміряних коефіцієнтів дифузного та колімованого пропускання (відбиття) визначати оптичні властивості розсіювальних середовищ при біомедичній діагностиці [1]. Використовуючи пристрої з ЕР переважно мають справу з реєстрацією повного пропускання, дифузного пропускання та дифузного відбиття, а також колімованого пропускання. При виготовленні ЕР з внутрішньою відбиваючою поверхнею необхідно враховувати численні чинники, зокрема: фізичні (оптичні), механічні, технологічні, вартісні тощо. Основною характеристикою для рефлектора є коефіцієнт відбиття його робочої поверхні. Найбільш високі показники за цими параметрам мають: срібло, золото, алюміній, паладій, хром, марганець і т.д. При використанні дзеркального еліпсоїда обертання кількість діючих оптичних відбиваючих поверхонь зменшується до однієї. Такі оптичні елементи можуть бути використані при побудові приладів для контролю шорсткої поверхні або вимірювальних систем біомедичного призначення.

Незалежно від технології виготовлення ЕР [2] правильність функціонування фотометрів з їх використанням потребує контролю точності отриманої форми [3], а також оцінки її відхилення від номінальної, що задається рівнянням еліпсоїду обертання. Деякі типи фотометрів мають конструкцію, що забезпечує можливість реєстрації, крім зазначених, ще й колімованого відбиття. Це підтверджує той факт, що даний клас пристроїв дозволяє отримати більш ніж необхідну інформацію для дослідження оптичних властивостей біологічного середовища. Фотометри з еліпсоїдальним рефлектором представлені як нові вимірювальні засоби для оптичної

діагностики розсіювальних середовищ при визначені шорсткості, а також при дослідженні оптичних властивостей біологічних тканин. Основною конструктивною особливістю таких фотометрів є його технічне виконання, яке базується на використанні відбивача з внутрішньою відбиваючою поверхнею у вигляді усіченого по фокальним площинам еліпсоїда обертання. Спектральний діапазон роботи фотометра з ЕР залежить від параметрів лазера і відбиваючих властивостей внутрішньої дзеркальної поверхні еліпсоїда обертання. З огляду на функціональні особливості роботи таких вимірювальних засобів та фізико-математичну модель поширення оптичного випромінювання в біологічному середовищі необхідно враховувати розподіл енергії в поперечному перетині падаючого пучка променів [4]. Окрім цього аналогічний вплив здійснюється і на просторовий розподіл розсіяного випромінювання в зразку досліджуваного середовища, що може бути оцінено, наприклад, при симуляції Монте Карло [5] або в рамках модельного експерименту [6].

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У даній роботі проведено аналіз абераційних властивостей при проектуванні фотометричного зображення в еліпсоїдальному рефлекторі з першої фокальної площини в другу в залежності від кількості запущених променів. Оцінка здійснена на основі середнього відхилення в залежності від координат запуску фотонів. Для дослідження було обрано еліпсоїд (рис.1) з наступними параметрами: фокальний параметр – 11; ексцентриситет – 0,65; велика напів-вісь – 19,05; мала напів-вісь – 14,47. Точки запуску були наступні (рис.2): А(10,9; 0), Б(9,44; -5,45), В(7,71; -7,71), Г( 5,45; -9,44), Д(0; -10,9).

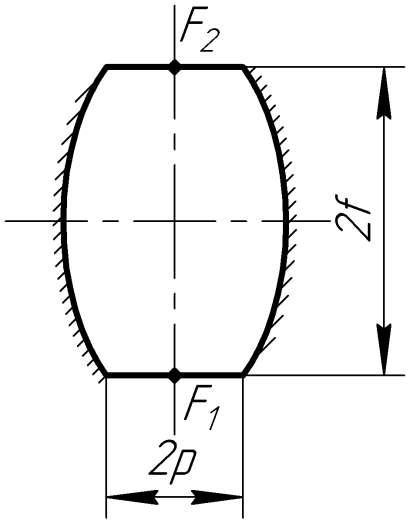



Рисунок 1. Еліпсоїдальний рефлектор

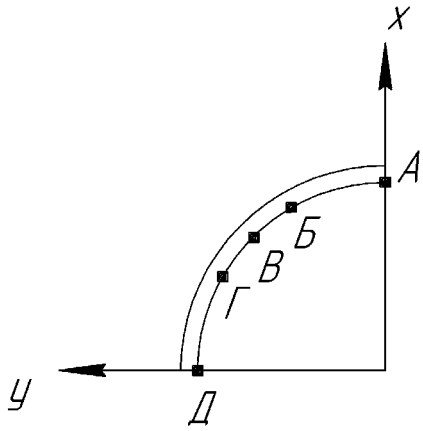



Рисунок 2. Схема розміщення точок запуску

У відповідності для кожної з точок було проведено запуск різної кількості променів, а саме: 500, 2001, 3001, 4001, 10001, 50000, 200000, 500000. Для більш розширеного уявлення про якісні характеристики еліпсоїда, було виконано розподіл по відбиттях і відповідно розраховано відносне середнє відхилення для різних порядків відбиття.

Проаналізувавши результати, отримані шляхом рей-трейсингу в ЕР [7], було побудовано графік залежності загального відхилення для різного порядку відбиття, що залежать від траєкторії руху променів всередині ЕР та від кількості запущених променів (рис.3).

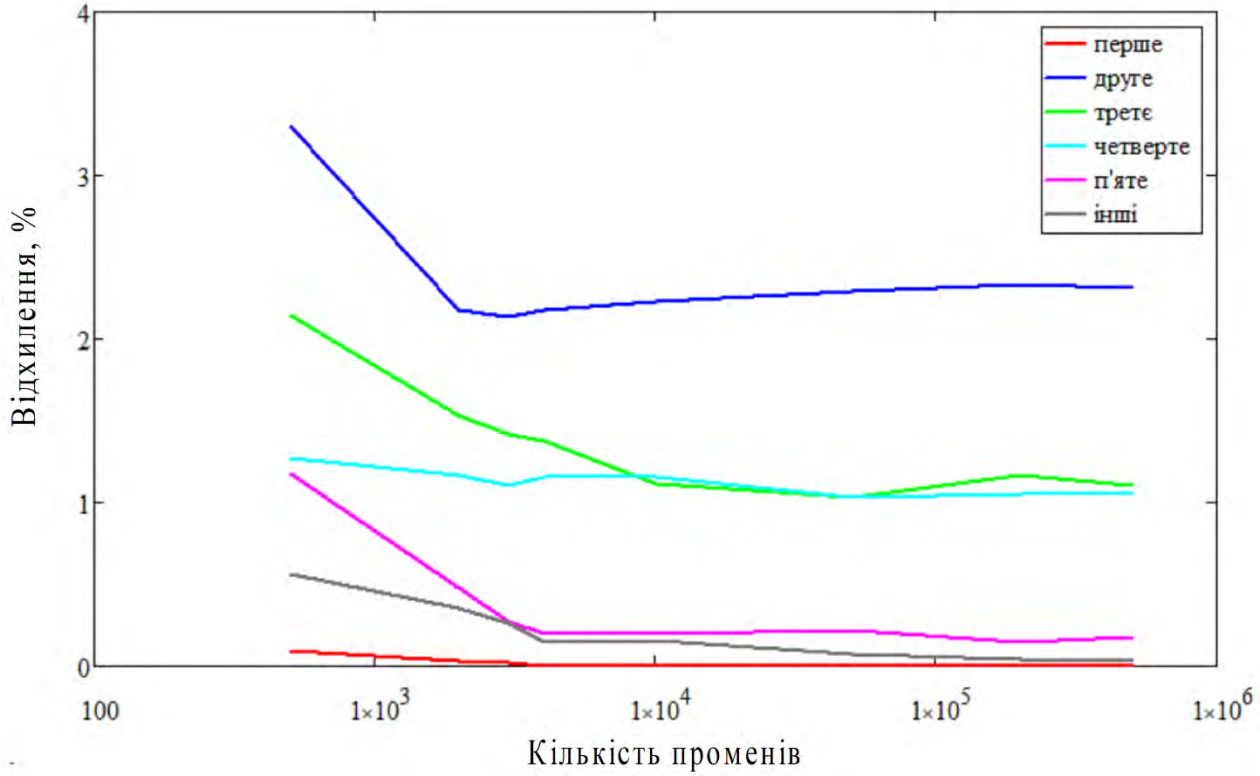



Рисунок 3. Відносне середнє відхилення відбиття різних порядків у залежності від кількості запущених променів

Зауважимо, що кількість запущених променів визначає кількість розбиття радіально-симетричної системи координат фокальної площини, що містить перший фокус еліпсоїдального рефлектора.

Як бачимо на рис.3 для першого відбиття відхилення практично відсутнє, це свідчить про те, що при будь якій кількості запущених променів не залежно від обраної точки запуску, на перше відбиття припадатиме завжди майже однакова кількість променів.

Найбільше числове значення відхилення спостерігається для відхилення другого, третього та четвертого порядку. Безпосередньо на такий результат впливає факт того, кількість променів що зазнали відбиття цих порядків є набагато більшою, а також особливості розрахунку програмного забезпечення.

## ВИСНОВОК

Аналіз отриманих результатів показав що відхилення кількості променів для відбиття різних порядків пропорційно зменшується при збільшенні загальної кількості запущених променів. Також показано що запуск променів у кількості більше 10 000 є недоцільним, оскільки при наступному збільшенні їх

кількості, відхилення коливається в межах статистичної похибки, а затрати машинного часу на обрахунок та аналіз збільшуються суттєво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. A. Bezuglyi and N. V. Pavlovets, “Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors,” Proc. SPIE 8798, 87980Q (2013).
2. Безуглий М.О. Особливості виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів фотометрів / М.О. Безуглий, І.І. Синявський, Н.В. Безугла, А.Г. Козловський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2016, №2 (52). – С.76-81.
3. Безуглий М.О. Контроль форми еліпсоїдальних рефлекторів біомедичних фотометрів / М.О. Безуглий, Лінючева О.В., Безугла Н.В., Бик М.В., Костюк С.А // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017, №1 (53). – С.62-69.
4. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, “Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors”, Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.
5. Bezuglyi, M., N. Bezuglaya, and A. Viruchenko. "On the possibility of ellipsoidal photometry and Monte Carlo simulation to spatial analysis of biological media." Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017 IEEE 37th International Conference on. IEEE, 2017.
6. N.V. Bezuglaya and M.A. Bezuglyi, “Spatial Photometry of Scattered Radiation by Biological Objects”, in Proc. SPIE 9032-15, V2, pp. Q1—Q5, 2013.
7. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, I.V. Helich, “Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media”, Appl Opt., no. 56 (30), pp. 8520–8526, 2017.

**УДК 535.2:616-71**

*О. Гришай, студент гр. ПБз-71, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ СІРОЇ РЕЧОВИНИ МОЗКУ ЛЮДИНИ В НОРМІ

***Анотація.*** У даній роботі проведено модельний спектрофотометричний аналіз біологічних тканин на прикладі зразків сірої речовини мозку людини з використанням еліпсоїдальних рефлекторів для різних довжин хвиль. На основі визначеної ефективної товщини біологічного зразку, методом Монте Карло отримано фотометричні зображення плями розсіяння фотонів в прямому і зворотному напрямках на різних довжинах хвилі.

***Ключові слова:*** спектрофотометрія, еліпсоїдальні рефлектори, метод Монте Карло

## ВСТУП

Більшість біологічних тканин можна назвати гетерогенними речовинами зі складними спектрами поглинання, спектральні характеристики яких залежать від концентрації досліджуваної речовини та визначаються типом домінуючих поглинальних центрів та вмістом води в біологічному об’єкті [1]. При цьому, спектральні лінії окремих компонентів можуть перекриватись та мати різні параметри, тому можуть виникають складнощі при кількісному визначенні концентрації цих компонентів. На спектральні характеристики впливає структура біологічної тканини, яка може змінюватись в залежності від наявної патології або під впливом фізичних чинників. Так, наприклад, значних змін при цьому зазнають коефіцієнти поглинання $\mu a$ та розсіяння $\mu s$ сірої речовини мозку нормальної тканини та коагульованої [2].

Визначення спектральних властивостей біологічних середовищ здійснюється спектрофотометричними методами у відбитому та пропущеному світлі [3], а в деяких випадках [1,4] – одночасно. Для визначення коефіцієнту відбиття $R$ та пропускання $T$ зазвичай використовують оптичні та волоконні системи [5], системи з інтегруючими сферами [1,3] або з еліпсоїдальними рефлекторами (ЕР) [4].

Отримані за допомогою спектрофотометричних засобів спектри пропускання і відбиття використовуються для розрахунку спектральних параметрів: коефіцієнтів поглинання $\mu a(\lambda)$ та розсіяння $\mu s(\lambda)$. У залежності від обраної оптичної схеми, можуть використовуватись ті чи інші математичні моделі. Найбільш універсальними при використанні інтегруючої сфери є методи на основі теорії Мі, додавання-помноження, інверсного Монте Карло, що реалізовані та доступні для практичного використання [6]. При еліпсоїдальній рефлектометрії використовують інверсний метод Монте Карло [4] з урахуванням конструктивних параметрів еліпсоїду обертання. Інші математичні методи (потокові моделі Кубелки-Мунка, дифузійне наближення, метод сферичних гармонік та ін.) використовуються для біологічних середовищ зі звуженим діапазоном оптичних властивостей.

Метою даної роботи є аналіз та виявлення особливостей спектрофотометрії біологічних середовищ еліпсоїдальними рефлекторами на основі отриманих фотометричних зображень плями розсіяння у відбитому та пропущеному світлі.

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

У даній роботі для дослідження спектральних характеристик біологічних середовищ на прикладі зразків нормальної тканини сірої речовини головного мозку людини використано механізми рей-трейсингу [8], що базується на прямому методі Монте Карло з урахуванням конструктивних особливостей еліпсоїдальних рефлекторів.

Вхідними даними до моделювання є оптичні та геометричні параметри біологічного середовища, а також параметри джерела випромінювання. Оптичні параметри зразку нормальної тканинини сірої речовини головного мозку, отримані шляхом моделювання зворотним методом Монте Карло на основі виміряних коефіцієнтів повного відбиття та пропускання з використанням інтегруючої сфери для діапазону довжин хвиль 360-1100 нм з кроком 20 нм [2]. Показник заломлення сірої речовини головного мозку людини в діапазоні довжин хвиль 456-1064 нм є незмінним і становить 1.36 [2]. У таблиці 1 наведені оптичні параметри досліджуваного зразка у видимому діапазоні. Щодо геометричних параметрів, а саме товщини зразку, є деякі обмеження, пов'язані з тим, що випромінювання в досліджуваному діапазоні довжин хвиль на малих товщинах проникає однаково, тому при проведенні моделювання з товщиною зразку в 150 мкм фотометричні зображення практично не відрізняються (рис.1). Тому ще одним завданням даної роботи є визначення ефективної товщини біологічного зразку для досліджуваного діапазону довжин хвиль згідно методики [7-8].

Таблиця 1. Оптичні параметри сірої речовини головного мозку людини у нормі [2]

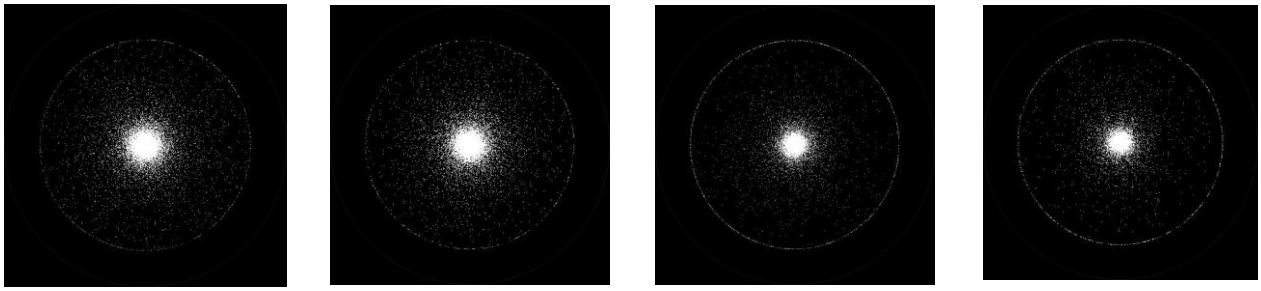
| ***λ, нм*** | ***380*** | ***420*** | ***460*** | ***500*** | ***540*** | ***580*** | ***620*** | ***660*** | ***700*** | ***740*** | ***780*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***μa, см-1*** | 2,37 | 2,98 | 0,75 | 0,53 | 0,42 | 0,31 | 0,18 | 0,2 | 0,18 | 0,21 | 0,22 |
| ***μs, см-1*** | 145,6 | 133,3 | 122,7 | 116 | 104,5 | 97,4 | 92,3 | 89 | 82,9 | 80 | 80 |
| ***g*** | 0,865 | 0,872 | 0,882 | 0,88 | 0,8 | 0,8 | 0,885 | 0,885 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Параметри випромінювання визначаються кількістю фотонів та геометрією лазерного пучка. Для отримання фотометричних зображень необхідна велика кількість фотонів, тому моделювання здійснювалося при одному запуску 20 млн фотонів у вигляді нескінченно тонкого лазерного пучка, що відповідає умовам реального експерименту [2]. Для, визначення ефективної товщини обраної тканини при фотометрії ЕР було проведено моделювання на різних товщинах шляхом запуску 1000 фотонів без використання еліпсоїду.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Отримані фотометричні зображення плями розсіяння у відбитому (рис.1, а та в) та пропущеному (рис.1, б та г) світлі для товщини зразку 150 мкм на крайніх довжинах хвиль 380 нм і 780 нм досліджуваного діапазону свідчать про неможливість застосування методу еліпсоїдальних рефлекторів для їх оцінки.

380 нм 780 нм



а) б) в) г)

Рисунок 1. Фотометричні зображення плями розсіяння випромінювання біологічним об’єктом товщиною 150 мкм у відбитому (а,в) та пропущеному (б,г) світлі

Результатами моделювання є залежність коефіцієнтів дифузного відбиття (*Rd*), повного пропускання (*T*) та поглинання (*A*) від товщини для відповідної довжини хвилі (рис.2). З отриманих графіків, представлених у логарифмічній шкалі, можна зробити висновок, що на тонких зрізах, а саме до 0,01 см оптичні коефіцієнти на довжинах хвиль видимого діапазону практично не змінюються, а далі починається різке зменшення коефіцієнту повного пропускання, який для довжини хвилі 380 нм на товщині більше 0,6 прямує до нуля, для 580 нм та 780 нм – більше 4 см.

380 нм 580 нм 780 нм

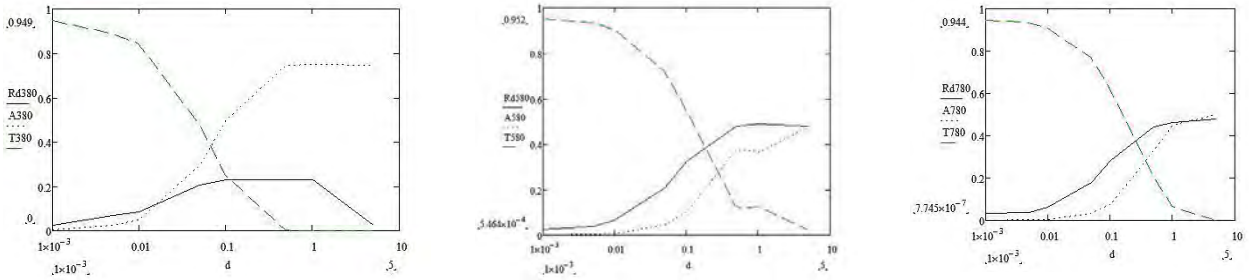



Рисунок 2. Залежність оптичних коефіцієнтів від товщини біологічного зразка d (см) для довжин хвиль 380 нм, 580 нм та 780 нм

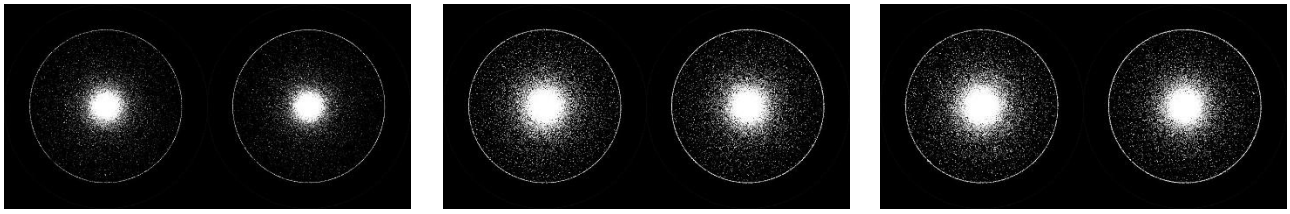
У той же момент починає зростати коефіцієнт поглинання *A*, який для довжини хвилі 380 нм з товщини 0,6 см стає практично незмінним та наближається до значень коефіцієнту повного пропускання *T* на товщині менше 0,01 см. Для довжин хвиль 580 нм та 780 нм коефіцієнт поглинання *A* стабілізується після товщини в 1см. Коефіцієнти дифузного відбиття також мають деяку незмінну ділянку. Так для довжини хвилі це ділянка на товщинах 0,08 – 1 см. Для довжин хвиль 580нм та 780 нм сталі значення коефіцієнту дифузного відбиття будуть спостерігатися на товщині після 1 см. Іншу границю на графіках рисунку 2 не помітно, оскільки умови даного експерименту не передбачали її пошук.

Для визначення ефективної товщини для отримання фотометричних зображень плями розсіяння достатньо визначити середню товщину на якій значення коефіцієнтів повного пропускання *T* та поглинання *A* будуть співпадати. Для 380 нм – 0,07 см, 580 нм – 0,3 см, 780 нм – 0,4 см. Як бачимо зі збільшенням довжини хвилі товщина, на якій знаходиться точка характерного перетину, збільшується не пропорційно, тому доцільно припустити, що

найбільш прийнятною буде товщина в 0,1 см.

У результаті моделювання було отримано фотометричні плями розсіяння випромінювання у пропущеному (рис.3, а,в,д) та відбитому світлі (рис.3, б,г,е)

380 нм 580 нм 780 нм



а) б) в) г) д) е)

Рисунок 3. Фотометричні зображення плями розсіяння випромінювання біологічним об’єктом товщиною 150 мкм у відбитому (а,в) та пропущеному (б,г) світлі

З отриманих зображень можна зробити висновок про можливість застосування методу еліпсоїдальних рефлекторів для проведення спектрофотометрії біологічних зразків для визначеної товщини. У подальшому планується за допомогою методики [8-9] здійснити зонний аналіз фотометричних зображень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В. В. Тучин. – Саратов: Сарат. универ., 1998. – 384 с.

2. Yaroslavsky A.N. Optical properties of selected native and coagulated human brain tissues in vitro in the visible and near infrared spectral range / A.N. Yaroslavsky, P.C. Schulze, I.V. Yaroslavsky, R. Schober, F. Ulrich, H.-J. Schwarzmaier // Phys. Med. Biol. – no. 47. – 2002. – Pp. 2059–2073.

3. Bezuglaya N.V. Spatial photometry of scattered radiation by biological objects / N.V.Bezuglaya, M.A. Bezuglyi // in Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 9032. – Pp.Q1 – Q5.

4. Bezuglyi M. A. Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors / M. A. Bezuglyi, N.V. Pavlovets // Proc. OSA-SPIE . –2013. – vol. 8798.

5. Rogatkin D. A. Prospects for Development of Noninvasive Spectrophotometric Medical Diagnosis / D. A. Rogatkin, L. G. Lapaeva // Biomedical Engineering, Vol. 37, No. 4, 2003, pp. 217-222.

6. Light Calculators. – Режим доступу: https://omlc.org/calc/index.html

7. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, and I. V. Helich, "Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media," Appl. Opt.56, 8520-8526 (2017).

8. Безуглый М. А. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / М. А. Безуглый, Н. В. Безуглая, А. Б. Самиляк // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1.– С. 67 – 76.

9. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, “Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors”, Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.

**УДК 621**

*І.Д.Задумов, студент гр. ПБ-72мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МЕТОД ВІДБІЛЮВАННЯ ЗУБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДУЛЬОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

***Анотація***. У роботі розглянуті основні методи відбілювання зубів. Розглянуто переваги та недоліки методів професійного відбілювання зубів. Розроблено методику проведення відбілювання зубів.

***Ключові слова***: колір, зуби, лазер, ясна, пігмент

## ВСТУП

За роки життя, зуби у людини змінюють свій колір. На зуби впливають різні органічні і неорганічні барвники, які можуть як залишатися на самій поверхні або фарбувати тверді тканини зуба. Щоб усунути небажані пігменти на зубах потрібно застосувати одну з методик відбілювання зубів.

У медичній літературі перші письмові свідчення про методикою освітлення зубів відносяться до XIV століття. Історія науково обґрунтованого відбілювання зубів бере початок в Сполучених Штатах Америки в кінці XIX століття. У той час косметична стоматологія почала набувати популярність. З другої половини XIX століття в відомих стоматологічних виданнях стали з'являтися публікації, присвячені відбілювання зубів [1]. Основними моментами обговорення були випадки успішного і невдалого відбілювання, рекомендації по тривалості процедури, її відносна безпеку, застосування матеріалів і засобів.

Останні 10 років відбілювання зубів серед стоматологічних послуг в багатьох клініках займає значне місце. Існує безліч методик по відбілюванню зубів, однак в даний час ведуться дискусії серед лікарів про тривалість збереження відбілюючого ефекту у пацієнтів після проведення лікування. [2]

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДИК ВІДБІЛЮВАННЯ ЗУБІВ

З розвитком науки, методи відбілювання зубів стають все досконаліші. Усі методи відбілювання зубів можно поділити на 2 групи: професійне відбілювання та методи домашнього відбілювання.

До методів домашнього відбілювання можно віднести: відбілюючий олівець, відбілюючі смужки та спеціальні зубні пасти. Домашні методи зробити зуби світлішими доступніші за ціною, не вимагають відвідування стоматолога, але не дають швидкого результату [3,4].

Більш детально розглянемо професійне відбілювання зубів. Це процедура в умовах стоматологічного кабінету і під безпосереднім контролем стоматолога. При цьому на емаль зубів може надаватися механічне або хімічний вплив. Ефективність останнього може бути посилена проникаючу здатність ультразвуку, лазера або світла, які виступають в якості активатора і провідника для реагенту, що проникає вглиб емалі.

До професійних методів відбілювання можно віднести: фотовідбілювання, Air Flow, хімічне відбілювання, ультразвукове відбілювання та лазерне відбілювання.

Фотовідбілювання це один з найбільш «молодих» методів відбілювання. В ході його застосування на видиму поверхню зубів наносять спеціальний

відбілюючий гель, з мінімальною концентрацією перекису водню, яка під прямим впливом світла, випромінюваного галогеновой лампою, активізується і проникає вглиб емалі, розщеплюючи при цьому її пігментний наліт. До переваг цього метода можна віднести швидкий видимий ефект а також, якщо дотримуватися рекомендацій стоматолога ефект зберігається до 2-х років. Недоліки: це тривалість процедури (1,5 - 2 години в кріслі стоматолога), неприємний присмак у роті після процедури та може бути присутнім ефект «неприродною білизни» зубів, з блакитним відтінком. [5]

Air Flow це механічне чищення емалі, яка ефективно видаляє з поверхні зубів наліт і тверді відкладення (камінь). Для її проведення використовується піскоструминне обладнання Air flow, яке подає на поверхню емалі потік високого тиску, що складається з води, абразивного речовини і повітря. Як абразив використовуються кристали звичайної соди, руйнують зубні відкладення і полірують емаль. Недоліками цього методу можно вважати освітлення зубів на 2-3 тона а також під час процедури пацієнти з чутливою емаллю відчувають болісні відчуття. [6]

Хімічне відбілювання це метод нанесення на видиму поверхню зубів спеціальної хімічної речовини на основі перекису водню. Проникаючи всередину емалі, воно руйнує молекули пігменту, і зуби стають на 4 - 10 тонів світліше. Цей метод застосовують меньше тому що він має ряд протипоказань для проведення процедури, Зубна емаль стає більш чутливою. При поганій ізоляції ясен під час процедури можна отримати їх опік. [5]

Ультразвукове відбілювання це використання ультразвуку в поєднанні з спеціальними пастами і гелями на основі окислювачів, які попередньо наносять на видиму поверхню зубів, дає досить хороший результат, і дозволять освітлити емаль на 2 - 3 тони. [7] Недоліком цього метода можно вважати те що для ефекту потрібно провести декілька процедур.

Найпопулярніший метод - це лазерне відбілювання зубів. Досить полегшений режим відбілювання виконується за допомогою перекису водню з активуванням його лазерним випромінюванням. Загальний час впливу на кожен зуб - до 3-х хвилин. Завдяки цьому практично відсутня чутливість під час відбілювання зубів, ефект більш виражений, так як відбілювання зубів відбувається не тільки за рахунок дії перекису, а й за рахунок здатності самого лазера розщеплювати пігменти. [7, 8]

Лазерне відбілювання зубів - набагато ефективніше інших методів. Але він має ряд недоліків: не відбілює кераміку та пломбувальні матеріали, також це ціна процедури та фотокаталізатора, Деякі фотокалізатори можуть підвищувати чутливість зубів. Тому потрібно знайти дешевий фотокаталізатор, щоб зменшити ціну процедури та дослідити, як впливає модульоване лазерне випромінювання на процедуру відбілювання.

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВІДБІЛЮВАННЯ ЗУБІВ

1. В лабораторних умовах був проведений експеримент з відбілювання зубів, в якому застосовувався метиленовий синій як фотокаталізатор та апаратна інтегрована система «ПРОМІНЬ» [9].

2. Експеримент проводився в декілька етапів:
3. Нанесення метиленового синього на капу та фіксація капи у роті пацієнта. В такому стані пацієнт знаходиться 15 хвилин.
4. Зняття кап, видалення надлишків фотокаталізатора.
5. Вплив лазерним випромінюванням. Вплив тривав 3 хвилини на зуб. Під впливом лазера утворюється кисень, який вбиває мікроорганізми та відбувається відбілювання зубів.
6. Очищення ротової порожнини від залишків фотосенсибілізатора за допомогою полоскання рота та чистки зубів зубною щіткою.
7. Після проведення експерименту колір зубів став білішим на 1-2 тони.

## ВИСНОВКИ

У цій статті розглянуті основні методи професійного та домашнього відбілювання зубів, проаналізовані їх переваги та недоліки.

Наведено результати проведених експериментальних досліджень застосування різних режимів лазерного випромінювання, що надало значні підтвердження обраної методики.

Запропоновані подальші перспективи розвитку методу фотодинамічного впливу на стан зубів пацієнта та м’які тканини ротової порожнини.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акуловіч, А.В. Відбілювання зубів: Чого ми боїмося? / А.В. Акуловіч, О.Г. Манашерова // Профілактика сьогодні, 2008. №8. С. 14-20

2.Бондарік Е.А., Полянська Л.Н. Сучасні методики відбілювання зубів // Сучасна стоматологія. 2011. №2.

3.Кріхелі Н.І. Вплив відбілюючої зубної пасти «Rembrandt original flavour» на м'які тканини і гігієнічний стан порожнини рота: Міжнародна конференція- «Здоров'я і освіта в XXI векех» 4-я: наукові праці. М. 2003. С. 349-350 '

4.Улітовського С.Б. Засоби індивідуальної гігієни порожнини рота: порошки, пасти, гелі зубні // СПб., 2002. 296 с.

5.Михальченко О.С., Штох К.С. ЗАПИТАНІСТЬ ПОСЛУГИ Відбілювання зубів в ДЕРЖАВНОЇ СТОМАТОЛОГІЧНОЇ ПОЛІКЛІНІЦІ // Міжнародний журнал прикладних і фундаментальних досліджень. - 2016. - № 10-2. - С. 215-218;

6.Земскова Т.С., Тихонова Т.А., Циплухіна Н.А. Порівняння клінічної ефективності абразивних препаратів системи Air-Flow, Бюлетень медичних Інтернет-конференцій (ISSN 2224-6150) 2015. Том 5. № 11 7. Азов, С.Х. Ультразвукова терапія та лікарський ультрафонофорез / С.Х. Азов, А.К. Кур'янов // Метод, річок. Ставрополь, 2005. - 26 с.

7.Новіков В.С. Освітлення зубів в клінічній практиці // Клінічна стоматологія. - 2002. - №1. - стор. 12-15

8.Photodynamic therapy in dentistry / K. Konopka, T. Goslinski //. J. Dent. Res. – 2007 Nov.; 86 (11): 1126. 12.

9.Клочко Т.Р., Скицюк В.І., Дастжерді А. Х. М. Інтегрована система «ПРОМІНЬ-АРІА» фоторегенерації та фотостимуляції організму // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип.43.– С. 162-168.

***Науковий керівник: кандидат технічних наук Клочко Т.Р.***

**УДК 618.19-006.04-071**

*О.В. Зінченко, студент гр. ПБ-з71мп, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДОСТОВІРНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ МАМОГРАФІЇ

***Анотація.*** У даній статті розглянуті проблеми поширення такої хвороби як рак молочної залози, його ранньої діагностики та достовірності проведених досліджень здоров'я жінки. Виконано аналіз недоліків та переваг сучасної мамографії в порівнянні з іншими методами (ультразвуковими, температурними) скрінінгу молочної залози спираючись на дослідження показників мінімальної роздільної здатності, часу досліджень, можливої шкоди здоров'ю пацієнток, економічної ефективності та доцільності, що об'єднані в узагальнений коефіцієнт точності та достовірності досліджень.

***Ключові слова :*** ультразвук, мамографія, молочна залоза, рентгенівське дослідження, теплометрія, термографія.

## ВСТУП

Надважливим в сучасному суспільстві є зміцнення та збереження здоров'я жінок від хвороб, які можна вилікувати, діагностувавши їх на ранніх стадіях. Особливу турботу серед осіб жіночої статі викликає рак молочної залози, що є найпоширенішим онкологічним захворюванням.

Згідно зі статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно, у всьому світі, діагностується понад мільйон нових випадків розвитку злоякісних пухлин молочних залоз. Смертність від цієї патології перевищує 50 % всіх хворих. Аналіз методик скринінгу раку молочної залози показує, що смертність серед жінок груп ризику, які взяли участь у профілактичній програмі лікування дифузних захворювань молочної залози, на 30–50 % нижче, ніж у групах, де профілактика раку молочної залози не проводилась [1]. Найбільш поширені методи скрінінгу молочної залози – ультразвукова діагностика, іонізуючі( рентгенівські) методи досліджень та термодіагностика. Здійснення заходів, спрямованих на більш раннє виявлення передпухлинних захворювань і раку молочної залози, є пріоритетними ще й тому, що лікування «локалізованих» форм раку сприяє стійкому багаторічному виліковуванню.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Протягом останніх 10 років (2007–2017 рр.), рак молочної залози посідає перше місце у структурі захворюваності жінок на злоякісні новоутворення [2].

Рис 1. Питома вага основних 10 нозологічних форм злоякісних новутворень (ЗН) у структурі захворюваності на ЗН жіночого населення України, % [2].

У 2017 р. рак молочної залози було діагностовано у 17746 мешканок України, тобто 49 жінок щоденно чули цей діагноз.

Запорука успіху в лікуванні раку полягає у усвідомленні державними інститутами та суспільством необхідності запровадження ефективних профілактичних і скринінгових програм,

проведенні інформаційних кампаній щодо підвищення обізнаності та компетентності щодо захворювання.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки достовірності введемо групу значимих коефіцієнтів ***Кд*** – узагальнений коефіцієнт достовірності, *Ке* - коефіцієнт економічної ефективності, *Кt* - коефіцієнт часових затрат, *Кт* - узагальнений коефіцієнт точності, що включає в себе *Рп* - просторову роздільну здатність, *Вя* – яскравість візуалізації, *Кш* – коефіцієнт ризику нанесення шкоди здоров'ю. Діапазон значень всіх коефіцієнтів ( *Ке, Кt, Кт, Кш* ) установлюємо від 0 до 1.

Достовірність визначається з формули

$$K_д=K_e+K_t+K_T-K_ш \quad (1)$$

Узагальнений коефіцієнт точності *Кт* вираховується з рівняння

$$K_T=P_n+B_я \quad (2)$$

Проведемо оцінку для основних чотирьох методів - ексцизійна біопсія, ультразвукова діагностика, іонізуючі дослідження та термодіагностика.

**Ексцизійна біопсія** вважається «золотим стандартом» діагностики патології грудей. Проте, оскільки вона є інвазивної процедурою, яка несе певний потенціал загрози для здоров'я пацієнтки, а також може заподіяти психологічну травму, на практиці це останній діагностичний етап. Тому перед біопсією використовуються інші методи, менш інвазивні методики діагностики раку, які також мають свої ризики і обмеження. На основі обрахунків узагальнений коефіцієнт достовірності ***Кд*** для ексцизійна біопсії буде

$$K_{деб}=0,7+0,1+0,9-0,9=0,8$$

При **іонізуючій мамографії** використовується рентгенологічне дослідження, яке є потенційно небезпечним для здоров`я людини. Під час проведення дослідження через щільно зафіксовану молочну залозу поглинається доза випромінювання, в межах 0,1-0,2 *Рад*.

На основі обрахунків узагальнений коефіцієнт достовірності ***Кдім*** для рентгенівської мамографії буде $K_{дім}=0,8+0,8+0,9-0,5=2$ .

Також основним у діагностуванні захворювань молочної залози є проведення додаткових уточнюючих обстежень проведення ультразвукового та термографічного дослідження за для отримання додаткової інформації про природу і структуру пухлини [3,4].

**Ультразвуковові дослідження** молочних залоз – метод скрінінгу в основі якого лежить використання акустичних коливань з частотою (2-10) МГц[3]. Проходячи крізь біологічну тканину вони відбиваються від структур з різною щільністю.

На основі обрахунків узагальнений коефіцієнт достовірності ***Кдуз*** для ультразвукових досліджень буде

$$K_{дуз}=0,6+0,7+0,7-0,2=1,8$$

**Термодіагностика.** Це створення за допомогою спеціального апарату, чутливого до теплового випромінювання, зображення тіла людини, де різними кольорами відображаються ділянки з різною температурою шкіри. З

температурною роздільною здатністю в 0.06°С та просторовою роздільною здатністю в 1см. Термографічне дослідження молочних залоз дозволяє діагностувати ракове ураження в 80-87% досліджуваних. На сьогоднішній день термометрія розглядається як доповнення до скринингової мамографії.

На основі обрахунків узагальнений коефіцієнт достовірності ***Кдт*** для термодіагностики буде

$$K_{дт}=0,6+0,7+0,5-0,1=1,7$$

Із отриманих значень найвищий коефіцієнт достовірності в рентгенівській мамографії ***Кдім> Кдуз> Кдт> Кдеб.***

Проведемо порівняння отриманих нами результатів з результатами других досліджень. Так при визначенні чутливості виявлення пухлини при малих її розмірах < 2 см та розмірах > 2 см найкращі результати має рентгенівська мамографія МГ [4].

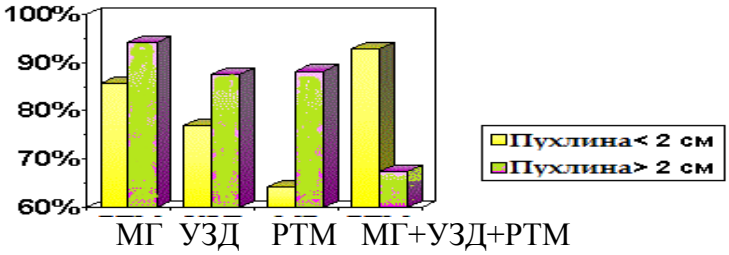



Рис. 2. Чутливість різних методів діагностики при пухлинах різних розмірів, де РТМ - мікрохвильова радіотермометрія, УЗД – ультразвукова діагностика, МГ- рентгенівської мамографії

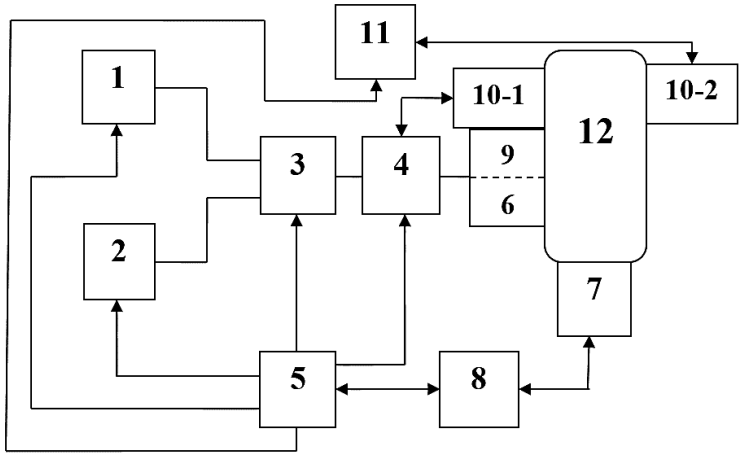



Рис. 3. Функціональна схема системи для діагностики та терапії захворювання молочної залози **1** – високочастотний генератор; **2** – низькочастотний генератор; **3** – модулятор; **4** – підсилювач потужності; **5** – блок керування; **6** – ультразвуковий випромінювач; **7** – датчик температур; **8** – блок температурного контролю; **9** – датчик ультразвукового дослідження; **10** – система променевої діагностики, в складі **10-1** - променевого випромінювача, **10-2** - приймача тіньового зображення; **11** – монітор; **12** – досліджуваний об'єкт (молочна залоза)

В результаті досліджень було встановлено що іонізуюча мамографія досі залишається одним з найкращих методів діагностики раку молочної залози, має кращі показники чутливості лише в поєднанні з іншими методами скрінінгу.

Для забезпечення суттєвого підвищення ефективності і надійності безконтактного контролю за процесом діагностики та терапії молочної залози нами був запропонований новий спосіб комплексної діагностики та терапії захворювання молочної залози[5]. На рис.3 приведена функціональна схема системи для діагностики та терапії захворювання молочної

залози, що реалізує даний спосіб.

Спосіб комплексної діагностики та терапії захворювання молочної залози, включає комбіноване лікування з оцінкою індивідуальної чутливості до лікувальної та променевої терапії з визначенням розмірів пухлини до і після проведеного лікування і індивідуалізації плану лікування з врахуванням виявленої чутливості, а визначення розміру пухлини проводять ехографічним методом з врахуванням і оцінкою контурів та ехогенності пухлини і при зменшенні розміру, зміни контурів та підвищення ехогенності враховувати, що пухлина чутлива до даного методу терапії при цьому діагностику з визначенням розмірів пухлини, чутливості, ехогенності та ефективності терапії проводять з заміром температур та їх градієнтів на поверхні молочної залози та в зоні пухлини, а уточнюючу діагностику та контроль проводять у встановленій зоні пухлини безконтактним термографічним методом, шляхом заміру температур зони контура враження та приграничних меж.

## ВИСНОВКИ

За допомогою запропонованої методики визначення достовірності методів мамографії встановлено, що найкращі результати дає іонізуюча мамографія. Розроблені іновації створюють можливість значно поліпшити результативність дослідження та терапії захворювань молочної залози для виявлення раку на більш ранніх стадіях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скринінг, профілактика та рання діагностика раку грудної залози. Смоланка І.І., Скляр С.Ю., Головко Т.С., Ганіч О.В./ Національний інститут раку, Київ. Режим доступу: https://www.clinicaloncology.com.ua/article/10319/skrining-profilaktika-ta-rannya-diagnostika-raku-grudnoi-zalozi

2. Рак в Україні, 2012-2013, Бюлетень Національного канцер-реєстру, 2014, № 15, режим доступу: http://www.ncru.inf.ua/publications/ucr_data_2018.pdf

3. Терещенко М.Ф., Олійник Є. В. Підвищення якості ехографічного зображення для ультразвукових сканерів/ Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.- Кременчук: КрНУ, 2014.-Вип.3/ 2014 (86),С.53-58

4. Альтернативний метод дослідження раку - термографія молочних залоз. Режим доступу: http://medsovukrpro.ru/diagnostika/7256-alternativnij-metod-doslidzhennja-raku.html -

5. Заявка на винахід U2018 09845 Спосіб комплексної діагностики та терапії захворювання молочної залози / Терещенко М.Ф., Яковенко І.О., Зінченко О.В. ; заявл. 02.10.2018

***Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.***

**УДК 616.127– 089.168:617– 089.5**

*Кавун Є.Д., ст. гр. ПБ-72мп, к.т.н. Клочко Т.Р., Мельник В.К., ст. гр. ПБ-71мп*
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

# АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ІНГАЛЯЦІЙНОЇ ДОСТАВКИ ПРЕПАРАТІВ

***Анотація*** В роботі на основі проведеного повного огляду засобів доставки інгаляційних препаратів було проведено їх аналіз, розглянуто основні переваги і недоліки уже існуючих систем.

***Ключові слова:*** дозовонні аерозольні інгалятори, аерозоль, небулайзер.

## ВСТУП

Основною перевагою лікування захворювань дихальних шляхів з використанням інгаляційних глюкокортикостероїдів, β2-агоністів і антихолінергічних препаратів є максимально ефективна доставка їх до легень пацієнта. У даному випадку ми маємо мінімальну побічну дію і досягаємо максимального ефекту, тому що досягається чітке співвідношення легеневої і системної біодоступності [1] .

Оскільки безліч факторів впливають на ефективну доставку препаратів в легені, а саме процес створення аерозолю та його якість, дихальні маневри пацієнта. Для ефективного лікування одним з найважливіших факторів є вибір правильного засобу доставки враховуючи характеристики хвороби, вік та особистих уподобань пацієнта. Застосування сучасних методів є мало ефективним, тому що вони забезпечують доставку в легені лише 10% від дози препарату, саме тому так важливо забезпечити успішну комбінацію цих умов [2].

Аналіз сучасних застосованих засобів

На даний момент системи доставки препаратів в дихальні шляхи можна розділити на 4 групи, до яких відносяться дозовані аерозольні інгалятори (ДАІ), включаючи ДАІ з спейсерів і лицьовою маскою, а також ДАІ, яка активується вдихом, дозовані рідинні інгалятори, порошкові інгалятори (капсульні, резервуарні, мультидозовані), небулайзери, включаючи ті, що активуюются вдихом.

Розглянемо низку параметрів, що описують системи доставки. На практиці вадливим є показник відтворюваності дози, обсяг відвантаженої дози – кількість препарату, що вивільнилась при активації інгалятора. Фракція дрібних частинок - кількість препарату (В% від разової дози або в мкг), яке надходить в дихальні шляхи, причому переважна кількість частинок препарату, що складають цю фракцію, має діаметр 6 мкм і менше [3]. Методика інгаляції, об’ємна швидкість вдиху (ОШВ) пацієнта (швидкість повітряного потоку при вдиху пацієнта, виражена в л / хв) та вік є найважливішими факторами для вибору системи доставки, саме тому оцінка даних факторів є важливою для успішного вибору системи для лікування пацієнтів.

Велика кількість проблем при загостреннях бронхіальної астми (БА) виникає при використані ДАІ. Тяжкість даного захворювання викликає падіння ОШВ до 10-30 л / хв, що значно зменьшує кількісь інгаляторів, які можна використовувати в цих клінічних ситуаціях і змушує застосовувати інші типи систем типу спейсерів, ПІ з низьким внутрішнім опором, небулайзери [4].

Дозовані аерозольні інгалятори. ДАІ широко використовуються тому що поєднують у собі такі якості, як простота виробництва, клінічна ефективність, низька вартість, позитивне ставлення пацієнтів та здатність створення якісного аерозолю. Досліджуючи дані системи, можна дійти висновку, що в них також присутня велика кількість недоліків. Найбільшого набули наступні: висока швидкість утворення аерозольного хмари і потоку носія (більше 30 м / с), що призводить до осідання більшої частини дози (до 80%) на задній стінці глотки, а також викликає труднощі з координацією моменту вдиху і натискання на клапан балончика; використання фреонів, що руйнують озоновий шар атмосфери; відсутність лічильника доз; обмеження величини разової дози.

Розробка синхронізації маневру вдиху і інгаляції, що інтегрували в ДАІ дала можливість проводити лікування БА тому що для активації таких приладів достатньо ОСВ 10-25 л / хв. Саме це надає можливість хворим БА здійснювати ефективне лікування навіть при важкій обструкції дихальних шляхів. Синхронізація вдиху і відкриття клапану інгалятору, кількість інгаляцій швидкість вдиху і залежність від якості маневру визначають їх високу ефективність. Все це стало можливим завдяки розробці електронних блоків вмонтованих в систему інгаляції. [5].

Незважаючи на зазначені недоліки, ДАІ є одними з найпопулярніших систем. Основні фактори: компактні габарити і надійність, відносна дешевизна, гігієнічність, вмістимість великих доз препарату, можливість застосування з спейсером.

Спейсери. Високоякісним вирішенням проблем ефективності ДАІ стало використання додаткового резервуара –спейсера. Головною ідеєю є початкове розпилення препаратів до спейсеру, а вже після цього подальша передача його до легеневої системи пацієнта. У спейсері аерозольна хмара гальмується, великі частки осідають на стінках, це зменшує поза легеневу позицію часток і призводить до підвищення ефективності інгаляції.

Таким чином, якщо під час інгаляції присутнє самостійне дихання, треба використовувати спейсери великого розміру (Волюматик, бебіхалер, фізонейр, аерочамбер) з лицьовими масками для підвищення ефективності інгаляцій в будь яких ситуаціях.

До проблем даного виду пристроїв відносимо залежність ефективності від габаритів, що негативно впливає на його розміри. Наразі в системах використовують спейсери з антистатичним покриттям. Це зроблено для того, щоб запобігати появі електростатичного заряду, що сильно обмежує ефективність інгаляцій. Для роботи з подібними пристроями обов’язковим є дотримання правил експлуатації зазначених виробником.

Порошкові інгалятори. В основі лежить ідея що інгаляція речовини управляється за допомогою дихання пацієнта. Принцип роботи даних інгаляторів дає можливість не зважати на координацію пацієнта, і визначає дані пристрої як найефективніші в плані доставки аерозолю.

Відомі три покоління ПІ, а саме капсульні, резервуарні, мультидозованні.

Найбільшою перевагою пристроїв першого покоління є точне дозування. До недоліків можна віднести можливість вдихання часток желатинової або

пластикової стінки капсули. Резервуарні містять лічильник доз і вбудований анти грибковий наповнювач. Основна проблема таких інгаляторів - це поганий рівень вологостійкості, а також відсутність точності дозування.

Третій вид відрізняється тим, що йому в конструкцію добавили мультидиск. Саме його наявність дає змогу стабільного дозування, спрощує роботу з системою, збільшення кількості дрібних часток, мінімальний внутрішній опір системи. Останній критерій являється критичним при виборі системи пристрою для ефективної інгаляції при вираженій бронхіальній обструкції.

Небулайзер - пристрій, що утворює аерозоль з лікарських речовин. Небулайзери вважаються ефективнішими за ДАІ це зумовлено тим, що при їх використані відсутня необхідність координації та пацієнту стоїть меньше вимог щодо його положення в просторі. Саме тому небулайзерна терапія вважається найефективнішою при лікуванні БА. Пристрої працюють без палива. До недоліків апарату віднесемо габарити пристрою та висока вартість апарату, також лікарських препаратів. Апарат потребує кваліфікованого обслуговування. Оскільки небулайзери широко представлені на ринку існує велика кількість пристроїв чиї вихідні характеристики сильно різняться, мають різний об’єм  камер та різний потік створюваний компресором [6].

Не зважаючи на існуючі недоліки технічних засобів, є низка пропозицій, що можуть покращити ефективність приладу та його конструкцію. Було запропоновано розробку нових розпилювачів для даного типу пристрою, що на практиці показало підвищення їх ефективності та збільшення їх привабливості для пацієнтів.

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що будь який з наведених вище типів інгаляторів може забезпечувати однакову ефективність при доставці β2 -агоністів і інгаляційних глюкокортикостероїдів [7]. Саме тому важливим є забезпечення переваг  використання для пацієнта, адже це фактично є єдиним фактором здатним привести до того, що пацієнт може не виконувати лікарським настанов та зменшити ефективність лікування.

Спираючись на те, що ДАІ системи прості за будовою і способом використання, можна було б дійти висновку, що пацієнти вибиратимуть саме їх, адже найголовнішими факторами вибору є: простота при користуванні, відносно велика кількість доз, лічильник доз, зовнішній вигляд та невеликі габарити. На практиці ж виявилось, що перевагу пацієнти віддають порошковим інгаляторам, тому що там незміна захисна кришка, на смак приємно, прості в використані, зовнішність більш приваблива, зручний загубник та відома кількість доз, що залишились [8].

Порошкові інгалятори, розробника Тива з метою максимально спростити їх використання, здатні викликати суттєві складності з технікою інгаляції - при першому застосуванні мультидиска і турбухалера лише 81 і 61% пацієнтів відповідно могли правильно користуватися інгалятором, тому слід приділяти більше уваги навчанню пацієнтів використання коштів доставки [9].

## ВИСНОВОК

Ефективність лікування інгаляційними препаратами багато в чому залежить від характеристик засобів доставки і ставлення пацієнта до інгалятору. Пропоновані фірмами-виробниками пристрої здатні задовольнити різноманітні вимоги, що пред'являються залежно від конкретної ситуації як лікарями, так і пацієнтами. Детальне знання основних властивостей інгаляторів, що застосовуються в терапії БА, є ключовим моментом ефективної терапії.

За результатами проведеного аналізу авторами було обрано перспективні напрямки розвитку, а саме збільшення функціоналу небулайзерів внаслідок розробки нових типів розпилювачів, які дозволять змінювати режими лікування, що є перспективними напрямками досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Чучалин А.Г. Бронхиальная астма.— М.: Агар, 1997. — 400 с.

2. Conway J., Smith S., Schreiber J. et al. Comparison pf peak pressure drops through powder inhalers during inspiration at maximum flow rate // Am. J. Resp Crit Care Med. - 1996. - Vol. 153. - P. 59.

3. Bumell P.K.P., Small T., Doig S. et a). Ex-vivo product performance of Diskus TM and Turbuhaler TM inhalers using inhalation profiles from patients with severe chronic obstructive pulmonary disease // Respiratory Medicine. - 2001. - Vol. 95. - P. 324 - 330.

4. Barry P.W., O'Callaghan C. Multiple actuations of salbutamol MDI into a spacer device reduce the amount of drug recovered in the respirable range

// Eur. Respir. - 1994 - Vol. 7. - P. 1707-9.

5. GandertonD. Targeted delivery of inhaled drugs: current challenges and future goals//J. Aerosol Med. - 1999.-Vol. 12(Supl. l).-P.3-9.

6. Огородова Л.М., Петровский Ф.И., Петровская Ю.А., Кобякова О.С, Гвоздь И.Г. Ингаляционные системы доставки препаратов, применяемых в терапии бронхиальной астмы. — Томск: Печатная мануфактура, 2001. — 29 с.

7. Brocklebank D., Wright J., Cates C. Systematic review of clinical effectiveness of pressurised metered dose inhalers versus other hand held inhaler devices for delivering corticosteroids in asthma // BMJ. - 2001. - Vol. 20. - P. 896-900.

8. Liam C.K., Lim K.H., Wong CM. Acceptance of the Accuhaler, a multi-dose powder inhaler, among asthmatic patients: a comparison with the pressurized metered-dose inhaler//Asian Pac J. Allergy Immunol. - 2000. - Vol. 18(3).-P. 135-140.

9. Backman R., Baumgarten C, Sharma R. K. Fluticasone Propionate via Diskus Inhaler at Half the Microgram Dose of Budesonide via Turbuhaler Inhaler // Clinical Drug Investigation. -2001. - Vol. 21. - P. 735-743.

***Науковий керівник Клочко Т.Р., доцент, к.т.н***

**УДК 616.12-073**

*Н.М.Кравець, студентка гр. ПБ-з71мп, С.П. Вислоух, к.т.н., доцент*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДІАГНОСТИКА СЕРЦЯ ЗА МЕТОДОМ ХОЛТЕРА

***Анотація*** *В даній статті показано, що застосування методики добового моніторування дає змогу виявити різні порушення ритму та провідності, стан ішемії міокарда, їхній зв'язок із фізичною активністю пацієнта, встановити відповідно до функціонального стану міокарда руховий режим пацієнта. Встановлено, що суть методики хотлерівського моніторування полягає в безперервній реєстрації електрокардіограми протягом 24 і більше годин (48, 72 години, іноді до 7 діб).*

***Ключові слова :*** Електрокардіографія, метод Холтера, Холтерівське моніторування.

## ВСТУП

У сучасному світі захворювання серця посідає чи не найперше місце серед захворювань людства. Це пов'язано з екологією, неправильним розпорядком роботи, постійною перевтомою тощо. Для надання своєчасної лікарської допомоги необхідна достовірна інформація про стан серцево-судинної системи. Вказану інформацію лікар отримує шляхом ЕКГ-дослідження.

Електрокардіографія – широко поширений метод оцінки стану серця шляхом графічної реєстрації електричних потенціалів, що ним генеруються. Ці потенціали поширюються у всіх напрямках і, досягаючи шкіри, сприймаються електродами, що з'єднані з підсилювачем і реєструючим пристроєм.

На сьогодні електрокардіологія швидко розвивається. Основними напрямками сучасного етапу її розвитку є розширення кола діагностичних задач, які можуть вирішуватися з використанням нових ЕКГ-методів функціональної діагностики. [1]

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Фізичний аспект є основою всієї системи реабілітації хворих. Він забезпечується раннім призначенням лікувальної фізкультури, фізичних вправ, у програмі яких передбачаються різноманітні види, способи та варіанти фізичних навантажень. Утім, результати реабілітації залежать від адекватного добору потужності тренувальних навантажень. Навантаження, що перевищують функціональні резерви, можуть спричинити зрив адаптаційних механізмів серцево-судинної системи.

Процедура електрокардіографії дає можливість виявити різні захворювання серцево-судинної системи. ЕКГ застосовується для отримання наступних даних:

– визначення джерела, оцінка частоти, діагностика порушень серцевого ритму та уточнення виду аритмії;
– виявлення ішемії (недостатнього кровопостачання серця);
– підтвердження наявності інфаркту, його оцінка та локалізація;
– визначення стану серцевого м'яза;
– виявлення гіпертрофії шлуночків.

Діагностичний потенціал методу не має аналогів. Спільно з іншими необхідними обстеженнями дозволяє в короткі терміни поставити точний діагноз, підібрати ефективне лікування, в тому числі оперативне.

Головною задачею даної роботи є дослідження холтерівського моніторування для спостереження за адекватністю індивідуального режиму рухової активності пацієнта, що ґрунтується на принципах толерантності та еквівалентності щодо фізичного навантаження.[2]

## РЕЗУЛЬТАТИ ХОЛТЕРІВСЬКОГО МОНІТОРУВАННЯ

При дослідженні серцево-судинної системи за допомогою ЕКГ за методом Холтера враховують такі показання:

– скарги, які можуть бути пов'язані з порушенням ритму серця (серцебиття, перебої в роботі серця, запаморочення, втрата свідомості);

– захворювання з високим ризиком розвитку життєзагрожуючих серцевих аритмій та раптової серцевої смерті: синдром подовження інтервалу QT(long Q-T syndrome – LQTS), дилатаційна та гіпертрофічна кардіоміопатія, ідіопатична шлуночкова тахікардія, синдром слабкості синусового вузла 3-4 типу і первинна легенева гіпертензія, нещодавно перенесений інфаркт міокарда, ускладнена серцева недостатність (СН) або порушенням ритму;

– оцінка ефективності антиаритмічного лікування або виявлення проаритмічних ефектів;

– оцінка недостатності кровопостачання серцевого м'язу;

– оцінка циклічності варіабельності синусового ритму (у хворих, які перенесли інфаркт міокарда, з СН, з підозрою на порушення функції вегетативної нервової системи, наприклад синдром нічного апное);

– оцінка роботи ЕКГ (у хворих зі скаргами, що дозволяють запідозрити аритмію; у випадках індивідуального програмування стимулятора – наприклад, корекція частоти ритму з урахуванням активності хворого). [3]

В основі автоматичного аналізу ЕКГ методом Холтера покладено підрахунок і оцінку варіабельності послідовних інтервалів R-R (normal to normal –N-N), ширини QRS-комплексу (комплекс QRS – це шлуночковий комплекс, який реєструється під час збудження шлуночків серця) і кінцевої частини серцевого циклу (сегмента Т та інтервалу QT).

Аналіз результатів холтерівського моніторування у здорових людей дозволяє зробити висновок, що класичні межі частоти ритму (60-90 уд./хв.) обов'язкові лише в статичних умовах, в стані лежачи або сидячи, але не під час сну. Мінімальна частота синусового ритму реєструється саме під час сну і має найменше значення в шкільному та юнацькому віці. Мінімальна частота синусового ритму залежить від статі, паління та фізичної активності. У жінок, у людей, які не працюють фізично, не займаються спортом, у людей, які багато палять, спостерігається більше значення мінімальної частоти синусового ритму протягом доби. Так, у спортсменів частота серцевих скорочень (ЧСС) у нічні години може сповільнюватися до 24-48 уд./хв., у немовлят мінімальна частота фіксується в межах 36-110 уд./хв., а у здорових людей віком 30-40 років – 34-70 уд./хв., 40-60 років – 36-78 уд./ хв., 60-80 років – 40- 78 уд./хв.

Максимальна ЧСС за 0 хв. протягом доби досягає у немовлят 220, у підлітків – 200, у дорослих – 160.

Дослідження ЕКГ-моніторування засвідчило адекватність індивідуального режиму рухової активності хворих.

Найбільш популярною є класифікація шлуночкової екстрасистолії, яка запропонована B. Lown і M. Wolf (1971). Вона ґрунтується на концепції «загрозливих» аритмій. Автори поділили шлуночкові аритмії на 6 класів: 0 – відсутність аритмії; 1 – менше 30 шлункових екстрасистол за 1 год. спостереження; 2 – більше 30 шлункових екстрасистол за 1 год. спостереження; 3 – поліморфні шлуночкові екстрасистоли; 4а – парні шлуночкові екстрасистоли; 4б – пароксизми шлуночкової тахікардії; 5 – ранні (R на T) шлуночкові екстрасистоли.[4]

Найбільше прогностичне значення щодо роботи серця (РС) мають 3 обставини: частота екстрасистол; наявність або відсутність парних форм і наявність або відсутність пароксизмів шлуночкової тахікардії.

Сучасна система моніторування ЕКГ дозволяє отримати якісний запис комплексу QRST.

Аналіз сегмента ST дає змогу виявити ішемію міокарда. Зміна сегмента ST відображає недостатність кровопостачання міокарда, але інколи спостерігається у здорових людей.

У здорових людей (до 40%) може спостерігатись зміщення сегмента ST нижче ізоелектричної лінії за косовисхідним типом, яке зазвичай пов'язане з тахікардією – понад 120 уд./хв. Такі зміни найчастіше можна виявити у здорових жінок віком від 40 років і рідко – після 50 років. Вони тривають від декількох хвилин до декількох годин і корелюються з наявністю тахікардії.

Зміщення сегмента ST більш ніж на 2 мм у здорових людей без ранньої реполяризації шлуночків зустрічається дуже рідко.

Значне зміщення сегмента ST у пацієнтів без «типових» скарг не має великого діагностичного значення для виявлення ішемічної хвороби серця (ІХС). Водночас спостереження 3-4 років показали збільшення у 4 рази ризику інфаркту міокарда або коронарної смерті у людей, зі значними змінами сегмента ST порівняно з групою людей без таких змін.

Елевація сегмента ST > 1 мм реєструється головним чином у молодих людей. Такі зміни виявляються у пацієнтів з вегетосудинною дистонією під час сну як вночі, так і вдень у 10 разів частіше, ніж у контрольній групі. Ці зміни пов'язують з наявністю ваготонії. Елевація сегмента ST збільшується поступово, повільно і зберігається під час сну протягом декількох годин. Зазвичай такі зміни супроводжуються супутньою брадикардією, що дозволяє відрізнити фізіологічну елевацію сегмента ST від елевації у випадку стенокардії типу Принцметала.

Елевація сегмента ST є основною ознакою ранньої реполяризації шлуночків, вона реєструється також під час неспання і зникає на тлі емоцій і/або фізичного навантаження, або без певних причин.

У пацієнтів з ІХС під час ЕКГ спостерігається зміщення сегмента ST різної вираженості і протяжності. Ці зміни пов'язані з нетривалою ішемією міокарда, яка підтверджується даними радіоізотопного дослідження міокарда (виявляються дефекти перфузії міокарда) і ЕхоКГ (ЕхоКГ - патологічний рух

стінок міокарда і збільшення кінцевого діастолічного тиску у лівому шлуночку). Така динаміка зазначається у разі як стабільної та нестабільної, так і спонтанної стенокардії.

За стенокардії напруги зниження сегмента ST завжди повільно досягає максимального значення і повільно зникає після припинення навантаження.[5]

## ВИСНОВКИ

Велике значення хотлерівського моніторування має для діагностики безбольової «німої» ішемії міокарда, основним критерієм якої є горизонтальне або косонизхідне зміщення сегмента ST на 1 мм тривалістю більше 60 сек.

Виявити безбольову ішемію міокарда прогностично важливо у хворих з постінфарктним кардіосклерозом, хронічною серцевою недостатністю і нестабільною стенокардією.

Застосування методики добового моніторування дає змогу виявити різні порушення ритму та провідності, стан ішемії міокарда, їхній зв’язок із фізичною активністю пацієнта, встановити відповідно до функціонального стану міокарда руховий режим пацієнта.

Функціональнонавантажувальні тести дають змогу найточніше оцінити фізичні можливості пацієнтів.

Застосування холтерівського моніторування засвідчує адекватність добору індивідуального режиму рухової активності хворих.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ефективна медицина 2004-2018. (Електронне джерело) :URL : https://www.rostmaster.ru/lib/diagnheart
2. Rumex 2018/ (Електронне джерело):URL : http://www.rumex.ru/information/elektrokardiografija-opisanie-metoda-127
3. М.В. Рішко, С.О. Лінчевська, Т.В. Чендей «Синдромна діагностика серцево-судинних захворювань» Навчальний посібник для студентів вищих медичних навчальних закладів, Ужгород – 2010
4. Коваленко В.Н.. Керівництво по кардіології. Частина 3, 2008
5. Сучасні класифікації та стандарти лікування захворювань внутрішніх органів 2018 (Електронне джерело):URL: https://pidruchniki.com/90293/meditsina/metodi_obstezhennya_kardiologiyi

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Вислоух С.П.***

**УДК 621:619**

*О.А. Кузьміна, студентка гр. ПБ-з71мп, Т.Р. Клочко, доцент*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ СТАНУ ТВАРИНИ

***Анотація*** Проведено дослідження існуючих на сьогодні методів та принципів побудови сучасних ветеринарних апаратів електрокардіографії та пульсоксиметрів. Проведений огляд аналогу апарату ЕКГ Alive ECG Vet Проведені порівняння статистичних даних серцево-судинних хворіб тварин. Проведені дослідження датчиків одноканальних електрокардіографів.

***Ключові слова :*** електрокардіографія, серцево-судинні захворювання тварин, ветеринарія.

## ВСТУП

У тварин досить часто зустрічаються хвороби серця, як вроджені, так і придбані. Їх характерною особливістю є постійне прогресування, їх важко розпізнати через відсутність видимої симптоматики. Оскільки порушення насосної функції призводить до погіршення роботи інших органів, серцеві патології прямо впливають на термін і якість життя кішки [1].

Для діагностування таких хворіб створенні апарати моніторингу стану тварин, що дають нам змогу отримати найбільш точну інформацію про стан хворого.

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні завдання – створити портативний комплекс моніторингу стану тварини, який буде водночас компактним та мати у собі декілька апаратів (пульсоксиметр, термометр та одноканальний апарат електрокардіографії). Він буде показувати переліченні результати та тримати стан кішки під контролем.

У країнах Європи с кожним роком створюють нові прилади для лікування домашніх улюбленців. Асоціація захисників прав тварин та PETA співпрацюють з науковцями, яким небайдуже здоров’я тварин та допомагають їм рятувати більше життів. Це є дуже актуальним закордоном, та нажаль в Україні не проводяться такі розробки.

Одним з новітніх приладів ЕКГ для тварин є Alive ECG Vet. Ветеринарний iPhone ECG і серцевий монітор призначений для оснащення iPhone, він має вигляд чохла на мобільній телефон, і має бездротовий контакт з програмою AliveECG Vet. Приклад AliveECG Vet можна безкоштовно завантажити з Apple App Store. Після того, як ви надягнете монітор ЕКГна телефон, він перетворить ваш iPhone на одноканальний прилад ЕКГ, який використовує живлення, дисплей та мобільний зв'язок iPhone.

## ДОСЛІДЖЕННЯ

Нормальна температура тіла кішки знаходиться в межах 37,5-39ºС, причому у молодих кішок вона ближче до верхньої межі, а у літніх - до нижньої. Частота дихання у кошеняти коливається в межах 60 вдихів за хвилину, у молодих особин - 22-24 вдиху, а у дорослих - 17-23. Нормальні показники пульсу для кішки - 100-130 ударів в хвилину. Навіть невеликі відхилення можуть вказувати на захворювання тварини [2].

Для постійного моніторингу стану хворого ми використовуємо підключені:

- Апарат ЕКГ
- Пульсоксиметр

Апарат електрокардіографії використовуємо одноканальний. При записі ЕКГ на міліметрівці швидкістю 50 мм/сек. кожен міліметр паперу по горизонталі відповідає 0,02 сек., кожні 5 мм - 0,1 сек., а 10 мм - 0,2 сек.

Для підрахунку числа серцевих скорочень вимірюємо інтервал R- R '- відстань між верхівками зубців R (або S), тобто тривалість одного серцевого циклу. При реєстрації ЕКГ підраховується число клітинок одного інтервалу R-R '. На міліметрівці 1 мм сітки відповідає 0,02 сек. (при русі стрічки зі швидкістю 50 мм / сек.)[3].

При правильному ритмі ЧСС визначають за формулою:

$$ЧСС = \frac{60}{R - R'}, \quad (1)$$

де 60 - число секунд в хвилині,R - R '- тривалість інтервалу, виражена в секундах.

При неправильному ритмі ЕКГ записується протягом 3 секунд. При швидкості руху паперу 50 мм/сек. цього часу відповідає відрізок електрокардіографічної кривої довжиною 15 сантиметрів. Потім, підраховуємо число комплексів QRS, зареєстрованих за 3 сек. (= 15 см паперової стрічки), і отриманий результат множимо на 20 [4].

Нормою ЕКГ у нашому випадку є:

Інтервали:

P <0.04

PR 0.05 - 0.09

QRS <0.04

QT 0.12 - 0.18

Амплітуди зубців в II відведенні, мВ

P <0.2

R <0.9

ЕОС -5 ° - + 160 °

ЧСС (ударів / хвилину) 160-240 [5].

Пульсоксиметр або оксиметр - прилад, який визначає сатурацію гемоглобіну (So2) і висловлює її в процентах. Основне призначення приладу - оцінювати рівень сатурації гемоглобіну (індикатор оксигенації), але при його використанні визначається також число серцевих скорочень і побічно визначається ступінь перфузії крові (індикатори циркуляції). Процент сатураціі гемоглобіну також вказуе на стадію гіпоксемії. Це співвідношення вказане у таблиці 1.

Пульсоксиметр обладнується датчиком, який чутливий як до абсорбції світла гемоглобіном, так і до пульсації крові в малих артеріолах. Світло червоного і інфрачервоного спектра випускається датчиком і проходить через тканини, сенсор розташовується на іншій стороні, він зчитує показання і потім аналізує. Машина визначає сатурацію розраховуючи різницю між рівнем насиченого і ненасиченого гемоглобіну, ґрунтуючись на різниці в абсорбції

світла. ЧСС визначається при детекції пульсації малих артеріол, як сатурація, так і частота серцевих скорочень виводяться на дисплей [6].

Таблиця 1. Норма показників SPO2

| ***Показники SPO2*** | ***Значимість*** | ***Дії*** |
|---|---|---|
| 95%–100% | Норма | – |
| 90%–94% | Рання гіпоксемія | Пошук причин |
| 85%– 89% | Гіпоксемія | Терапія |
| <85% | Критичний стан | Необхідні екстрені заходи |

## ВИСНОВКИ

У цій роботі було розглянуто актуальність побудови автоматизованого комплексу моніторингу стану тварини закордоном та в Україні. Було визначено основні складові майбутнього приладу. Було опрацьовано статистичні данні та показники апарату ЕКГ та пульсоксиметру для домашніх кішок та виведено формули для їх опрацювання для отримання точної картини стану здоров'я. Ці данні надалі будуть використані для розробки автоматизованого комплексу контролю стану тварини.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник по болезням домашних и экзотических животных / С.С. Липницкий и др. - М .: Ураджай, 2016. - 448 с.
2. Гавриша В. Г., Калюжный И. И. Справочник ветеринарного врача. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997. 608 с.
3. Зюзенков М.В. Основы практической электрокардиографии. - Минск: Вышеэйшая школа, 1998.
4. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. - М.: Медицинское информационное агентство, 1997.
5. Дэй, Томас К. Интерпретация ЭКГ критических состояний у собак и кошек / Дэй Томас К.. - Москва: Машиностроение, 2014. - 264 с.
6. Шурыгин, И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. - СПб .: Невский Диалект; М .: БИНОМ, 2000. - 301 с.

***Наук. керівник – доцент. Клочко Т.Р.***

**УДК 619.616.993.192**

*А.Г.Лебединська, студентка гр. ПБ-з71мп, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.*
КПІ ім.. Ігоря Сікорського

# ІМУНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КРОВІ У ТВАРИН

***Анотація:*** У даній статті розглянуто одне з найпоширеніших інфекційних захворювань людей та тварин, а саме токсоплазмоз. В роботі наведені результати досліджень сироваток крові котів з метою виявлення специфічних антитіл до збудника токсоплазмозу. Було використано «Токсоплазма IgG-КС-ИФА» виробництва ТОВ «ХЕМА» тест-набір для виявлення lgG антитіл до Toxoplasma gondii у котів виробництва Росія.

***Ключові слова:*** таксоплазмоз, діагностика, сироватки крові, імуноферментний аналіз, тест-система

## ВСТУП

Toxoplasma gondii є облігатним внутрішньоклітинним паразитом, який здатний заразити не тільки людину але і широкий спектр домашніх і диких тварин. Токсоплазмоз - ендемічне захворювання з поширенням по всьому світу. Кішки і дикі тварини з сімейства котячих відіграють важливу роль в епідеміології цього захворювання, оскільки вони є дефінітивними господарями, що виділяють з фекаліями стійкі в навколишньому середовищі ооцисти (рис.1).

Основними факторами, які сприяють епідеміології токсоплазмозу є: значна кількість безпритульних котів; інтенсивна репродуктивна здатність токсоплазм і стійкість у зовнішньому середовищі ооцист, що виділяють коти; адаптація їх до широкого кола проміжних господарів; тривале перебування ооцист в організмі інвазованих тварин [1,2].

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Комплексний життєвий цикл T. gondii включає в себе два етапи: 1) статеве розмноження паразита - здійснюється тільки у тварин сімейства котячих; 2) безстатеве розмноження - може проходити в організмі будь-якої теплокровної тварини, тобто ссавців (включаючи людину) і птахів (рис. 1).

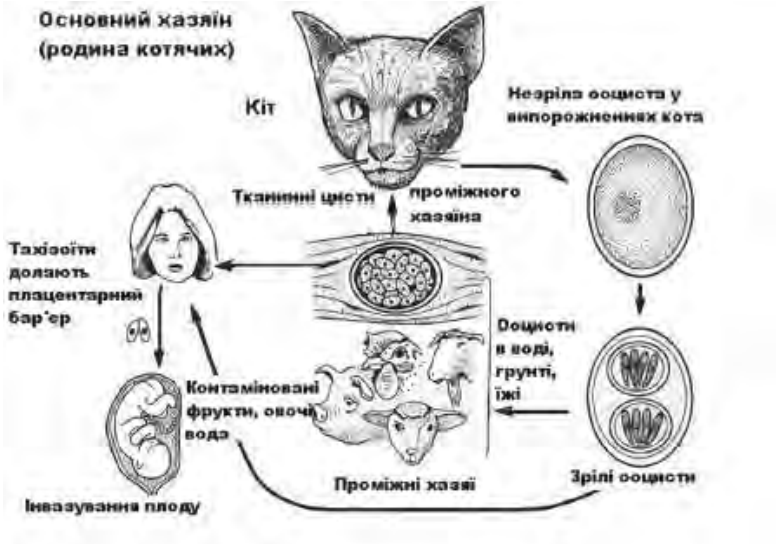



Рисунок 1. Механізм передачі токсоплазм

Існують три інфекційних стадії (форма) паразит, здатний до зараження:

Спорулірування ооцисти. Спочатку ооцисти, що виділяються з фекаліями інфікованих кішок, неспорулірувані, вони не контагіозні (не заразні). Однак у

навколишньому середовищі на 1-5 день залежно від температури і вологості відбувається їх спорулірування (наприклад 1 день - при 24 - 25 ° С, 5 днів - при 15 ° С і день 21 - 11 ° при температурі С). Брадізоіти ( «Brady» = повільно, грец.). Локалізуються в кістах різних тканин організму. Тахізоіти ( "taxoc" = швидкість, швидко, грец) - швидко діляться форми, які розмножуються практично в будь-яких клітинах проміжного господаря і епітеліальних клітинах (за винятком кишечника) остаточних (дефінітивних) господарів [3,4].

Лабораторні дослідження на токсоплазмоз здійснюють шляхом: виявлення і ідентифікації ендозоїтів, ооцист в патологічному матеріалі і ооцист токсоплазм е фекаліях методом мікроскопії; визначення специфічних антитіл в сироватці крові котів. Для індикації токсоплазм запропоновані сучасні імунохімічні і молекулярно-генетичні методи, зокрема імуноферментний аналіз, імуноблоттінг, гібридомні технології, полімеразна ланцюгова реакція та інші. Сьогодні виділяють два провідних способи виявлення токсоплазмоза у кішок. Це аналіз на антитіла до токсоплазми, який називається імуноферментним (ІФА), і ПЛР на токсоплазмоз (полімерна ланцюгова реакція). Встановлено, що ELISA-тест придатний для ретроспективної діагностики токсоплазмозу і значно перевершує загальноприйнятий метод дослідження сироватки крові в РЗК. За чутливістю ІФА в 5-10 разів, а за специфічністю у 2-3 рази перевершує РЗК. Призначення ПЛР полягає в виявленні часток ДНК паразитів. Частіше інших проводиться імунофермерметрний аналіз крові на токсоплазмоз. Він дозволяє виявляти фазу і час протікання хвороби. Виявити це вдається через виявлення іммуноглобулінів IgM [5,6].

**Метою роботи** було визначення специфічних антитіл у сироватках крові клінічно хворих котів за допомогою діагностикуму тест-системи «Токсоплазма IgG-КС-ИФА» виробництва ТОВ «ХЕМА», Росія, для виявлення концентрації антитіл класу G (IgG) до *Toxoplasma gondii*., в сироватці крові котячих методом твердофазного імуноферментного аналізу (рис. 2).

Рисунок 2. Набір тест-система «Токсоплазма IgG-КС-ИФА»

Для проведення досліджень використали зразки сироваток крові котів старших 8 місяців. Для отримання сироватки зразки крові центрифугували та відбирали надосадову рідину, яку зберігали за температури 2-8 0С протягом 72 годин чи у замороженому виді за температури мінус 20 0С. Після розморожування зразки повторно центрифугували та використовували надосад для дослідження.

Для виявлення специфічних антитіл до збудників токсоплазмозу сироватки крові котів досліджували з використанням тест-системи «Токсоплазма IgG-КС-ИФА», виробництва ТОВ «ХЕМА», Росія, м. Москва, REF К101CF, LOT 7102, придатний до 2019-09, згідно настанови.

Величина оптичної густини (ОГ) вмісту комірок планшета вимірювалась на спектрофотометрі вертикального сканування ImmunoChem-2100 Micropplate Reader User's Manual при довжині хвилі 450 нм. Вимірювання ОГ вмісту комірок планшета здійснювалось протягом 15 хв після внесення стоп-реагенту.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення антитіл класу G (IgG) до Toxoplasma gondii базується на використанні «сендвіч» -варіанті твердофазного імуноферментного аналізу. На внутрішній поверхні комірок планшета іммобілізований антиген -Toxoplasma gondii. Антитіла із зразку зв'язуються з антигеном на поверхні комірки. Комплекс, що утворився виявляють за допомогою загальновидового кон'югату мишачих моноклональних антитіл до IgG з пероксидазою хрону. В результаті утворюється пов'язаний з пластиком «сендвіч», що містить пероксидазу. Під час інкубації з розчином субстрату тетраметилбензидину (ТМБ) відбувається фарбування розчинів в комірках. Інтенсивність забарвлення прямо пропорційна концентрації антитіл класу G (IgG) до Toxoplasma gondii в досліджуваному зразку. Концентрація антитіл класу G (IgG) до Toxoplasma gondii в досліджуваних зразках розраховується за формулою, наведеною в інструкції.

При проведенні досліджень з використанням «Токсоплазма IgG-КС-ИФА» тест-набір для виявлення lgG антитіл до Toxoplasma gondii у котів результати реакції оцінювали:

Якщо значення К лежить в інтервалі від 1.1 до «другого cut-off», це може свідчити або про початковий період первинної інфекції, або про інфекції, перенесеної раніше. Щоб прояснити ситуацію, необхідно досліджувати повторні зразки крові того ж обстежуваного, взяті через кілька тижнів. Наростання титру в повторному зразку свідчить про наявність інфекції. Якщо ж титр наростає, це свідчить про відсутність активної інфекції та про анамнестичних характер антитіл(рис 2.).

| Исследуемая группа | Единицы, К | |
|---|---|---|
| | Нижний предел | Верхний предел |
| Серонегативные | <0.1 | 0.9 |
| Серопозитивные | 1.1 | 4.9 |

Рисунок 2. Очікувані значення і норми

За результатами досліджень з використанням «Токсоплазма IgG-КС-ИФА» тест-набір для виявлення lgG антитіл до *Toxoplasma gondii* у сироватках крові котів з клінічними ознаками (отити, кон`юнктивіти) старше 8 місяців встановлено позивних зразків:

Негативний результат 0-0,69, 0,7 - 0,89 сумнівна, більше 0,9 – позитивний

**ВИСНОВКИ**

1. Діагностику на наявність збудників токсоплазмоз у сироватках крові котів з різними клінічними проявами інфекцій проводили за допомогою тест-системи «Токсоплазма IgG-КС-ИФА», виробництва ТОВ «ХЕМА», Росія, м. Москва, REF К101CF, LOT 7102, придатний до 2019-09, згідно настанови.

2. Метод виявився високоефективним за допомогою якого в сироватках крові котів можна кількісно виявляти специфічні антитіла до токсоплазмозу.

3. Встановлено поширення збудників Toxoplasma gondii серед котів з різними клінічними ознаками інфекції.

4. При проведенні досліджень сироваток крові від котів старше 9 місяців з клінічними ознаками (отити, кон'юнктивіти, діарея) виявлено позитивних сироваток: на токсоплазмоз – 23,5 %, в тому числі титри становили 1,1 – 1,9 - 17,2% та більше 1,9 – 6,3 % досліджуваних.

5. Важливо проводити вимірювання титрів антитіл до токсоплазми у котенят старших 4 місяців, щоб виключити клостральний імунітет і наявність антитіл у кішки-матері, які не будуть діагностичними для маленьких котенят.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Березовський А. В., Якубчак О. М., Галат В. Ф. Діагностика токсоплазмозу тварин // Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок. — Львів, 2014. — Вип. 15, № 1. — С. 221–224.

2. Мороз, Б.В. Принципы диагностики и лечения токсоплазмоза /Б.В.Мороз и др.. // Мед. Паразитология. 1984. - №5. - С. 44-47.

3. Урбанович П. П., Потоцький М. К. Патологічна анатомія тварин. — Київ, 2008. —С. 665–666, 833–835

4. Крик Р., Бонагура Д. Современный курс ветмедицины. — Москва: КИРКА, 2005. — С. 339–340, 1134–1135.

5. Dubey J. P. Isolation of viable Toxoplasma gondii from tissue sandfeces of cats from Addis Ababa, Ethiopia / J. P. Dubey, C. Darrngton, N. Tiao et al. // America Society of Parasitologists: Journal of parasitology. — 2013. — № 99, Vol.1. — P. 56–58.

6. Taylor M. A., Coop R. L., Wall R. L. Veterinary Parasitology. Blackwell — 2007. — 3rd.eddition. — P. 431–432.

***Науковий керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.***

**УДК 681.525:681.586**

*Ю.В. Лобур, студент гр. ПБ-72мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МОДУЛЬ НЕІНВАЗИВНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМІ ШТУЧНОГО ПАЛЬЦЯ

***Анотація.*** В роботі розглянуто основні види та особливості застосування зворотного зв'язку у біонічних протезних пристроях. Наведено переваги та недоліки різних схем його реалізації. Запропоновано структурну схему власного модулю неінвазійного зворотного зв'язку на базі оптичних та п'єзовібраційних сенсорів. Описано основний алгоритм його роботи та результати попереднього тестування на різних типах досліджуваних об'єктів.

***Ключові слова:*** зворотній зв'язок, оптичний сенсор, штучні нейронні мережі.

## ВСТУП

Відновлення функціональності окремих органів, що були втрачені людиною в процесі життєдіяльності є складним біомедичним завданням. Протезування біоміметичних верхніх та нижніх кінцівок [1; 2], створення систем штучного зору [3] та нюху [4] передбачає розробку комплексних пристроїв, що в загальному випадку повинні не лише проводити точний аналіз біологічного сигналу від тіла пацієнта, а і забезпечувати хоча б елементарний зворотній зв'язок з ним. При біонічному протезуванні верхніх кінцівок, а особливо при створенні штучних пальців протезу, що відповідають за здійснення тонких маніпуляцій з предметами, застосування інвазійного зворотного зв'язку з тілом пацієнта може забезпечити значне підвищення точності роботи приладу та навіть повернення окремих дотикових відчуттів травмованої кінцівки [5].

Однак, використання інвазійного зворотного зв'язку передбачає проведення хірургічного втручання в тіло пацієнта та високоточний розрахунок стимулюючих впливів на окремі нервові закінчення кінцівки, що в загальному випадку значно підвищує складність виготовлення, собівартість розробки і реалізації пристрою.

Метою цієї роботи є розробка модулю неінвазійного зворотного зв'язку, що може бути використаний при створенні біологічно керованих штучних пальців протезу верхньої кінцівки, та дозволить забезпечити проведення ідентифікації декількох типів поверхонь, з якими взаємодіють робочі фаланги пальців в процесі здійснення маніпуляцій з предметами побуту.

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Структура системи зворотного зв'язку (ЗЗ) біонічної кінцівки залежить від його виду (інвазійний чи неінвазійний), типу сенсорів і схеми обробки сигналу, що застосовується при цьому.

В даній роботі було запропоновано структурну схему модулю неінвазійного зворотного зв'язку на базі оптичних та п'єзовібраційних сенсорів (рисунок 1), що забезпечує визначення типу об'єкту і первинної структури його поверхні, з якою взаємодіє штучний палець. Спроектований модуль складається з двох сенсорів, схем підсилення та фільтрації сигналу, АЦП, мікроконтролеру з штучною нейронною мережею, бездротового передатчику, блоку живлення і

паралельно може підключатись до спеціально створеного програмного забезпечення на ПК.

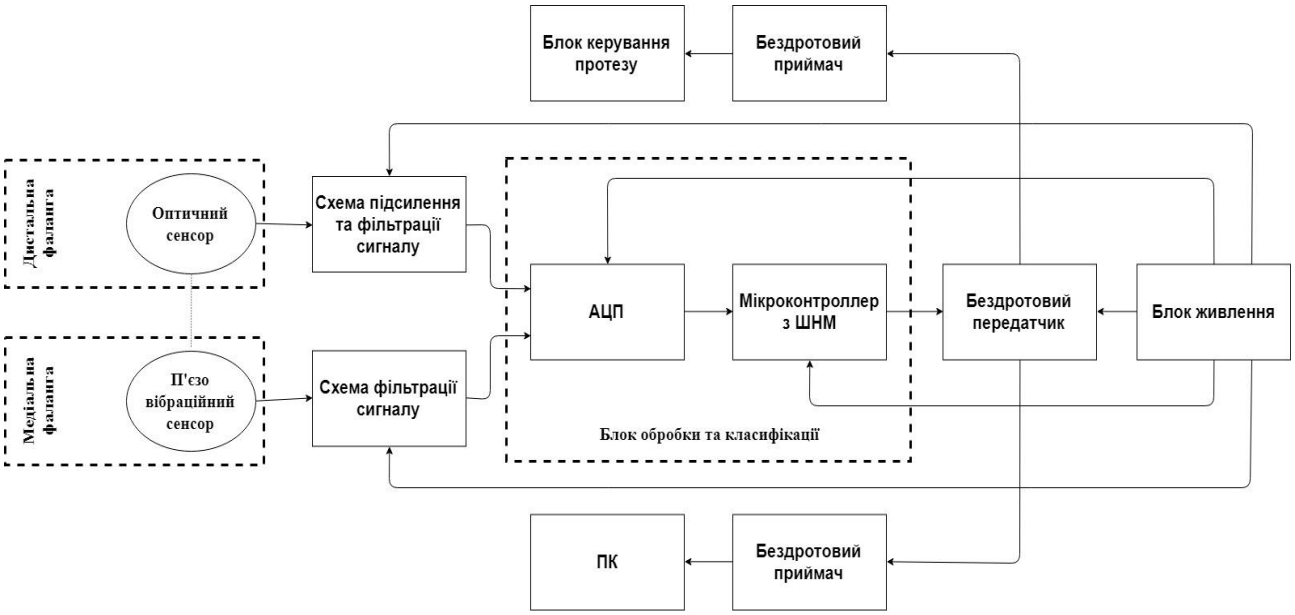



Рисунок 1. Структурна схема модулю неінвазійного зворотного зв'язку

При проектуванні модулів неінвазійного зворотного зв'язку, зазвичай використовується вимірювання сили доторку штучного пальця до поверхні об'єкту дослідження, й подальша передача відповідного по інтенсивності стимулу на здорову частину кінцівки пацієнта у вигляді вібрацій. У більшості випадків, визначення сили доторку здійснюється за допомогою FSR (force sensitive resistors) або тензо-резистивних датчиків, а для створення незначних вібрацій застосовуються малопотужні вібро-мотори розміщені у точках, де стимуляція відповідних нервових закінчень буде найбільш відчутною.

В свою чергу, модуль ЗЗ запропонований в цій роботі, не потребує вимірювання сили доторку та подальшої передачі стимулу на кінцівку пацієнта. Оптичний сенсор використаний в модулі побудований на основі опто-пари і застосовується для ідентифікації однієї із 6-ти типових категорій об'єктів. П'єзовібраційний сенсор використовується для дослідження їх форми, шляхом вигину його робочої поверхні, та є чутливим навіть до незначних вібрацій. Дані, виміряні за допомогою двох сенсорів піддаються подальшому аналізу та класифікації за допомогою аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролеру і спеціально спроектованої штучної нейронної мережі, за принципом наведеним в статтях [6; 7]. Результати класифікації використовуються в системі керування біонічної кінцівки для підвищення прецизійності роботи пристрою, шляхом розрахунку оптимальної сили хвату штучної кисті, відповідно до форми та жорсткості об'єктів маніпуляції.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Автором було створено модуль неінвазійного зворотного зв'язку на основі двох сенсорів, мікроконтролерного блоку аналізу сигналів та структури простої

нейронної мережі для їх класифікації. Спроектований модуль виконує аналіз виміряних даних відповідно до попередньо визначеного набору робочих поверхонь. Після чого, здійснюється передача отриманих результатів до головного блоку керування штучної кінцівкою. Окрім того, такий модуль має можливість здійснювати одночасну передачу даних по бездротовому зв'язку на спеціально спроектоване програмне забезпечення для ПК, що забезпечує можливість додаткового моніторингу коректності роботи протезу.

В рамках цього дослідження, було проведено лише попереднє тестування спроектованого модулю ЗЗ на 6-ти типах поверхонь (метал, дерево, скло, тканина, папір, кераміка), без визначення їх форми. Оптичний сенсор розташовувався «впритул» до об'єктів вимірювання, а досліджування проводилось у денному світлі. Результати попереднього тестування показали 100% точність визначення типу об'єктів та можуть бути використані як базис, для подальшого вдосконалення модулю і проведення його повноцінного тестування із визначенням форми зразків, на більш значній кількості робочих поверхонь.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Koganezawa, K., & Ito, A. (2016). Artificial hand with stiffness adjuster. In Intelligent Autonomous Systems 13 (pp. 1079-1093). Springer, Cham.
2. Dietrich, C., Nehrdich, S., Seifert, S., Blume, K. R., Miltner, W. H., Hofmann, G. O., & Weiss, T. (2018). Leg prosthesis with somatosensory feedback reduces phantom limb pain and increases functionality. Frontiers in neurology, 9.
3. Liu, H., Huang, Y., & Jiang, H. (2016). Artificial eye for scotopic vision with bioinspired all-optical photosensitivity enhancer. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(15), 3982-3985.
4. Fitzgerald, J. E., Bui, E. T., Simon, N. M., & Fenniri, H. (2017). Artificial nose technology: status and prospects in diagnostics. Trends in biotechnology, 35(1), 33-42.
5. Cheung, B., Van Erp, J. B. F., & Cholewiak, R. W. (2008). Anatomical, neurophysiological and perceptual issues of tactile perception. Tactile displays for orientation, navigation and communication in air, sea and land environments. Neuilly-sur-Sein Cedex (France): NATO Research and Technology Organisation, 1-18.
6. Vonsevych, K. (2017). Information-measuring system of myograph of bionic limb prosthesis. Perspektyvni Tekhnolohii ta Prilady, 10(1), 32-37.
7. 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.

***Наук. керівник – к.т.н., доцент, Безуглий М.О.***

**УДК 616-71**

*Т.Д. Макарова, студентка гр. ПБ-з71мн, асистент Яковенко І.О.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРФОРАЦІЇ ШКІРИ ТА ЗАБОРУ КРОВІ

***Анотація.*** У роботі наведено існуючі методи дослідження капілярної крові та розглянуто їх недоліки та переваги. Описано основні інструменти та засоби перфорації шкіри та розглянуто найбільш зручні ділянки для забору капілярної крові. Запропоновано структурно-функціональну схему системи перфорації шкіри з автоматичним забором крові та описано її роботу, яка забезпечить високий рівень якісного аналізу зразка та дозволить мінімізувати затрати на проведення аналізу.

***Ключові слова:*** перфорація шкіри, автоматичний забір крові, капілярна кров, дослідження зразка.

## ВСТУП

Для моніторингу стану здоров'я людини широко використовуються клінічні аналізи проб артеріальної, венозної та капілярної крові, так як кров містить велику кількість інформації, що стосується здоров'я людини і може застосовуватись для моніторингу її стану [1,2]. Дослідження артеріальної і венозної крові, забір якої відбувається інвазивним методом, має певні недоліки такі як: травматизації судин, больові відчуття, ризик зараження та є неприйнятними для використання в умовах обмеженого ресурсу та польових умовах [2,3]. Однак, капілярна кров містить велику кількість інформації, що використовується для моніторингу стану здоров'я людини та легко збирається мінімально інвазивною процедурою і має великий потенціал для діагностики стану організму. Методи дослідження капілярної крові є простими, швидкими та відносно недорогими, але має суттєвий недолік впливу людського фактору на процес збирання та передачі досліджуваного зразка.

Метою роботи є створення автоматизованої системи перфорації шкіри з автоматичним забором крові, що забезпечить високий рівень якісної діагностики захворювань і моніторингу стану здоров'я та допоможе знизити вплив людського фактору на достовірність результатів.

## ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КАПІЛЯРНОЇ КРОВІ

Існуючі методи забору капілярної крові дозволяють більш широко використовувати їх порівняно з артеріальною і венозною, оскільки вони реалізуються більш простими інструментами для перфорації шкіри (ланцет, наноголки і інше) та є схваленими для проведення поза клінічною лабораторією (наприклад вдома) [4]. За рахунок особливості капіляру, який представляє собою невелику одношарову кров'яну судину в якій бракує еластичною тканини, як у великих кровоносних судинах, ми маємо можливість збирати капілярну кров з різних ділянок тіла (рис.1), що дозволяє використовувати даний метод для людей похилого віку та у новонароджених [5].

Всі існуючі методи дослідження капілярної крові можна поділити на: інвазивні, малоінвазивні та неінвазивні. Інвазивні методи проводять прокол для забору крові за допомогою простого ланцету (рис.2,а), що крім ризику зараження, є надзвичайно болючою та травматичною процедурою.

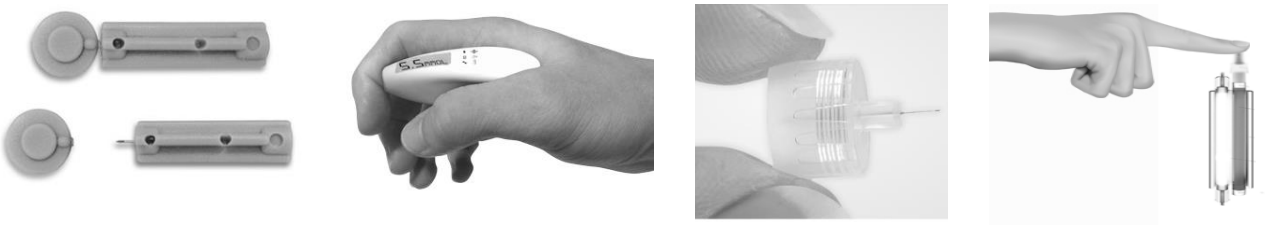
Неінвазивні методи не порушують цілісність тканин (рис.2,б), та використовують спектральний аналіз в інфрачервоній (ІЧ) області, раманівську

спектроскопію, фотоакустичну спектроскопію, властивості поляризації та розсіювання пучка світла що проходить через біологічний об'єкт. Дані методи мають недоліки, що пов'язані зі встановленням правильного кореляційного зв'язку між параметрами та подальшим його аналізом [5].

*а)* *б)* *в)* *г)*

Рисунок 1. Місця забору артеріальної крові: а) кисть руки: 1 – великий палець, 2 – середній палець, 3 – долоня; б) вухо: 4 – хвіст завитка; в) стопа новонародженої дитини: 5 – п'ятка; г) рука: 6 – передпліччя, 7 – рука.

Найбільш перспективними є малоінвазивні методи з різними способами перфорації шкіри для забору крові, що відкриває більш широкий спектр використання капілярної крові в діагностиці та моніторингу здоров'я людини. Найчастіше для реалізації забору крові використовують перфорацію шкіри за допомогою наноголок (рис.2,в), що дозволяє зменшити ризики потрапляння інфекцій та знизити больові відчуття.



*а)* *б)* *в)* *г)*

Рисунок 2. Методи та засоби дослідження капілярної крові: а) ланцет; б) неінвазивний глюкометр; в) наноголка; г) перфорація використанням лазера Er:YAG 2940 нм.

Також до малоінвазивних методів відноситься перфорація шкіри за допомогою використання лазера Er:YAG ***2940*** нм (рис.2,г), який завдяки коротким імпульсам зменшує травматизацію шкіри та больові відчуття утворюючи невеликий отвір, що значно знижує ризик зараження.

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПЕРФОРАЦІЇ ШКІРИ ТА ЗАБОРУ КРОВІ

В даній роботі авторами запропоновано систему перфорації шкіри з автоматичним забором крові, структурно-функціональна схема якої наведена на рис.3. Вона складається з блоку перфорації, який може переміщуватись в горизонтальному та вертикальному напрямках за допомогою системи переміщення та позиціонування, а також з модулю індикації рідини, який визначає рівень крові в пробірці (модулі забору). В свою чергу блок перфорації

складається з модулю перфорації, що може бути виконаний у вигляді відкидної ланцети, та з модулю забору зразку, що може бути виконаний у вигляді пробірки. Модуль забору зразку пов'язаний з системою індикації (наприклад, оптичної), з вакуумним насосом, який за рахунок дна пробірки у вигляді діафрагми, може змінювати тиск в самій пробірці, а також із зовнішніми системами пломбування та зчитування. Робота системи переміщення та позиціонування і вакуумного насосу здійснюється двома кроковими двигунами, що керуються блоком керування та обробки.

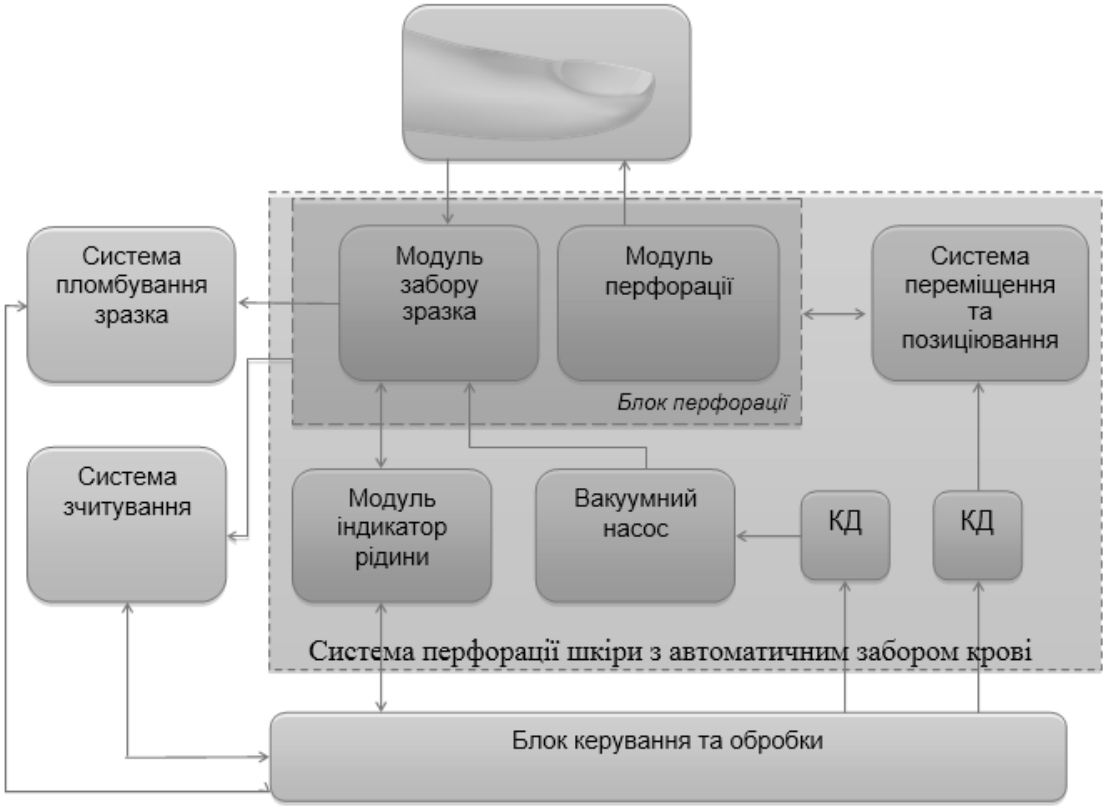



Рисунок 3. Структурно-функціональна схема системи перфорації шкіри з автоматичним забором крові (КД – кроковий двигун)

Запропонована системи перфорації шкіри з автоматичним забором крові працює наступним чином. Після ідентифікації пальця пацієнта (в роботі не розглядається), блок перфорації встановлюється у необхідне положення і при незначному переміщенні вверх здійснюється прокол. При зміні тиску в пробірці капілярна кров потрапляє в середину до тих пір, поки модуль індикації не дасть сигнал на блок керування про достатній об’єм крові та не відключить роботу вакуумного насосу. Далі система зчитування сканує штрих-код з пробірки та передає його в карту пацієнта (на схемі не показано). Система переміщення та позиціонування подає блок перфорації до системи пломбування, яка герметично закупорює пробірку.

На виході отримуємо герметично запломбовану пробірку з біологічним матеріалом та штрих-кодом, який прив’язаний до конкретного пацієнта. Перевагами запропонованої системи є підвищення захисту результатів від цілеспрямованої підміни.

## ВИСНОВКИ

Якість і кількість отриманих зразків значною мірою залежать від спеціалістів, що їх відбирають та вимог, яким зразки повинні відповідати. Основними вимогами до зразків для досліджень є законність та достовірність, що напряму залежить від людського фактору. Тому, розробка автоматизованої системи забору крові є об'єктивною передумовою успішного проведення дослідження крові, та достовірного і своєчасного встановлення діагнозу, а також наддасть змогу використовувати результати досліджень для проведення страхування здоров'я людини, зменшуючи випадки шахрайства на етапі встановлення діагнозу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Катеренчук І.П. Клінічне тлумачення і діагностичне значення лабораторних показників у клініці внутрішньої медицини: Навчальний посібник/ І.П. Катеренчук — Полтава, 2015, — 270с.

2. Мишанич Т.В. Особливості змін лабораторних та імунологічних показників у хворих на поєднану патологію підшлункової залози / Т.В. Мишанич, О.М. Москаль, Т.В. Маркуліна, М.А. Дербак, Е.Й. Архій // Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина», випуск 2 (41), 2011— 320-323с.

3. Gregory C. J. Capillary blood glucose monitoring, in-patient hypoglycaemia and quality of care /Gregory Charles Jones, Colin G Perry, Andrew Monaghan // The British Journal of Diabetes & Vascular Disease 15(1) — March 2015, DOI:10.15277/bjdvd.2014.041

4. Jasna Lenicek Krleza. Capillary blood sampling: national recommendations on behalf of the Croatian Society of Medical Biochemistry and Laboratory Medicine/ Jasna Lenicek Krleza, Adrijana Dorotic // Biochem Med (Zagreb) – Режим доступа: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4622200/ - 2015.

5. Tang R. Capillary blood for point-of-care testing / R. Tang, H.Yang, JR. Choi – Режим доступу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28763247 - 2017 Aug.

**УДК 535-7**

*Д. Ю. Маляренко, студентка гр. ПБ-72мп, к.т.н., доц. Безугла Н. В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

***Анотація.*** У даній роботі приведено основні фізичні явища, на яких базується робота методів визначення показника заломлення біологічних середовищ. Виділено основні елементи гоніометричних пристроїв та проаналізовано особливості використання оптичних елементів повного внутрішнього відбиття в них. Запропоновано модифікацію гоніометричного методу з використанням еліпсоїдального рефлектору. Приведено блок-схему для аналізу поширення лазерного випромінювання в запропонованому методі.

***Ключові слова:*** показник заломлення, еліпсоїдальний рефлектор

## ВСТУП

Визначення показника заломлення біологічних середовищ у порівнянні з технічними об’єктами є досить складною задачею, що пов’язана з оптичною неоднорідністю самого середовища, насиченням водою чи киснем а також з динамічними процесами, які можуть в ньому виникати. В основі роботи методів визначення показника заломлення лежать такі фізичні явища як інтерференція, повне внутрішнє відбиття (ПВВ), поляризація, рефракція та ін. [1-2]. Найбільш поширеними є гоніометричні методи, технічна реалізація яких базується на дослідженні критичного кута ПВВ. Основними елементами таких пристроїв є елемент ПВВ, показник якого визначає обмеження при проведенні досліджень та має бути більшим за показник заломлення досліджуваного середовища, а також система зміни та відліку кута падіння світла, поляризатор та система реєстрації явища ПВВ.

У даній роботі розглянуто типи та особливості конструкції елементів ПВВ, що використовуються при гоніометричних вимірюваннях. До найбільш поширених можна віднести напів-циліндричну призму [3] або призму АР-90о [4]. Недоліком гоніометрії є застосування досить складних механізмів повороту для зміни та відліку кута падіння. У деяких пристроях використовують оптичне волокно, яке розташовують всередині досліджуваного середовища таким чином, аби останнє щільно до нього прилягало с усіх сторін. Даний оптичний елемент використовують для вимірювання показника заломлення гомогенізованої тканини *in vitro* [5].

Метою даної роботи є обґрунтування передумов створення вимірювального засобу для визначення показника заломлення біологічних середовищ на основі методу еліпсоїдальних рефлекторів.

## МЕТОДИ І ЗАСОБИ

У даній роботі для визначення показника заломлення застосовується модифікація гоніометричного методу з використанням еліпсоїдального рефлектору (ЕР). Перевагою використання такого оптичного елементу є конструктивні особливості, що забезпечують реєстрацію розсіяної компоненти, а також відсутність додаткових оптичних елементів для направлення променя, що суттєво спрощує систему зміни та відліку кута падіння.

Розглянемо два варіанти використання ЕР. Перший варіант, це використання порожнистих ЕР для збирання та передачі розсіяного світла, виготовлених методами траєкторного копіювання або 3-D друку [6,7], у поєднанні з призмою АР-90о, що виконує роль елементу ПВВ. Перевагами даної технічної реалізації є відпрацьована технологія виготовлення ЕР, недоліками – додаткові елементи, такі як призма та елементи її кріплення, що ускладнюють конструкцію пристрою.

Другий варіант – використання скляного ЕР з дзеркальним покриттям (крім тонкої смуги, що виконує роль вхідної щілини), який використовується як елемент ПВВ, а також збирає розсіяне випромінювання (рис.1). Незважаючи на складність виготовлення такого ЕР, даний варіант є більш оптимальним.

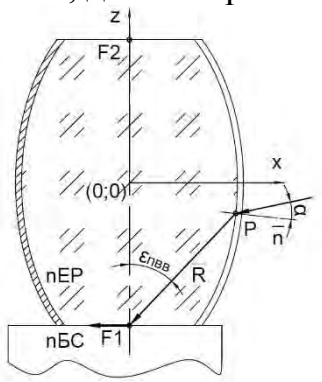



Рисунок 1. Схема визначення показника заломлення БС з використанням скляного ЕР

Для коректної роботи скляного ЕР при гоніометричних дослідженнях критичного кута, показник заломлення скла повинен бути більшим за очікуваний показник заломлення біологічного середовища (наприклад, скло ТФ3 (n=1,7232) або ТФ6 (n=1,7617)). Розмір вхідної щілини повинен забезпечувати переміщення вздовж бічної грані скляного ЕР падаючого променю, а також враховувати його діаметр. Виходячи з цього, для технічної реалізації необхідно врахувати конструктивні параметри ЕР, а саме: розмір фокальної площини (*p*, мм), ексцентриситет (*e*), показник заломлення скла (*nEP*), а також кут падіння (α, град) та координати точки *P* падіння променю (*x* та *z*) на вхідну щілину ЕР для забезпечення потрапляння заломленого променю в центр нижньої фокальної площини, що містить фокус F1.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На підставі розробленого математичного апарату поширення лазерного випромінювання в ЕР заданої конструкції та досліджуваному БС розроблено блок-схему для вирішення прямої або зворотної задачі, роботи якої наведена на рис. 2. Вхідними даними для моделювання в обох випадках є конструктивні параметри ЕР.

Пряма задача (на рис.2 ліва частина схеми) полягає у розрахунку показника заломлення біологічного середовища *nБС* за відомими конструктивними параметрами ЕР, координатами точки падіння *P*(x,0,z) і кутом падіння α.

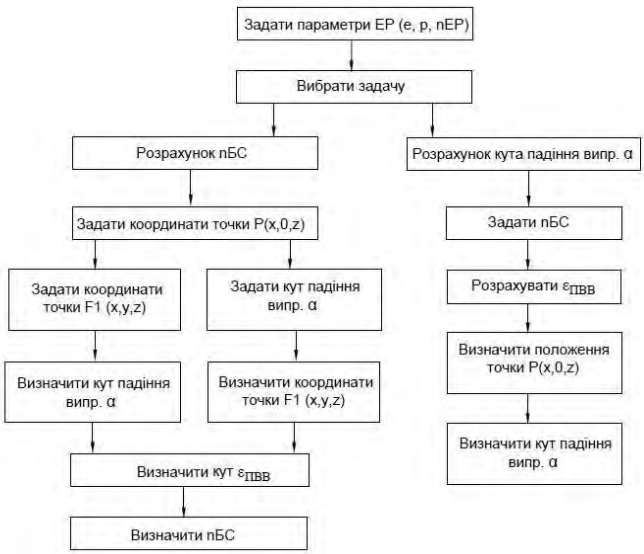



Рисунок 2. Блок-схема роботи програмного забезпечення

Зворотна задача може бути використана для калібрування пристрою і полягає у визначенні кута падіння α за відомими конструктивними параметрами ЕР та показником заломлення біологічного середовища *nБС*. За відомими показниками заломлення розраховується кут повного внутрішнього відбиття εПВВ та визначаються координати точки *P*(x,0,z) і кут α.

На підставі розробленої блок-схеми планується створення програмного забезпечення та вимірювального пристрою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zvyagin A. V. et al. Refractive index tomography of turbid media by bifocal optical coherence refractometry //Coherence Domain Optical Methods and Optical Coherence Tomography in Biomedicine VIII, 2004. – Vol. 5316. – P. 155-167.

2. Bashkatov A. N., Genina E. A., Tuchin V. V. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review //Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4. – No. 1. – P. 9-38.

3. Li H., Xie S. Measurement method of the refractive index of biotissue by total internal reflection //Applied optics. – 1996. – Vol. 35. – No. 10. – P. 1793-1795.

4. Lai, J.C. Complex refractive index measurement of biological tissues by attenuated total reflection ellipsometry/ J. C. Lai, Y. Y. Zhang, Z.H. Li, H.J. Jiang, A.Z. He //Applied Optics . – 2010. – Vol. 49, No.16 – P. 3235-3238.

5. Bolin F.P. Refractive index of some mammalian tissues using a fiber optic cladding method / F.P. Bolin, L.E. Preuss, R.C. Taylor, R.J. Ference // Applied Optics . – 1989. – Vol. 28. – P. 2297-2303.

6. Безуглий М. О. Особливості виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів фотометрів / М. О. Безуглий, І. І. Синявський, Н. В. Безугла, А. Г. Козловський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2016. – №2 (52). – С. 76-81.

7. Безуглий М.О. Контроль форми еліпсоїдальних рефлекторів біомедичних фотометрів / М.О. Безуглий, Лінючева О.В., Безугла Н.В., Бик М.В., Костюк С.А // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017. – №1 (53). – С. 62-69.

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

**УДК 615.847.8**

*Б.Е. Нагаєва, студентка гр. ПБ-з71мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ПАРАМЕТРИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

***Анотація*** Проведено дослідження існуючих методів та принципів побудови сучасних магнітофізіотерапевтичних апаратів з метою порівняння їх впливу на температурні параметрів біологічних тканин. Проведена оцінка впливу магнітного поля (МП) на біологічні тканини (БТ), встановлений розподіл постійної та змінної складових магнітного поля в самих вихідних індукторах та досліджуваному об'єкті «вихідний індуктор-біологічна тканина» в магнітофізіотерапевтичних апаратах (МФТА) «МАГ-30», «МИТ-11» та характери змін значень температури біологічної тканини під час фізіотерапевтичної процедури.

***Ключові слова :*** магнітне поле, температура біологічних тканин, магнітотерапія.

## ВСТУП

Біофізики і лікарі, які вивчають фізіологічні процеси, що відбуваються під впливом магнітного поля в організмі людини, перш за все, відзначають важливий вплив магнітного поля на систему кровообігу, стан кровоносних судин, активність перенесення кисню через кров, транспортування поживних речовин через напівпроникні мембрани клітин [1].

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Магнітне поле, на відміну від інших фізіотерапевтичних факторів, наприклад, лазерного або ультрафіолетового проміння, оточує людину всюди, тобто є частковою складовою людського організму.

Так одним із інтегральних показників оцінки дії магнітного поля на біологічну тканину може бути зміна їх температурних параметрів [2,3].

Завдання сьогодення – це створення адаптивних апаратів, що забезпечує формування різних просторових структур магнітних полів більш складної форми, що змінюються в часі з природними біологічними ритмами людини і характером протіканням реальних фізіологічних процесів.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розробки нових типів магнітофізіотерапевтичних апаратів необхідна нова концепція побудови таких апаратів з можливістю керування параметрами діючого магнітного поля, оцінка впливу магнітного поля на біологічний об'єкт, розділення постійної, змінної та імпульсної складових магнітного поля в самому індукторі та досліджуваному комплексі «вихідний індуктор-біологічна тканина» та врахування об'єктивної оцінки дії магнітного поля на біологічне середовище.

Такою оцінкою дії магнітного поля може бути зміна параметрів температур біологічного середовища під час проведення фізіопроцедури [3,4].

Для розрахунків параметрів індуктора припустимо, що значення магнітної індукції мідного індуктора без сердечника носить лінійний характер коливань значень магнітної індукції $B(t)$ при зміні струму $I(t)$ [3].

Так магнітна індукція індуктора МФТА розраховується за формулою:

$$B(t) = k_B \cdot I(t), \tag{1}$$

де $I(t)$ – зміна значень сили струму , $k_B$ – постійна індуктора по магнітній індукції.

При впливі магнітного поля на біологічне середовище (БС) зовнішнє магнітне поле взаємодіє з магнітним полем БС. Залежність змін значень амплітуди магнітної індукції $B(t)$ від частоти $f$ та часу $t$ визначає характер теплових ефектів та характеризується, як частотним коефіцієнтом $Kf$, так і коефіцієнтом $k_B$ – постійної індуктора по магнітній індукції.

Значення коефіцієнта постійної індуктора по магнітній індукції $k_B$, в низько інтенсивному терапевтичному діапазоні до 100 мТл, залежить від виду магнітного поля (постійне , змінне чи імпульсне):

$$k_B = \sqrt{K_{\text{ВП}}{}^2 + K_{\text{ВЗ}}{}^2 + K_i{}^2}, \tag{2}$$

де $K_{\text{ВЗ}}$ – постійна індуктора по магнітній індукції при подачі змінного струму; $K_{\text{ВП}}$ – постійна індуктора по магнітній індукції при подачі постійного струму; $Ki$ - постійна індуктора по магнітній індукції при подачі імпульсного струму.

Теоретико - експериментальні дослідження встановили, що температура $T(^\circ C)$ в зоні дії МП прямо пропорційна часу $t$ дії та значенню магнітної індукції $B(t)$ і зворотно пропорційна значенням теплоємкості одиниці об'єму $C_q$, імпедансу $Z$, площі зони локальної дії $S$ , провідності середовища σ [4,5]:

$$T(°C) = \frac{K_m \cdot K_{\text{БТ}} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{Z \cdot C_q \cdot \sigma \cdot S}, \tag{3}$$

де $K_{\text{БТ}}$ – коефіцієнт біологічної тканини, $K_m$ – коефіцієнт перетворення сигналу, $K_f$ – коефіцієнт залежності від частоти, σ – провідность середовища, $Cq$ – теплоємкость одиниці об'єму біологічної тканини, $S$ – площа зони локальної дії.

Значення імпедансу $z$ – біологічних систем визначається тільки омічним $R$ і ємнісним $X_C$ опорами в зоні дії [5]:

$$z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}, \tag{4}$$

а площа зони дії МП обраховується за формулою:

$$S = \pi r^2, \tag{5}$$

де $r$ – радіус зони впливу поля.

Підставляючи значення рівнянь (4) і (5) в формулу (3) отримаємо:

$$T(°C) = \frac{K_m \cdot K_{\text{БТ}} \cdot K_f \cdot B(t) \cdot t}{C_q \cdot \sigma \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{R^2 + X_C{}^2}}, \tag{6}$$

Промоделюємо вплив магнітного поля на шкіру людини для магнітотерапевтичних апаратів «Маг-30» та «МИТ-11» в їх основних режимах. В формулу (6) підставимо основні дані параметрів та порівняємо з експериментальними даними. Виміряємо і визначимо реальні значення зміни температури як самого індуктора $Ti(^{oC})$ в процесі роботи , так і сумарну, повну температуру $Tn(^{oC})$ при дії на біологічну тканину. Тоді модуль різниці (градієнт) температури яка змінювалась на біологічній тканині буде

$$Тб(^{o}C)=| Тп(^{o}C) - Ті(^{o}C) | \quad (7)$$

На базі проведених досліджень отримаємо графіки температурних змін в біологічній тканині в залежності від часу дії магнітного поля та магнітної індукції.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження - залежність температурних показників БТ від впливу магнітного поля. Для цього було використано апарат низькочастотної магнітотерапії «МАГ-30-4» та апарат для комбінованої фізіотерапії «МИТ-11».

Вимір значень магнітної індукції виконувався на мілітесламетрі «Ф4356», а температура на та тепловізорі Mobir 3M . На першому етапі вимірювали температуру тепловізором на поверхі індуктору та на поверхні біологічної тканини під дією магнітного поля. Результати наведені у табл.1.

Таблиця 1. Результати температур $^{o}C$ з апаратом «МАГ-30-4»

| ***Наявність біологічної тканини*** | ***Час (хв)*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **0** | **1** | **5** | **10** |
| ***Ні*** | 31,6 | 32,2 | 33 | 34,2 |
| ***Так*** | 30,1 | 30,9 | 31,2 | 30,4 |

Значення магнітної індукції 8,8 мТл.. Дані у таблиці — $^{o}C$ градуси Цельсію в залежності від часу, зафіксовані тепловізором під час експерименту.

Під час другого етапу використовувся той самий метод фіксування даних, на апараті «МИТ-11» з правим і лівим індукторами в 4 режимах.

Результати наведені у табл.2.

Таблиця 2. Результати температур з апаратом «МИТ-11»

| ***Режим індукції*** | ***Значення індукції магнітного поля (мТл)*** | ***Без біологічної тканини*** | | | ***З біологічною тканиною*** | | | ***Правий (П) чи лівий (Л) індуктори*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ***Час (хв)*** | | | ***Час (хв)*** | | | |
| | | **1** | **2** | **5** | **1** | **2** | **5** | |
| 6 | 1,4 | 24,5 | 24,9 | 26 | 23,7 | 24,4 | 25,6 | *П* |
| | 1,1 | 24,2 | 24,6 | 25 | 23,1 | 24 | 24,8 | *Л* |
| 12 | 2,6 | 26,3 | 26,9 | 26,8 | 25,6 | 26 | 26,1 | *П* |
| | 2 | 25,3 | 25,6 | 25,8 | 24,9 | 24,8 | 25,1 | *Л* |
| 15 | 3 | 27,3 | 28,1 | 29 | 26,7 | 27,7 | 28,6 | *П* |
| | 2,6 | 26,2 | 26,8 | 28,2 | 25,2 | 25,9 | 27,7 | *Л* |
| 18 | 3,7 | 27,7 | 30,8 | 30,2 | 26,9 | 29,3 | 29,4 | *П* |
| | 3,6 | 27,3 | 30,4 | 29,8 | 26,4 | 28,8 | 28,9 | *Л* |

Використовуючи формулу 7, ми визначимо різницю температур БТ під час дії магнітного поля.

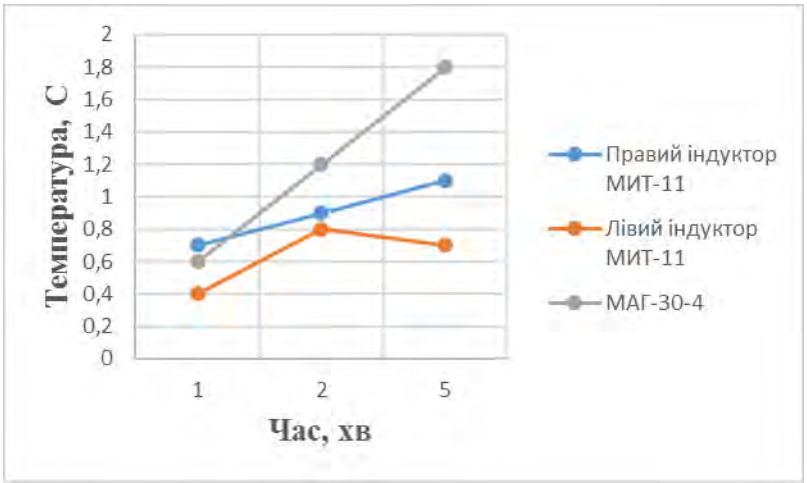



Рисунок 1. Графік різниці температур БТ при дії МП в часу

## ВИСНОВКИ

Встановлено залежність зміни градієнта температур БТ від дії магнітного поля та часу впливу. Зростання часу дії магнітного поля на біологічну тканину визиває ріст градієнта температур. Це підтверджують різниця між кривими на рис.1: температура індуктора без біологічної тканини постійно підвищується, проте з біологічною тканиною починається впливати взаємодія зовнішнього МП та біомагнетизм БТ.

Дані дослідження будуть використати для розробки адаптивних апаратів магнітотерапії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соловйова Г.Р. Магнітотерапевтична апаратура. / Г.Р. Соловйова — М.: Медицина, 1991. — 176с.
2. Малков Ю.В. Апарат для магнітотерапії та магнітофореза «Полюс-3» / Ю.В. Малков, А.І. Коробков, Н.А. Петрова // Мед.техніка. – 1993. – № 2. – С. 46-48.
3. Терещенко М.Ф., Гриценко В.В.. Методи та принципи побудови фізіотерапевтичної апаратури імпульсних магнітних полів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2009.- Вип.38.- С.127-135
4. Терещенко М.Ф., Кос О.С. Особливості та структура автоматизованого магнітотерапевтичного апарату // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2014.- Вип.48(2).- С.188-193
5. Тимчик Г.С. Система температурного контролю в магнітотерапії / Г.С. Тимчик, М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – № 1(87) – С. 111–116.

***Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.***

**УДК 000.621**

*Омельченко В.О. студент гр. ПБз-71мп, Омельченко С.С. студентка гр. ПБз-71мп, к.т.н., доц. Клочко Т.Р.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСУ ПАЦІЄНТА ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ

***Анотація***. Наведено основні проблеми, пов'язані з необхідністю розробки індивідуальних портативних систем моніторингу стану здоров'я людини. Запропоновано засади дії автоматизованого комплексу аналізу даних, отриманих з портативного пристрою моніторингу параметрів пульсу пацієнта, та структурну схему такого пристрою.

***Ключові слова:*** моніторинг параметрів пульсу, пристрій реєстрації, автоматизований комплекс.

## ВСТУП. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Актуальною проблемою сучасної медицини є контроль стану людини, зокрема параметрів серцево-судинної системи, оскільки є низка галузей промисловості, де діяльність людини має критичні наслідки. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я захворювання серцево-судинної системи посідає перше місце серед причин смертності, більше 9 мільйонів смертей у 2015 році, ці показники зростуть приблизно до 25 мільйонів до 2030 року. Цим викликана необхідність дослідження даного питання. Одним із параметрів серцево-судинної системи, на який слід звернути увагу, є пульс. Аналізуючи параметри пульсу, можна зробити висновки про поточний стан пацієнта та можливі відхилення від нормального функціонування.

Наразі перехід від стаціонарного професійного клінічного обладнання до індивідуальних портативних систем моніторингу стану здоров'я набуває значної популярності. З метою зняття навантаження на систему охорони здоров'я та необхідності самоконтролю стану організму багато галузей біомедичної інженерії роблять акцент на розробці портативних на простих у використанні пристроїв для швидкої та точної попередньої діагностики захворювань. Традиційні пристрої досить громіздкі, а тому пацієнту зазвичай потрібно звертатись до клініки кожного разу, коли виникає необхідність у перевірці стану здоров'я навіть при незначному дискомфорті, що є досить незручним особливо для пацієнтів з хронічними захворюваннями та людям з обмеженими можливостями.

Все частіше в біомедичних приладах використовуються бездротові технології, а також принципи мініатюризації розмірів пристроїв реєстрації даних від пацієнта. Для вирішення проблем із захворюванням серцево-судинної системи (ССЗ) розроблено багато пристроїв, які здатні забезпечити негайну та своєчасну підтримку для більшості пацієнтів на дому. Електрокардіографія (ЕКГ) є стандартною процедурою діагностики ССЗ, тому дуже важлива розробка мініатюрних пристроїв для самооцінки та моніторингу стану пацієнтів із ССЗ даним методом. Можна чітко оцінити стан серцевої діяльності, вимірюючи варіабельність серцевого ритму. Однак вимірювання ЕКГ є непростою задачею для людини без професійного досвіду, не кажучи вже про довгостроковий моніторинг. Хоча метод фотоплетізмографії або PPG

(photoplethysmography) є менш інформативним та точним у порівнянні із ЕКГ, він є дієвим методом для непрофесійного і щоденного моніторингу серцево-судинної системи. Завдяки зручності зняття даних метод PPG є більш прийнятний для широкої публіки (зазвичай датчик фіксується на пальці або мочці вуха). Це один із неінвазійних методів вимірювання значення зміни об'єму крові в кров'яних сосудах. Загалом PPG датчик зручно використовувати для довготривалого моніторингу і може відстежувати декілька параметрів серцево-судинної системи такі як: частоту серцевих ритмів, рівень кисню в крові, частоту дихання.

Отже, метою роботи є створення засад дії багатоканального комплексу моніторингу на основі портативного пристрою реєстрації параметрів пульсу.

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Пристрій, запропонований у роботі [1], є комбінований, портативний пристрій для зняття та запису даних з ЕКГ та фотоплітезмографу, має окремий блок для одночасного зчитування даних, їх первинної обробки та зберігання для подальшого аналізу. Пристрій працює і в online, і в offline режимі. З'єднання із датчика дротове та можливе записування з декількох каналів ЕКГ. Пристрій для заміру параметрів пульсу використовує камеру та вбудовану LED (led emitting diode) смартфону та без підсвітки [2]. Досліди показали, що спектр LED випромінювання варіюється від однієї моделі смартфону до іншої, незмінним залишається лише червоний спектр. Розроблений та протестований спеціальний алгоритм виділення випромінювання у зеленому діапазоні спектру LED. Розроблено принцип та алгоритм отримання даних не використовуючи LED підсвітку. У даному дослідженні існують певні обмеження стосовно модельного ряду смартфонів, для котрих було проведено тестування та калібрування розробленої програми. У роботі [3] представлена стаціонарна система одночасного збору та аналізу даних із фотоплітезмографу та ЕКГ. Система працює у парі з персональним комп'ютером, данні отримуються та оброблюються в програмі LabView, в середовищі якого було розроблено спеціальну програму для фільтрації та зберігання сигналу. В подальшому використовується ANN (artificial neural network) мережа для машинної діагностики.

Виходячи з огляду існуючих пристроїв, нами було прийнято рішення розробити систему, в яку входять портативний бездротовий пристрій для збору та передачі даних з оптичного датчику, смартфону із зручними та інтуїтивним інтерфейсом і серверної частини для фінальних обчислень та аналізу отриманих даних.

## ПРИНЦИП ДІЇ ПРИСТРОЮ РЕЄСТРАЦІЇ

Загальна блок-схема пристрою представлена на рисунку 1. Система складається з двох загальних частин: детектор імпульсів пульсу та інтерфейсу взаємодії із людиною. Детектор імпульсів складається із батарейного автономного пристрою, у складі якого є оптичний модуль для виявлення PPG, модуль підсилення та фільтрації аналогового сигналу, MCU (microcontroller

unit) для оцифровки сигналу його первинної обробки і підготовки до відправлення та радіочастотного модулю, працюючого по технології BLE (Bluetooth Low Energy). Структурна схема інтерфейсу взаємодії з людиною складається з: радіочастотного модулю – приймача, серверного комп'ютеру та Android пристрою. Данні від PPG надходять на Android пристрій по каналу BLE, далі пристрій по каналу GSM (Global System for Mobile communications) передає данні для обробки на сервер. Серверна частина виконує основний математичний апарат, який проводить обробку та аналіз отриманих даних, у той же час сервер робить логування даних для подальшого глибокого аналізу. Серверна частина аналізує отримані дані штучною нейронною мережею, яка дозволяє набагато краще класифікувати дані, ніж звичайний лінійний метод. Мережа буде опрацьовувати певний набір параметрів пульсу, які мають вплив на постановку діагнозу, вона буде ухвалювати рішення, ґрунтуючись на попередньо отриманих даних пульсу для випадків здорового стану та стану з деякими відхиленнями притаманними певній групі серцево-судинних захворювань. Оброблена інформація та результати надсилаються назад на Android пристрій для подальших дій користувача. В майбутньому роль розрахунково-аналізуючого модулю буде виконувати апаратна частина мобільного пристрою. В якості математичного аналізу отриманого сигналу буде використовуватись віконне перетворення Фур'є, що дозволить детально аналізувати спектральну картину пульсу в певний момент часу, та відслідковувати раптові та неперіодичні зміни в формі імпульсу.

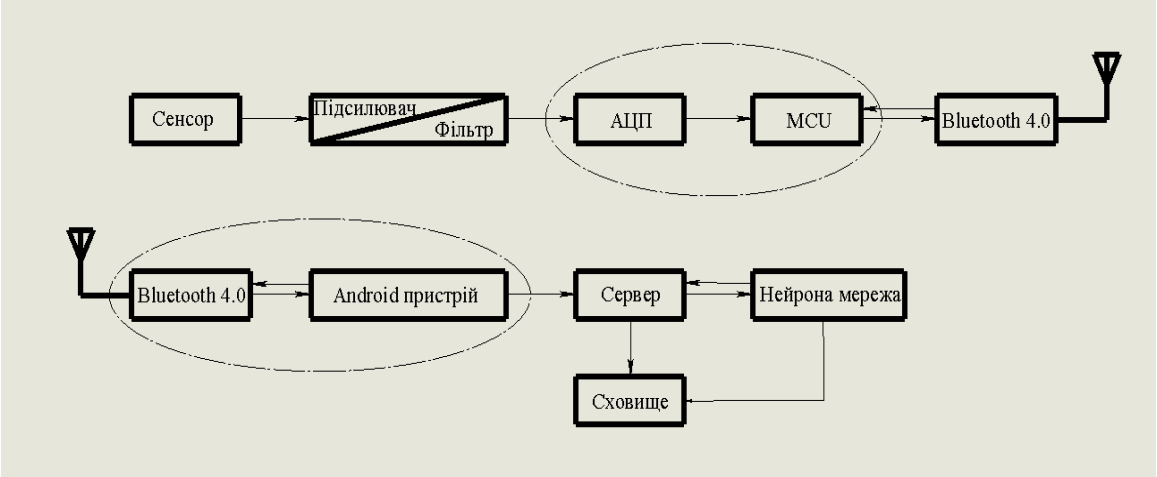



Рис. 1. Загальна блок-схема пристрою

Запропоновано конструкцію для фіксування оптичного датчика на пальці. Вона буде складатися із оптичного датчика, який фіксується на пальці за допомогою хомута із тканини з наліпками. Датчик буде з'єднаний проводами із модулем MCU, провідники прокладаються у верхній частині рукавички яка буде захищати його від пошкоджень. Модуль MCU буде кріпитись на зап'ясті руки.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі запропоновано портативний пристрій моніторингу серцевого ритму та рівня насичення киснем крові. Для мінімізації розмірів системи, було ретельно підібрано апаратні компоненти із декількома функціональними модулями на одному чипі. Передача даних відбувається по бездротовому каналу з низьким енергоспоживанням BLE. Також розроблено надійний алгоритм детектування хвиль.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку конструкції портативного пристрою та алгоритм роботи автоматизованого комплексу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andritoi, D., David, V., & Ciorap, R. (2014). An portable device for ECG and photoplethysmographic signal acquisition. 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE).
2. Yuriy Kurylyak, Francesco Lamonaca and Domenico Grimaldi «Smartphone-Based PhotoplethysmogramMeasurement» Department of Electronics, Computer and System Sciences, University of Calabria,Rende – CS, Italy; 2012.
3. Rundo, F., Conoci, S., Ortis, A., & Battiato, S. (2018). An Advanced Bio-Inspired PhotoPlethysmoGraphy (PPG) and ECG Pattern Recognition System for Medical Assessment. Sensors, 18(2), 405.
4. D. Komorowski, A. Malcher, S. Pietraszek, “Hybrid system of ecg signal acquisition and QRS complexes detection for special medical devices synchronization”, journal of Medical Informatics & Technologies Vol. 22/2013, ISSN 1642-6037, pp.227-234.
5. V. Gay and P. Leijdekkers. A health monitoring system using smart phones and wearable sensors. International Journal of ARM, 8(2):29–35, 2007.
6. Dutt, D.N.; Shruthi, S. Digital processing of ECG and PPG signals for study of arterial parameters for cardiovascular risk assessment. In Proceedings of the International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP), Melmaruvathur, India, 2–4 April 2015; pp. 1506–1510.
7. K. I. Wong, “Design and experimentation of wearable body sensors,” pp. 273–288, Rapid Prototyping Technology - Principles and Functional Requirements, Dr. M. Hoque (Ed.), Intech, 2011.

***Науковий керівник: доцент, кандидат технічних наук Клочко Т.Р.***

**УДК 535.2:535.361;53.043**

*А.Б Саміляк, студент гр. ПБ-72мп*
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

# ВПЛИВ ОПТИЧНОГО ПРОСВІТЛЕННЯ НА РОЗСІЯННЯ ШКІРОЮ ЛЮДИНИ ПРИ ЕЛІПСОЇДАЛЬНІЙ ФОТОМЕТРІЇ

***Анотація*** В роботі на основі модельного експерименту розглянуто вплив оптичного просвітлення на зразки шкіри долонь та грудей з м'язовим шаром та без нього у відбитому світлі з використанням методу дзеркальних еліпсоїдів обертання.

***Ключові слова:*** просвітлення, фотометрія, біотканина.

## ВСТУП

Однією з областей знань, що дуже стрімко розвивається і привертає до себе увагу науковців різних сфер, а особливо тих, хто займається створенням нових медичних технологій є оптика біологічних тканин з використанням лазерних технологій, тому в представленій статті мова піде про дослідження оптичних властивостей шкіри людини під дією просвітлення.[1-2] Використання лазерів сучасній медицині відіграє неабияку роль у розвитку нових технологій, великою перевагою використання такого роду випромінювання є те, що діагностика проводиться без прямого втручання в біологічні тканини і те, що проаналізувавши оптичні показники або процеси після взаємодії лазерного випромінювання з біологічним середовищем, можна зробити досить точний висновок про стан біосистеми, її внутрішньої структури, про процеси, що протікають в біологічні тканині. Світлорозсіяння відіграє велику роль у розвитку діагностичних систем, тка як при аналізі світла що пройшло чи відбилось можна багато чого дізнатися про біосередовище. Процес розсіяння значно залежить від розміру складових частин тканин, так що аналіз самого світлорозсіяння є основним джерелом інформації. Проте розсіяння променю, перед тим як він добереться своєї цілі може бути занадто великим і водночас його аналіз може видати неправдиві результати. Тому серйозною проблемою сучасної лазерної медицини продовжує залишатися транспорт зондуючого випромінювання через поверхневі шари біологічної тканини. Складність вирішення даного завдання пов'язана з тим, що просторовий дозвіл і глибина зондування випромінюванням у видимому і ближньому ІЧ спектральних діапазонах сильно обмежені розсіювальною здатністю біотканин. Оскільки основною причиною розсіяння оптичного випромінювання в біотканинах є відмінність показників заломлення структурних компонентів біотканини і внутрішньо тканинної рідини або внутрішньо клітинних органел і клітинної цитоплазми, то стає явним і рішення цієї проблеми, потрібно згладити показники заломлення n між шарами біотканини.[3]

Такий же спосіб потрібно використовувати не тільки при діагностиці, але і при терапії. Як відомо, лазерна терапія - це один з видів альтернативної медицини, заснований на застосуванні випромінювання оптичного діапазону, джерелом якого є лазер, особливістю такого світлового потоку є наявність однієї фіксованої довжини хвилі (монохроматичності світло), тобто світло, потрапляючи в біосередовище повинно зберігати свою монохроматичність, для

того щоб проникнути в середину біотканини і привести в дію всій терапевтичний ефект, цього важко досягти через ту ж проблему, що і при діагностиці. Основною причиною розсіювання оптичного випромінювання в клітинних структурах і біотканинах є відмінність показників заломлення між структурними компонентами тканини (колагеновими і еластиновими волокнами) і внутрішньо тканинним середовищем.

Основне завдання на збільшенні точності та інформативності лазерних оптичних приладів зводиться до того, щоб зменшити показник заломлення між тканинами в біологічному середовищі для того, щоб лазерне зондуюче випромінювання монохромним пучком дістатися до потрібного місця дії, для цього можна використовувати оптичне просвітлення біотканин.

Оптичне просвітлення - це процес, коли в біотканину вводять хімічну рідину, щоб усереднити коефіцієнти заломлення між шарами цієї біологічної тканини. Методика може бути використана при діагностиці або терапії шкіри при різних захворюваннях, тобто вона сприяє полегшенню проведення фотодинамічної терапії та іншим типам світлотерапії. [3, 4]

Щоб оптичне випромінювання тримати під контролем використовується еліпсоїдальна фотометрія, а зокрема метод дзеркальних еліпсоїдів обертання, проаналізувавши теоретичні і дослідницькі дані по взаємозв’язку між оптичними показниками біотканини і відносним просторовим розподілом розсіяного світла[6-8] було вирішено обрати саме цей метод.

В приведеній дослідницькій роботі було запущено ряд експериментів моделювання, для того щоб отримати фотометричні зображення при біометрії еліпсоїдальними рефлекторами для шкіри людини, що була взята з різних частин тіла (долоні, груди). Було проведено ряд досліджень, де промоделювали біологічну тканину без просвітлення та з просвітленням протягом 60 хвилин, це зроблено для того, щоб можна було порівняти отримані результати і зрозуміти закономірність розсіяння світла при просвітленні біотканини з конкретно заданою тривалістю. Використовувалися 5 шарів: роговий шар, епідерміс, дерма, жирова тканина і м’язова тканина. Очевидно, що кожен з наведених шарів має свої індивідуальні оптичні властивості, тому після збору потрібної інформації в програмне забезпечення для моделювання вводяться дані для кожного з шарів.

Показник заломлення ($n$), коефіцієнт поглинання ($\mu_a$), коефіцієнт розсіяння ($\mu_s$), фактор анізотропії розсіяння ($g$) представляють собою оптичні показники біологічного середовища. Товщина шкіри не оптична характеристика, але в даному дослідженні вона теж грає свою важливу роль, як і довжина хвилі, важливі два останніх показники тим, що якщо їх змінити, то в корені зміняться вищеназвані чотири оптичні характеристики, показник заломлення ($n$), коефіцієнт поглинання ($\mu_a$), коефіцієнт розсіяння ($\mu_s$), фактор анізотропії розсіяння ($g$) безпосередньо залежать від товщини наявного зразка шкіри.

Для реалізації дослідження було обрано довжину хвилі 632 нм і використані наступні значення оптичних характеристик для зразків шкіри без

просвітлення: для рогового шару $n = 1.5, g = 0.8$, $\mu_a = 10 см^{-1}$, $\mu_s = 100 см^{-1}$, для епідермісу $n = 1.36$, $g = 0.8$, $\mu_a = 0.15 см^{-1}$, $\mu_s = 45 см^{-1}$, для дерми $n = 1.39$, $g = 0.76$, $\mu_a = 0.073 см^{-1}$, $\mu_s = 20 см^{-1}$, для жирової тканини $n = 1.44$, $g = 0.8$, $\mu_a = 0.068 см^{-1}$, $\mu_s = 15 см^{-1}$, для м'язової тканини $n = 1.9$, $g = 0.9$, $\mu_a = 2 см^{-1}$, $\mu_s = 215 см^{-1}$

Оптичні показники шкіри з просвітленням 60 хвилин відрізняються коефіцієнтом заломлення рогового шару, та коефіцієнтом розсіяння для інших шарів, тож для рогового шару $n = 1.44$, $\mu_s = 45 см^{-1}$, для епідермісу $\mu_s = 4.4 см^{-1}$, для дерми $\mu_s = 17 см^{-1}$, для жирової тканини $\mu_s = 15 см^{-1}$. Всі не названі оптичні показники шкіри мають такі самі значення як і в випадку без просвітлення.

Значення товщини $d$ для зразків шкіри грудей і долонь для шарів шкіри наступні: роговий шар $d = 0.002 см$ для грудей, $d = 0.039 см$ для долонь, епідерміс $d = 0.00595 см$ і $d = 0.0473 см$, дерма $d = 0.24 см$ і $d = 0.128 см$, жирова тканина $d = 0.075 см$ і $d = 0.181 см$ відповідно.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Щоб візуалізувати дослідження було прийнято рішення побудувати фотометричні зображення, що показані на рисунку 1.

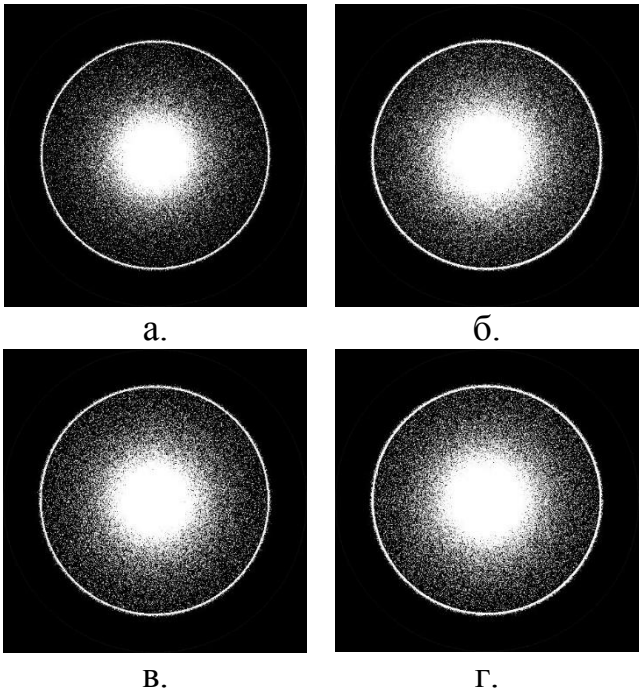



Рисунок 1. Фотометричні зображення при еліпсоїдальній фотометрії для шкіри людини в області долонь при моделюванні для відбитого світла без просвітлення (а),(в) та з просвітленням 60 хвилин (б) і (г) відповідно. Зразки (а) і (б) промодельовані з м'язовим шаром.

З рисунку 1 видно, що просвітлення відіграє свою роль, так як на зразках, де воно відбулося протягом 60 хвилин неозброєним оком видно більшу

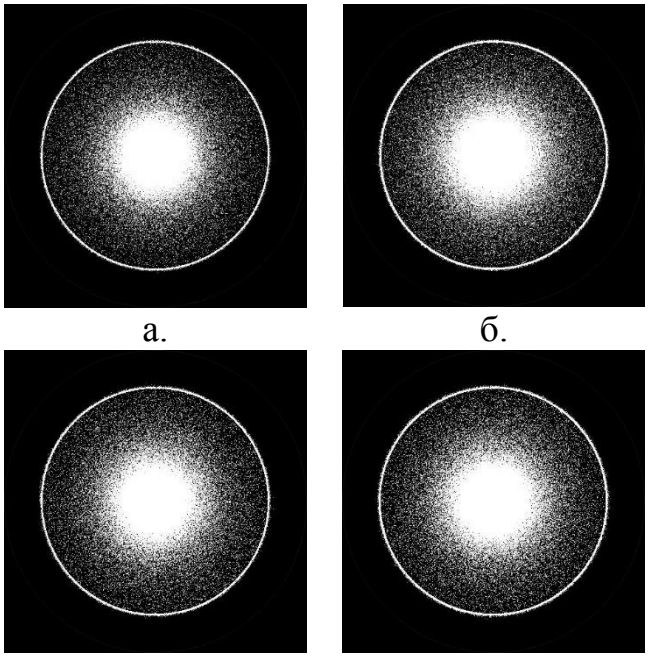



Рисунок 2. Фотометричні зображення при еліпсоїдального фотометрії для шкіри людини в області грудей при моделюванні для відбитого світла без просвітлення (а),(в) та з просвітленням 60 хвилин (б) і (г) відповідно. Зразки (а) і (б) промодельовані з м'язовим шаром

кількість освітлення в порівнянні з зразками без просвітлення.

Також були отримані подібні зображення для зразків шкіри грудей

З рисунку 2 видно, що закономірність розсіяння світла з просвітленням однакова для зразків шкіри з долонь і грудей, але можна отримати точні дані, якщо дослідити масив отриманих зображень в відповідності з зонним аналізом [5], що і буде зроблено автором статті в подальшому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Тучин В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике. Монография - М: Физматлит, 2013. - 812 с.

2. Тучина Д.К. Оптика и спектроскопия в биофизике и медицине / Д.К. Тучина, В.Д. Генин, А.Н. Башкатов, Э.А. Генина, В.В. Тучин // Оптика и спектроскопия, 2016, том 120, № 1, с. 3–5.

**3**. Тучина Д.К. Оптическое просветление тканей кожи ex vivo под действием полиэтиленгликоля / Д.К. Тучина, В.Д. Генин, А.Н. Башкатов, Э.А.Генина, В.В.Тучин // Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, – 2016. – №1. – с. 36–45.

4. Генина Э.А. Оптическое просветление кожи под действием глицерина: исследования ex vivo и in vivo / Э.А. Генина, А.Н. Башкатов, Ю.П.Синичкин, В.В. Тучин // Оптика и спектроскопия, - 2010, том 109, № 2, с. 256—263.

5.Безуглый, М.А. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / М.А. Безуглый, Н.В. Безуглая, А.Б. Самиляк // Приборы и методы измерений: научно-технический журнал. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 67 - 76.

6. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, I.V. Helich, "Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media", Appl Opt., no. 56 (30), pp. 8520–8526, 2017.

7. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, S. Kostuk, "Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors", Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.

8. Bezuglyi, M., N. Bezuglaya, and A. Viruchenko. "On the possibility of ellipsoidal photometry and Monte Carlo simulation to spatial analysis of biological media." Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017 IEEE 37th International Conference on. IEEE, 2017.

**УДК 615.071**

*Т.М. Сіверська, студентка гр. ПБ-71мп, Г.І. Панєвін студент гр. Пбз-71мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СИСТЕМА БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗРАЗКІВ КРОВІ

***Анотація.*** У даній роботі проаналізовано основні етапи забору крові та можливі похибки, що можуть виникати при цьому. Запропоновано структурну схему системи біометричної ідентифікації зразків крові, яка підвищить захист від виникнення похибок, спричинених людським фактором. Розроблено блок-схему алгоритму роботи модулю присутності пацієнта.

***Ключові слова:*** біометрична ідентифікація, кров

## ВСТУП

Кожного року мінімум двічі на рік кожна людина повинна здавати аналізи крові для моніторингу власного здоров'я, однак є також позапланові візити до лабораторії під час хвороби, планового медогляду, збору документів для страхової компанії, підбору продуктів харчування та ін. [1]. Можна виділити наступні етапи від забору крові до оголошення результатів: реєстрація пацієнта, забір матеріалу, передача до лабораторії, аналіз та обробка матеріалу, передача результатів та повідомлення їх пацієнту. На кожному з цих етапів можуть виникати ті чи інші похибки, пов'язані здебільшого з людським фактором [2]. 40,8% відсотків зі всіх похибок виникає при ідентифікації пацієнтів, 12,2 % - при взяті крові, 30% - при аналізі та обробці даних та 17% - при передачі даних [3].

Окрім випадкових похибок, існує цілеспрямована підміна результатів при таких аналізах, як тест ДНК на батьківство чи на наявність заборонених речовин в організмі людини [4].

Метою даної роботи є розробка системи біометричної ідентифікації зразків крові, яка забезпечить захист як і від підміни результатів, так і від похибок на етапах забору та лабораторному аналізі, а також максимально виключить вплив людського фактору.

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

В загальному, система біометричної ідентифікації забезпечує автентифікацю особистості шляхом зчитування біометричних даних людини (відбиток пальця, геометрія долоні, райдужна оболонка ока, сітківка ока, венозний малюнок і т.д.) [5].

В даній роботі запропоновано комплексну структурну схему системи біометричної ідентифікації крові (рис. 1), яка забезпечить захист від підміни на декількох етапах, а саме, від реєстрації пацієнта до передачі закодованого аналізу в лабораторію.

Система біометричної ідентифікації складається з шести основних підсистем (сканування, обробки та контролю, забору, ідентифікації, блок керування і зчитування) та підключається до ПК і блоку живлення. В свою чергу система сканування складається з трьох основних модулів: модуль фіксації долоні, модуль сканування, модуль моніторингу присутності.

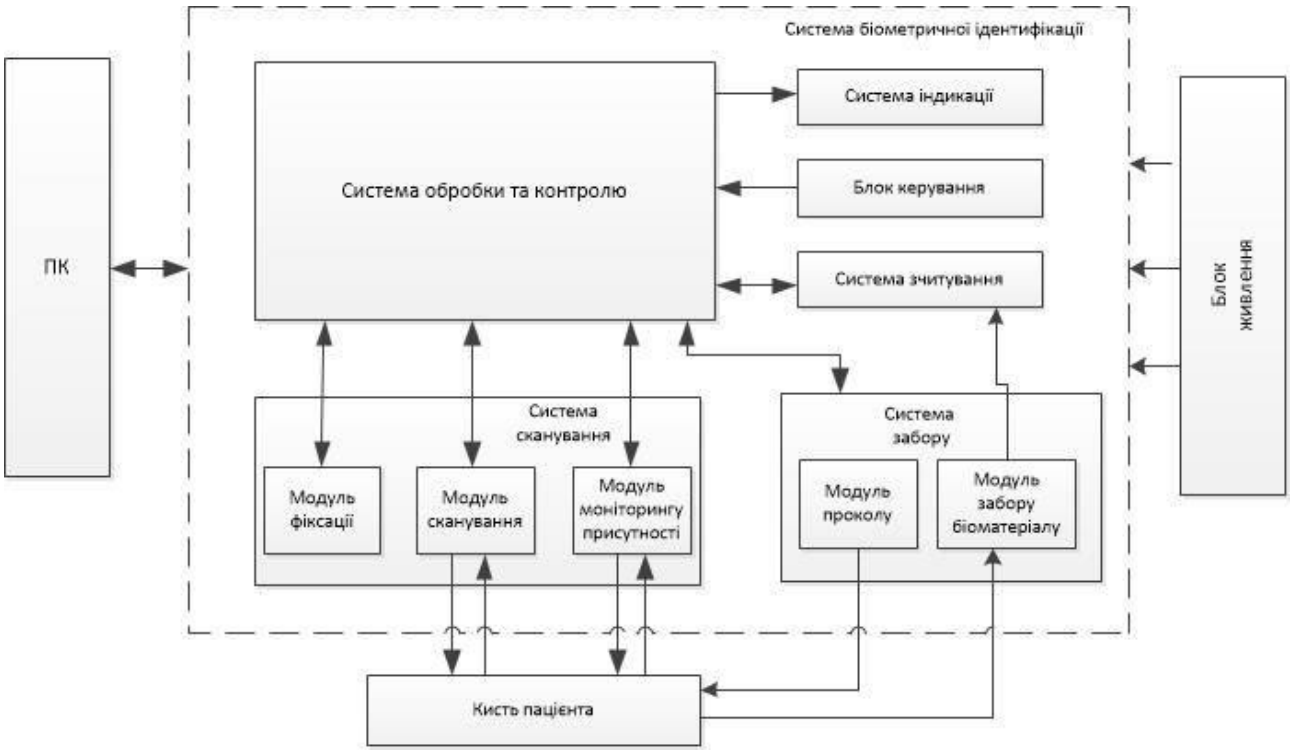



Рисунок 1. Структурна схема системи біометричної ідентифікації крові

На даному етапі розробки більш детально розглянуто особливості побудови та реалізації системи сканування, яка буде забезпечувати реєстрацію пацієнта (ідентифікацію при наступному заборі) за допомогою модулю сканування, а також визначати наявність пацієнта під час забору за допомогою модуль контролю присутності. Модуль фіксації забезпечить захист від підміни пальця, з якого буде проводитись забір крові. Розглянемо дані модулі більш детально.

Модуль сканування складається із двох сканерів відбитків пальця розташованих по боках відносно пальця, з якого буде проводитись забір крові. Можна виділити наступні види сканерів: ємнісні, оптичні, ультразвукові та термічні. Проаналізувавши властивості кожного із них, було обрано для подальшого використання ємнісний датчик, адже він найменш чутливий до подряпин, забруднень та інших сторонніх чинників, а також є не громіздкими. Модуль фіксації у вигляді магнітного замка вмонтований у кришку, яка закриває руку під час процесу сканування. Обидва модулі унеможливлюють підміну пацієнта протягом проведення процедури.

Оскільки розвиток сучасних технологій дозволяє створити штучний палець, який зможе зімітувати відбиток пацієнта [6], тому в запропонованій системі введено модуль присутності пацієнта. Він базується на фізіологічних властивостях людини і може бути виконаний, наприклад у вигляді температурного датчика, реєстратора пульсової хвилі, реєстратора капілярного малюнку та ін. В даній роботі запропоновано використати датчик реєстрації пульсової хвилі, який як за інформативністю так і за габаритами відповідає поставленій задачі.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На даному етапі авторами спроектовано модуль присутності пацієнта (МПП), що містить наступні елементи: червоне та інфрачервоне джерело випромінювання, фотоприймач, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) вхідного сигналу та мікроконтролер (МК) для його обробки. Робочий код мікроконтролеру було написано в середовищі Code Vision AVR, а загальний процес роботи МПП - змодельовано в системі Proteus 8.1.

Реалізація модулю виконувалась на принципі роботи трансмісійної пульсоксиметрії. Блок-схема алгоритму роботи спроектованого модулю МПП представлена на рис.2.

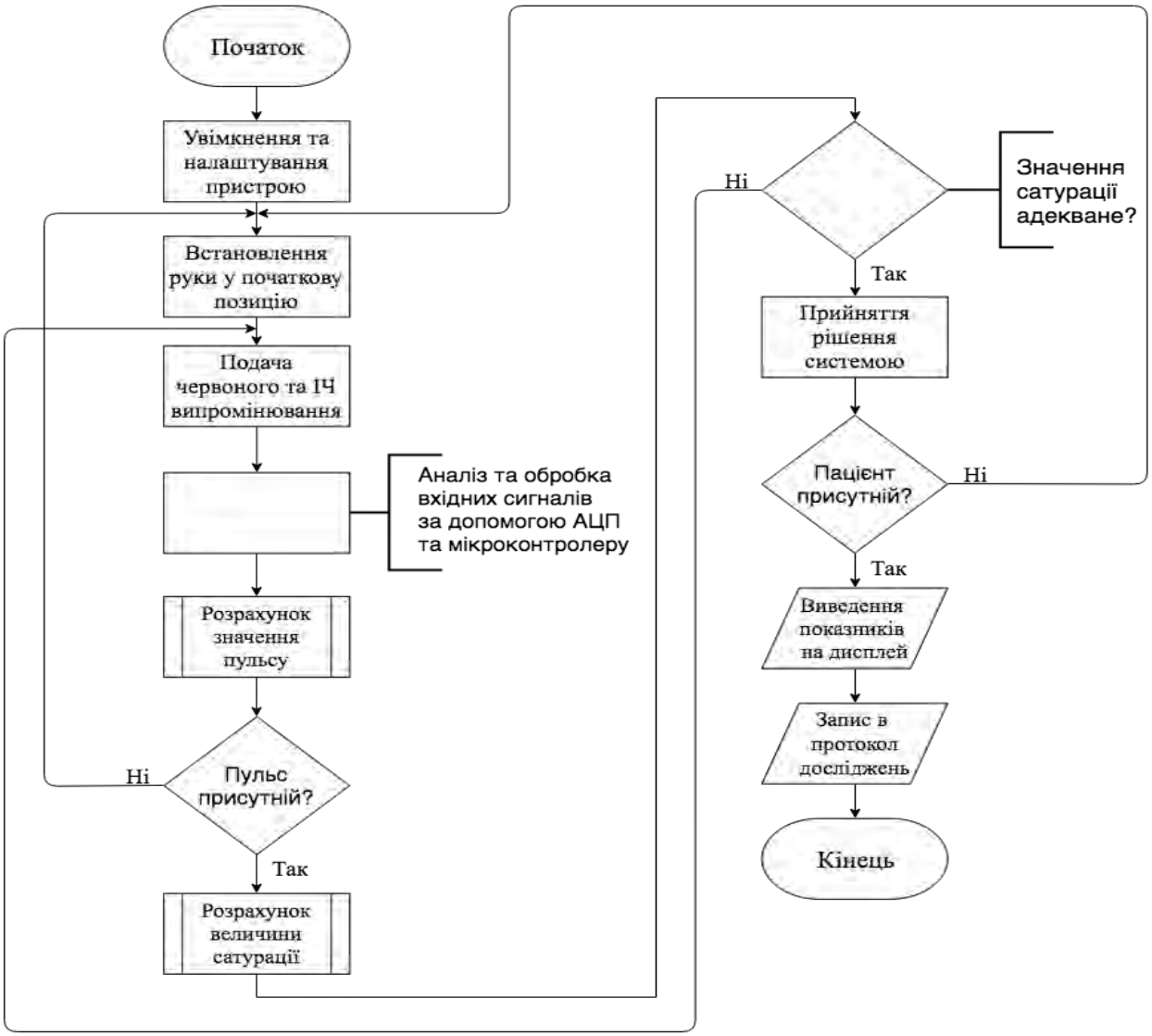



Рисунок 2. Блок-схем алгоритму роботи спроектованого модулю МПП

В схемі розробленого модулю використано блок з червоного (GNL-5013SRD, 660 нм) та інфрачервого (TSAL5100, 940 нм) випромінюючих світлодіодів, а також один фотодіод (BPW21), між яким знаходиться палець. Для узгодженої роботи всіх модулів обрано мікроконтролер AVR ATMega16A, що забезпечить обробку та аналіз вхідних пульсацій, а також для подальшу передачу результатів до бази даних пристрою біометричної ідентифікації і

системи індикації. Обраний мікроконтролер має вбудований модуль АЦП, а присутній в ньому UART-порт передачі даних, дозволяє реалізувати просте, але в той же час ефективне транспортування інформації до ПК.

Алгоритм роботи (рис. 2) спроектованого модулю МПП полягає в наступному: червоне та інфрачервоне випромінювання з світлодіодів, проходячи крізь палець пацієнта потрапляє на фотодіод та перетворюється у вихідну напругу, величина якої залежить від інтенсивності та кольору світла, що пройшло крізь біологічний об’єкт. Отриманий сигнал перетворюється за допомогою АЦП та обробляється мікроконтролером, після чого визначені результати виводяться на графічний монітор у вигляді 4-х показників (приблизної форми пульсової кривої, значення пульсу, значенням сатурації та заключення про те, чи присутній контрольний палець пацієнта у системі).

Окрім того, для забезпечення додаткової персоналізації результатів, розраховані на момент контролю значення пульсу, сатурації й контрольне заключення, передаються у текстовому вигляді до загального протоколу досліджень системи біомедичної ідентифікації.

На наступних етапах планується виготовлення модулю МПП відповідно до схеми змодельованої в середовищі Proteus та тестування розробленого програмного коду модулю в реальних умовах. А також проектування та розробка інших модулів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Перелік необхідних обстежень лікарів-спеціалістів, видів клінічних, лабораторних та інших досліджень, що необхідні для проведення обов'язкових медичних оглядів, та періодичність їх проведення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0640-02.

2. Протокол медичної сестри (фельдшера, акушерки) з взяття матеріалу для лабораторних досліджень [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://mtd.dec.gov.ua/images/dodatki/2013_460/protokol/1_2.doc.

3. Скворцова Р. Г. Долабораторная часть преаналитического этапа клинико-лабораторных исследований Методические рекомендации / Р. Г. Скворцова, И.А. Мирошниченко, В.В. Кузьменко // Иркутск: РИО ИГИУВа. – 2008. – 28 с.

4. Основи загальної клінічної лабораторної діагностики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/17ba1fd9082bc67d1a6d5b0828504ea1Osnovi__zagal'noyi__klinichnoyi__laboratornoyi_.PDF.

5. ГОСТ Р 54412-2011. Информационные технологии. Биометрия. Обучающая программа по биометрии.

6. Darlow L. N. Automated spoof-detection for fingerprints using optical coherence tomography // L. N. Darlow, L. Webb, N. Botha // Optical Society of America. – 2016. – Vol. 55, No. 13. – Pp.3387 – 3396.

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

**УДК 615.849.19.03:616.5.**

*М.В.Цокота, аспірант гр. ПБ-72м*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МЕТОДИ НЕІНВАЗИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ В ДЕРМАТОЛОГІЇ

***Анотація.*** В статті розглядаються види візуалізації та біофізичні методи неінвазивної діагностика уражень шкіри. Аргументовано необхідність підвищення чутливості та роздільної здатності для приладів і дермоскопічної лазерної діагностики.

***Ключові слова:*** неінвазивна діагностика, дерматологія, лазери, лазерна мікроспопія.

## ВСТУП

Діагностична візуалізація в дерматології до цього існувала протягом багатьох років лише в мікроскопії та ультразвуковому відбитому світлі.

Хоча лазерна терапія [1] активно використовується при акупунктурі, а лазерна діагностика при спектроскопії шкіри та різних органів показала свою ефективність, потребує врахування просторового розподілу розсіяного випромінювання [2].

Збільшення якості клінічної діагностики обмежена глибиною низької роздільної здатності та проникнення, тому вимагає вдосконалення існуючих методів.

Світлова мікроскопія є найважливішим, у багатьох випадках незамінними діагностичними інструментами, значення яких для багатьох питань доведено. В останні роки було розроблено багато нових діагностичних методів обстеження шкіри. До них відносяться візуалізація та фізичні методи, які автоматично оцінюють ураження та забезпечують розпізнавання.

Нові методи повинні довести свою специфіку та чутливість до діагностики, особливо в галузі онкології. Створення цих нових методів в дерматологічній рутинної діагностики також залежить від багатьох інших факторів вартості, додатків, час відгуку, практичності, здатність до навчання, інтерпретації результатів тощо.

## ПІДГОТОВКА ТЕКСТУ СТАТТІ

Застосування лазерів в біології та медицині, та розробка компактного лазерного випромінювача, описано авторами [3] та ґрунтуються на використанні широкого кола явищ, пов'язані з різними проявами біологічних об'єктів з взаємодією світла. Класифікація основних принципів використання лазера в різних областях хірургії, терапії і діагностики наведена на рис. 1, беручи до уваги зазначеної групи процесів.

Для діагностики використовується непертурбаційний вплив, коли біологічна тканина не змінює своїх властивостей при дії світлового випромінювання. Це такі ефекти, як розсіювання, відображення та проникнення.

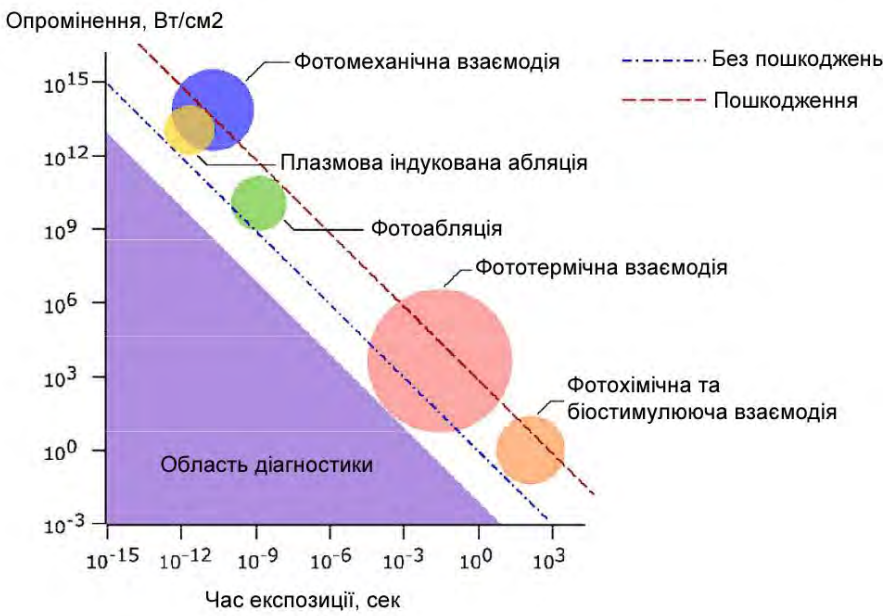



Рис. 1. Основні принципи використання лазера. Кольорові кола позначають взаємодію між тканиною і світлом, що призводить до структурних змін. Площа нижче цих кіл вказує на оптимальну область для розробки методик та технологій діагностики (адаптована за попередніми схемами взаємодії опромінення тканин [4,5]).

Тому, основи застосування лазерного випромінювання в біомедицині, спирається на те, що всі органічні макромолекули демонструють характерні спектри оптичного поглинання, відбиття, розсіювання і люмінесценція. Ці спектри відрізняються для окислених і відновлених станів молекулярних компонентів, при цьому співвідношення різних форм і концентрацій цих компонентів у досліджуваній області визначається загальною функціональною активністю багатьох клітинних структур та органел, включаючи еритроцити (еритроцити). Таким чином, поглинання та розсіювання є двома основними оптичними процесами, які можуть використовуватися для діагностичної інформації без модифікації або пошкодження досліджених тканин.

Нижче описано методи, вже встановлені в рутинній діагностиці. Інші пристрої та нові розробки представлені лише коротко.

Конфокальна лазерна мікроскопія (КЛМ) існує приблизно з 1990-х років, та дозволяє відображати епідермісу в реальному часі з високою роздільною здатністю та неінвазивно. Їх основним напрямом застосування є диференційний діагноз пігментних уражень.

Описана техніка авторами [6], з лазером довжиною хвилі 830нм, де показано, як при цьому шкіра висвітлюється зверху, і для формування зображення використовують детекторну діаграму що дає максимальну яскравість на світлих ділянках шкіри. Окремі зображення мають розмір 500 мкм х 500 мкм, але х 8 мм можуть бути зібрані за допомогою двомірного бокового зміщення для мозаїки до 8 мм. Площини можуть бути переміщені в глибину поступово, і зображення глибиною від 200 мкм, стають все більш розмитими. Глибина зрушення може також автоматично запускати на одному зображенні, так що утворюється структури стеки (стеки).

Різкість всіх пристроїв становить від 1 до 3 мкм, таким чином, в клітинному діапазоні. Стандартизовані зйомки зображення поразки складається з трьох мозаїк в висоті верхнього епідермісу.

Наступним, дещо новішим методом, є оптична когерентна томографія (ОКТ) є дещо новішою технікою порівняно з КЛМ. Спочатку вона була розроблений для офтальмологічної діагностики. Шкіра є сильно диспергованим середовищем, тому техніка повинна бути модифікована для дерматології. Тим часом, ОКТ також звичайно використовується в дерматології в деяких дерматологічних клініках та ряді практик, що спеціалізуються на діагностиці пухлин. Основна увага приділяється діагностиці базально-клітинних карцином.

ОКТ забезпечує глибинні секційні зображення шкіра в реальному часі з проникненням від 1 до 1,5 мм і роздільною здатністю менше 10 мкм. Зораження мають довжину в декілька міліметрів і можуть складаються з бокового переміщення в трьохмірні блоки, завдяки чому можливе одночасне представлення горизонтальних зображень.

При багатоспектральному аналізі шкіра стає схожою з відбитковою світловою мікроскопією освітлений світлом, але з декількома довжинами хвиль, та може бути використана для скрінінгу множинного диспластичного нерва, щоб виявити особливо виражені ураження. Інша можливість, як і в послідовній відео дерматоскопії, дозволяє багаторазово виміряти ушкодження в короткостроковій перспективі та спостерігати за тим, як змінюється оцінка.

В дерматології новим та інноваційним методом є оптоакустична візуалізація, яка вже аробована в дослідженнях неінвазивної діагностики лімфатичних вузлів [7]. Базується нагріванні барвника під час підсвічуваня з короткими лазерними спалахами. При цьому зона опромінення одночасно досліджується ультразвуковими хвилями.

Окрім екзогенних флуоресцентних барвників, також можуть використовуватися ендогенні барвники як використовувати меланін для візуалізації. Шаблон звукової хвилі знаходиться в перетворенні у тривимірне зображення з високою роздільною здатністю.

Неінвазивна технологія матиме революцію в медицині в найближчі декілька років. Тому майбутніми перспективами для цього є вдосконалення та адаптація лазерних діагностичних, терапевтичних методик.

У найближчі кілька років неінвазивна технологія матиме революцію в медицині. Майбутні перспективи для MLNDS - це розробка високоефективних компактних лазерних джерел, які за низькою ціною будуть індивідуально чи в гібридному форматі охоплювати практично будь-які спектральні діапазони, необхідні для лазерної діагностики.

Отже, для неінвазивної діагностики в дерматології доступні методи візуалізації, які дозволяють розглядати шкіру з високою роздільною здатністю в реальному часі. Конфокальна лазерна мікроскопія вже зарекомендувала себе для діагностики меланоцитарних пошкоджень, оптичної когерентної томографії для діагностики базально-клітинних карцином при звичайному використанні. Обидва методи підвищують чутливість і специфічність щодо дерматоскопія, служать для раннього виявлення, а в деяких випадках можуть допомогти

уникнути біопсії. В даний час область дерматологічної діагностики проходить швидкий розвиток. Очікується, що нові методи або комбінація методів ще більше поліпшать оцінку багатьох параметрів, таких як розільна здатність і глибина проникнення, чутливість, специфічність і селективність, щоб можна було досягти справжньої оптичної біопсії.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Шимон В.М., Кубаш В.В., Шерегій А.А., Стойка В.В. Особливості перебігу і лікування посттравматичного остеомієліту довгих кісток нижньої кінцівки із застосуванням ендолімфатичної лазерної та антибіотикотерапії // Матеріали XLVII Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування лазерів у медицині та біології». – Київ, 2017. – С.44-47.

2. Безугла Н.В. Вплив осьової анізотропії розсіяння біологічних середовищ на точність визначення оптичних коефіцієнтів методом Монте-Карло / Н.В. Безугла, М.О. Безуглий, Г.С. Тимчик, К.П. Вонсевич // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2015, №1 (99). – С.85 – 91.

3. Julia Welzel, Sandra Schuh Nichtinvasive Diagnostik in der Dermatologie // Journak of the German Society of Dermatology, Deutsche Dermatologische Gesellschaft (DDG). - Dortmund, 2017 – p.999-1017.

4. V.S. Letokhov, Laser biology and medicine, Nature. 316 (1985) 325—330.doi:10.1038/316325a0.

5. V. Tuchin, Tissue Optics and Photonics: Light-Tissue Interaction II, J. Biomed. Photonics Eng. 2 (2016) 30201. doi:10.18287/JBPE16.02.030201.

6. V. V Tuchin, ed., Handbook of Optical Biomedical Diagnostics, Second Edition: 2-Volume Set(Vols. PM262 and PM263), SPIE Press, Bellingham, WA, 2016.

7. Themstrup L, Ciardo S, Manfredi M et al. In vivo micro-morphological vascular chang¬es induced by topical brimonidine studied by dynamic optical coherence tomogra¬phy. J Eur Acad Dermatol Venereol 2016; 30: 974–9.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.***

**УДК 535.31**

*К.Б. Чавченко, студент гр. ПБ-72мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІЇ МІНІМІЗАЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ МЕТОДУ ІНВЕРСНОГО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО

***Анотація.*** У статті описаний метод Монте-Карло, вказано переваги та проблеми цього методу, та описано загальний алгоритм інверсного методу, що застосовується для визначення оптичних властивостей тканин (коефіцієнт поглинання, коефіцієнт розсіювання і коефіцієнт анізотропії) з спектрофотометричних вимірювань (загальний коефіцієнт пропускання, дифузне відбиття і колімоване пропускання). Також приведено результати моделювань отримані за допомогою розробленого програмного забезпечення для п'яти функцій мінімізації, та проаналізовано погрішності кожної з функцій.

***Ключові слова:*** моделювання, інверсний метод Монте-Карло, біологічні тканини, функція, мінімізація.

## ВСТУП

Визначення оптичних властивостей біологічних тканин є досить трудомістким завданням через складну структуру самої тканини і різноманіття процесів взаємодії фотонів з нею. Більшість біологічних середовищ (БС) відносяться до оптично мутних випадково-неоднорідних середовищ, для яких коефіцієнт розсіяння може перевищувати коефіцієнт поглинання до сотні разів [1]. Внаслідок цього задача виокремлення частки поглинання та розсіяння в ослаблення інтенсивності пропущеного або відбитого світла пов'язана зі значними труднощами.

Сучасна біомедична діагностика ґрунтується на визначенні оптичних властивостей БС шляхом розв’язку основного рівняння теорії переносу випромінювання наближеними чисельними методами. Найпростішим з математичної точки зору, проте достатньо складним з огляду на техніку проведення експерименту, вважають наближення першого порядку, яке справедливе для тонких або слабко-розсіювальних БС. Дифузне наближення використовується для опису ізотропного розсіяння, у той час як малокутове наближення застосовується у випадку наявності значних розсіювальних неоднорідних включень у тонких біологічних зразках. Потокові моделі (моделі Кубелки—Мунка) непридатні для середовищ з високою анізотропією розсіяння. Методи Монте-Карло (МК) та їх модифікації використовуються для середовищ з довільною конфігурацією і будь-якими граничними умовами та найбільш широко застосовуються в біомедичній оптиці [2].

Метод Монте-Карло, який базується на стохастичному моделюванні переміщення фотонів в розсіювальному БС. Завдяки цьому метод МК широко використовується, хоч і вимагає складних та досить об'ємних обчислень. Як правило, метод використовується для верифікації результатів аналітичних моделей. У зв'язку з цим видається актуальним вдосконалення алгоритмів методу МК для визначення оптичних властивостей різних біологічних тканин.

Алгоритмізація поширення світла в багатошарових біологічних тканинах методом МК включає послідовний розгляд взаємодії падаючого фотона з певною початковою вагою з центром розсіяння (поглинання) в окремому шарі. Результати моделювання – це координати виходу фотона з БС зі зменшеною вагою і направляючими косинусами, які формують просторовий розподіл

розсіяного випромінювання в фотоприймальній площині вимірювальної системи з урахуванням механізму трасування [3].

Однак інші оптичні властивості БС, зокрема коефіцієнт розсіяння μs і коефіцієнт поглинання μa, можуть бути обчислені тільки шляхом ітераційного механізму мінімізації цільових функцій з використанням зворотних методів [4].

## ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ІНВЕРСНОГО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО

Для визначення оптичних властивостей μa та μs, як і фактору анізотропії розсіяння g, по виміряним значенням спектральних коефіцієнтів повного пропускання $T_t^{експ}$, дифузного відбиття $R_d^{експ}$ і колімованого пропускання $T_c^{експ}$ застосовується інверсний метод МК, який дозволяє врахувати структуру БС, параметри експериментальної установки, геометрію вимірювань та інші параметри [5]. Метод інверсного МК заснований на розрахунку великого числа випадкових траєкторій фотонів в розсіювальному БС. При цьому розрахунок траєкторій поширення світла в середовищі відбувається на основі фазової функції Хеньї - Грінштейна [6].

Експериментально виміряні коефіцієнти дифузного відбиття, повного та колімованого пропускання є початковими даними для визначення оптичних властивостей БС. Завдання розрахунку цих параметрів може бути сформульоване як задача оптимізації, яка полягає в мінімізації деякої цільової функції шляхом підбору відповідних μa, μs, g в рамках прямого МК.

Для обчислення оптичних властивостей біотканин методом інверсного МК було розроблено програмне забезпечення, яке працює за загальним алгоритмом, який коротко можна описати наступним чином:

1. За відомими експериментальними даними $T_t^{експ}$, $T_c^{експ}$ і $R_d^{експ}$ обчислюються початкові наближені значення μa, μs і g за допомогою наступних співвідношень [7, 8]:

$$\frac{\mu_s'}{\mu_a+\mu_s'}=\begin{cases}1-\left(\dfrac{1-4R_d^{експ}-T_t^{експ}}{1-T_t^{експ}}\right)^2, & при \quad \dfrac{R_d^{експ}}{1-T_t^{експ}}<0.1\\[2ex] 1-\dfrac{4}{9}\left(\dfrac{1-4R_d^{експ}-T_t^{експ}}{1-T_t^{експ}}\right)^2, & при \quad \dfrac{R_d^{експ}}{1-T_t^{експ}}<0.1\end{cases}, \tag{1}$$

$$\left(\mu_a+\mu_s'\right)d=\begin{cases}-\dfrac{\ln T_t^{експ}\ln 0.05}{\ln R_d^{експ}}, & при \quad R_d^{експ}\le 0.1\\[2ex] 2^{1+5(R_d^{експ}-T_t^{експ})}, & при \quad R_d^{експ}>0.1\end{cases}, \tag{2}$$

$$\left(\mu_a+\mu_s\right)d=-\ln T_c^{експ}, \tag{3}$$

де $\mu_s'=(1-g)\mu_s$ - транспортний коефіцієнт розсіяння, d – товщина зразка, а $T_c^{експ}$ – колімоване пропускання ($T_c^{експ}$ = $T_t^{експ}$ - $R_d^{експ}$).

2. По розрахованим за допомогою формул (1-3) наближеним значенням методом прямого МК знаходяться нові розраховані значення $T_t^{розр}$, $T_c^{розр}$ і $R_d^{розр}$.

3. Далі будується цільова функція та проводиться процедура її мінімізації:

$$F = (T_t^{експ} - T_t^{розр})^2 + (R_d^{експ} - R_d^{розр})^2 , \quad (4)$$

4. У якості критерію закінчення процедури мінімізації використовується одна із цільових функцій (для прикладу взято модульну функцію):

$$\frac{\left|T_t^{експ} - T_t^{розр}\right|}{T_t^{експ}} + \frac{\left|R_d^{експ} - R_d^{розр}\right|}{R_d^{експ}} \le \varepsilon , \quad (5)$$

де $\varepsilon$ - величина відхилення розрахованих параметрів від експериментальних.

Підбір цільової функції оптимізації в інверсному МК дозволяє мінімізувати загальну похибку визначення оптичних коефіцієнтів при реальному експерименті та моделюванні.

Оскільки на кожному кроці мінімізації при обчисленні цільової функції потрібне проведення розрахунків $T_t^{розр}$, $T_c^{розр}$ і $R_d^{розр}$, що вимагає значних обчислень і великих обчислювальних ресурсів, то у програмі використовується метод мінімізації цільової функції на основі методу золотого перетину [9], що дозволяє знайти мінімум цільової функції за досить мале звернення до неї. Проведені моделювання показали, що для знаходження мінімуму з точністю $\varepsilon$ = 0.01 у всьому спектральному діапазоні потрібно в середньому 10-30 звернень.

Для перевірки точності функцій мінімізації за допомогою експерименту були отримані оптичні коефіцієнти для тканини легень свині з товщиною, яка забезпечувала близьке до нуля значення коефіцієнта пропускання, тобто імітувала напів-нескінченне середовище. На підставі отриманих значень була проведена серія моделювань для п'яти функцій оптимізації: модульної (на рис.1 мітка М), квадратичної (на рис.1 мітка КВ), квадратичної по дельтам дифузного відбиття та повного пропускання (на рис.1 мітка КВ2), квадратичної за відносними погрішностями суми дифузного відбиття та повного пропускання (на рис.1 мітка КВ3), логарифмічною (на рис.1 мітка Л).

Основним параметром функцій оптимізації була сума відносних похибок коефіцієнтів дифузного відбиття і повного пропускання які утворюють відносну похибку. Відносна похибка функцій оптимізації для легень свині за результатами серії моделювань показана на рисунку 1.

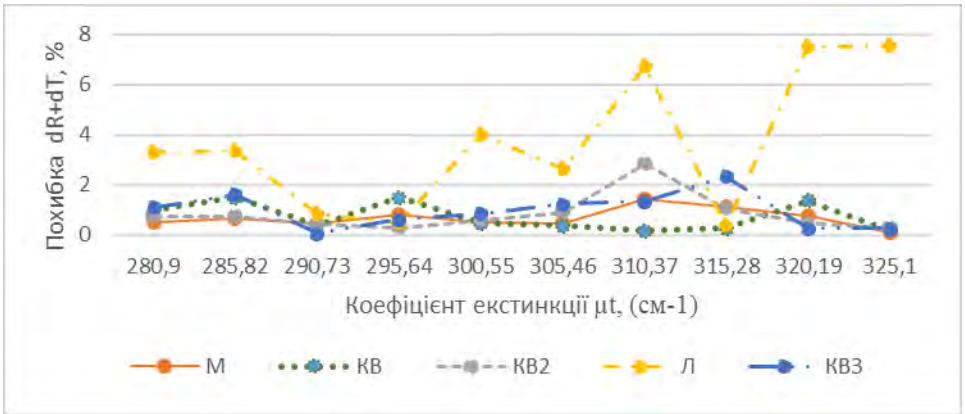



Рисунок 1. Значення відносної похибки моделювань для п’яти функцій мінімізації для діапазону коефіцієнтів екстинкції

З отриманого графіку видно, що для змодельованої тканини найкраще себе проявила модульна функція, яка має найменшу похибку без сильних коливань для різних значень коефіцієнту екстинкції. Розглянуті види квадратичної функції мінімізації мають практично однакову похибку, яка трохи більша ніж у модульної функції. Логарифмічна функція має найбільшу похибку, у результаті чого найменш придатна для моделювань параметрів даної тканини.

## ВИСНОВКИ

Моделювання методом інверсного Монте-Карло є досить ефективним засобом для визначення параметрів біологічних середовищ не зважаючи на великий об'єм обчислень, що збільшує час розрахунків. Аналіз загального алгоритму методу дозволяє правильно удосконалити етапи розрахунку шляхом оптимізації початкового алгоритму. Це сприяє меншій затраті часу обчислення та покращенню точності кінцевих даних, що є попередньою умовою для отримання та порівняння реальних і змодельованих даних. У результаті серії модулювань показано мінімальні похибки розрахунків отриманих шляхом вирішення задачі мінімізації цільових функцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оптическая биомедицинская диагностика / пер. с англ.; под ред. В.В. Тучина. М.: Физматлит, 2007. Т. 1. 560 с.; Т. 2. 368 с.

2. Безугла Н.В. Вплив осьової анізотропії розсіяння біологічних середовищ на точність визначення оптичних коефіцієнтів методом Монте-Карло / Н.В. Безугла, М.О. Безуглий, Г.С. Тимчик, К.П. Вонсевич // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2015, №1 (99). – С.85 – 91.

3. Bezuglyi, M., N. Bezuglaya, and A. Viruchenko. "On the possibility of ellipsoidal photometry and Monte Carlo simulation to spatial analysis of biological media." Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017 IEEE 37th International Conference on. IEEE, 2017.

4. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, "Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors", Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.

5. Bashkatov A.N., Genina E.A. and Tuchin V.V. Optical properties of skin, subcutaneous and muscle tissues: a review // Journal of innovative optical health sciences. 2011. Vol. 4. P. 9–38.

6. Henyey L.G., Greenstein J.L. Diffuse radiation in the galaxy // Astrophys. J. 1941. Vol. 93. P. 70–81.

7. Van Gemert M.J.C., Schets G.A.C., Bishop M.S. et al. Optics of tissue in a multi-layer slab geometry // Laser Life Sci. 1988. Vol. 1. P. 1–18.

8. Prahl S.A., Van Gemert M.J.C., Welch A.J. Determining of the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method // Appl. Optics. 1993. Vol. 32. P. 359–568.

9. Магомедов М.А., Муртазаев М.А., Хизриев К.Ш. Численные методы в физике. Махачкала, 2007. 54 с.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Безуглий М.О.***

# Секція 9.
# Міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні

**УДК 346.7:681.2(477)**

*С.В. Войтко, д.е.н., проф.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# БІЗНЕС-МОДЕЛЬ ІНДУСТРІЇ-4.0 У РОЗВИТКУ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ

***Анотація.*** Приведено ретроспективу розвитку Industry-4.0 та перелік технологій, що до неї належать. Визначено світові тренди у приладобудуванні. Приведено класифікацію сегментів галузей та підгалузей промисловості та сфери послуг як бізнес-моделі Industry-4.0.

***Ключові слова:*** Industry-4.0, приладобудування, сегменти індустрії.

## ВСТУП

Бізнес-модель розвитку Індустрії-4.0 (Industry 4.0), як нової (четвертої) промислової революції, почала формуватися у Німеччині у 2011 році за ініціативи групи під керівництвом Ч. Грифдстаффа (компанія Siemens PLN Software). Бізнес-модель Industry-4.0 визначає принципово новий засіб підвищення рівня конкурентоспроможності приладобудівних підприємств, який використовує інтеграцію кібер-фізичних систем («Cyber-physical system» /CPS/) у виробничі процеси та у функціонування продукції. Клаус Шваб (Klaus Schwab) – засновник та голова Всесвітнього економічного форуму у статті «The Fourth industrial revolution: what it means and how to respond», належним чином описав переваги масової цифровізації (Digitalization) [1].

Загалом, інтеграція машин і людської праці разом з підключенням цих машин і продукції до інтернету надає змогу створювати мережі машин і сервіс-центрів, збирати значні обсяги інформації про сам процес виробництва та особливості експлуатації кожного приладу. У перспективі зазначене надасть, а в окремих випадках вже надає виробникам інформацію про весь життєвий цикл приладу, що, у свою чергу, зменшить кількість недоліків, помилок і браку при подальшому виробництві.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наразі, поряд з класичними світовими трендами у промисловості, зокрема у приладобудуванні, та сфері послуг набувають розвитку й новітні, такі як IoT («інтернет речей»), Big Data («великі дані»), Cloud computing («хмарні обчислення»), Wireless Communication («бездротові технології»), Smart City («розумне місто»), Remote & mobile access («віддалений та мобільний доступ»), 3D printing («тривимірний друк»). Зазначене породило Smart (або Digital Factory («розумна фабрика»)), загальну цифровізацію (Digitalization), а в підсумку та в перспективі цифрову економіку (Digital Economy). На сьогодні платформа Industry-4.0 стосується технологій у приладобудуванні, тобто певних промислових секторів. Доречно зауважити, що ключовими секторами є інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), а саме аналітика великих масивів даних (Data Driven Decision), пряма взаємодія машин (Connected machines), штучний інтелект (Artificial Intelligence).

Поступове проникнення цифрових технологій, поширення автоматизації та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у всі сфери суспільного та

приватного життя розпочалась ще у XX столітті. Початок XXI століття відзначився горизонтальною та вертикальною інтеграцією ІКТ, конвергенцією технологій та додатків, створення кібернетичних систем і штучного інтелекту. Зазначене зумовило зміну бізнес-моделі та способів ведення бізнесу після глобальної економічної кризи 2008 року. Індикатором цього є зміна ринкової вартості компаній. Натепер у ТОП-10 за капіталізацією входять ІКТ компанії, потіснивши промислові гіганти нафто-газового комплексу, автомобільні компанії та виробників напоїв.

Industry-4.0 – це різновид виробництва з орієнтацією на поєднання виробничих процесів і окремих етапів життєвого циклу продукту з інтернетом на основі технології «інтернет речей». Науковцями виділено три основні тренди промислового розвитку: 1) «діджиталізації» виробничих процесів; 2) використання нових матеріалів; 3) розумні середовища [2]. Отже, Industry-4.0 базується на інтеграції виробничих процесів, життєвого циклу приладу, етапу експлуатації через комп'ютеризовані пристрої та інтернет. Зазначене формує нові ринки, пропозицію та попит новітніх товарів і сервісів, нові сервіс-центри.

Стосовно виробничої бази Industry-4.0, то варто розглянути принципово новий напрям проектування так званих «розумних фабрик», наприклад, гігафабрика «Тесла Моторс». Особливостями таких фабрик є модульна структура, основними модулями яких є технологія «інтернет речей», штучний інтелект, кібер-фізичні системи. Структурно ці модулі взаємодіють таким чином, що у результаті проектування приладів створюється певна віртуальна схема фізичного середовища, яке містить як виробничі процеси, так і місце експлуатації приладу. Ця взаємодія постійно формує Big Data, обробка яких надає особам, що приймають рішення, всю необхідну інформацію для виробництва конкурентоспроможного приладу. Як правило, ці рішення децентралізовані, а у багатьох випадках навіть не потребують вручання персоналу. Розумні фабрики спроможні керувати досить складними виробничими процесами. А у процесах виробництва приладів все більше використовується автоматизація, роботизація та модульність.

Така модульна структура, що заснована на концептуальних засадах Industry-4.0 вирішує не тільки виробничі завдання у досить сильній міжнародній конкуренції, а й опосередкованим поступовим поміщенням самих клієнтів у окремі виробничі процеси, а саме інформацією зворотного зв'язку про функціонування приладу. Слід відзначити, що практично усі прилади Industry-4.0 є унікальними, тобто у собі містять унікальний номер, апаратно поміщений у мікроконтролерну систему приладу. Це надає можливість ідентифікувати по інтернету прилад і проаналізувати весь цикл його виробництва та експлуатації. Можливості мікропроцесорної техніки Industry-4.0 надають змогу дистанційно оновлювати програмне забезпечення вже на етапі експлуатації. Зазначене сприяє розвитку такого тренду як виготовлення унікальних товарів за бажанням споживача за окрему платню.

Аналіз галузей та підгалузей промисловості та сфери послуг надав можливість виділити та класифікувати сегменти, які стосуються безпосередньо

приладобудування України у бізнес-моделі Industry-4.0. Такими сегментами, на думку автора, є таке:

– сегмент Smart Devices – електронні пристрої (прилади), що поєднані з іншими пристроями (приладами, комп’ютерними системами) або мережами за допомогою різних дротових керуючих систем або бездротових протоколів;

– сегмент IoT (англ. Internet of Things) – набір взаємопов’язаних елементів (фізичних приладів з давачами, мереж і програмного забезпечення), що надає можливість здійснювати збирання, передачу, накопичення та обробку даних між фізичним світом і комп'ютеризованими системами з використанням стандартних протоколів зв'язку;

– сегмент IIoT (англ. Industrial Internet of Things) – індустріальний різновид «інтернету речей»;

– сегмент: M2M (англ. Machine-to-Machine, Mobile-to-Machine, Machine-to-Mobile) – машино-машинна взаємодія для забезпечення передачі даних між різними приладами;

– сегмент APC (англ. Advanced Process Control) – програмно-апаратний комплекс, який інтегрований у функціонуючу на технологічному об’єкті розподілену систему керування;

– сегмент ICS/PCS/ACS (англ. Industrial Control System або Process Control System або Automatic Control Systems) – автоматизована система управління технологічними процесами (укр. АСУТП – автоматизована система керування технологічним процесом);

– сегмент MES (від англ. Manufacturing Execution System) – система управління виробничими процесами, вирішення завдань їх синхронізації, координації, аналізу, а також оптимізації випуску продукції;

– сегмент CAD/CAM/CAE:

CAD – (англ. Computer-Aided Design) система автоматизованого проектування;

CAM – (англ. Computer-aided manufacturing) – автоматизована система, яка призначена для підготовки керуючих програм для станків с ЧПУ;

CAE (англ. Computer-aided engineering) — програмне забезпечення для розв’язку інженерних задач;

– сегмент AM & 3D (від англ. Additive Manufacturing and 3D Printing) – адитивне виробництво та 3D-друк;

– сегмент AR-technology (від англ. Augmented Reality) – доповнена реальність, а також до неї належить «змішана реальність» і «доповнена віртуальність»;

– сегмент Big Data – великі дані в інформаційних технологіях, хмарні сховища та їх обробка;

– сегмент АСКУЕ – автоматизована система комерційного обліку електричної енергії (єдина функціональна метрологічно-атестована система локального устаткування збору та обробки даних засобів обліку, каналів передачі інформації та пристроїв приймання, обробки, відображення та реєстрації інформації);

– сегмент АСОДУ — автоматизована система оперативного диспетчерського управління.

## ВИСНОВКИ

Стосовно місця України, зокрема національного приладобудування, в Industry-4.0, то слід зазначити, що чітких ознак приналежності тих чи інших країн до Industry-4.0 ще немає. Існує методика [3], яка надає можливість визначити «зрілість» об'єкту до Industry-4.0. Існують й інші оцінки належності країн, корпорацій, підприємств до Industry-4.0. Використовуються як експертне оцінювання, так і оцінки за статистичними даними. Так, у 2016 році лідерами Industry-4.0 визнані США (26 %), Німеччина (25 %), Японія (20 %), Франція (8 %), Китай (6 %), Південна Корея (3 %), Нідерланди (3 %) (у дужках приведено відсоток респондентів за даними [4]).

Є також оцінка обсягу високотехнологічного експорту у загальному обсязі експорту за даними [5]. Україна у 2016 році мала цей показник на рівні 7,2 %. Автором вже здійснені та опубліковані подібні дослідження в [6]. Експерти до технологічно розвинених країн відносять (з 15 по 1 місце у рейтингу за [7]): Гонконг (Китай); Франція; Японія; Ісландія; Люксембург; Південна Корея; Ірландія; Німеччина; Фінляндія; Сінгапур; Данія; Великобританія; США; Нідерланди; Швеція; Швейцарія.

Отже, набути гідного місця у глобальній економічній системі для приладобудування України можливо за комплексного вирішення низки поточних проблем у приладобудуванні країни та зосередженні зусиль бізнес-моделі в сегментах Smart Devices, IoT, IIoT, M2M, APC, ICS/PCS/ACS, MES, CAD/CAM/CAE, AM & 3D, AR-technology, Big Data, АСКУЕ, АСОДУ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution.

2. Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку конвергентних технологій в країнах світу й Україні для вирішення глобальних проблем: монографія. Харків: ФОП Лібуркіна Л.М., 2017. 448 с.

3. Industrie 4.0. Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies. AcaTech – National Academy of Science and Engineering, 2017. 60 p.

4. The Statistics Portal (2018), Currently leading in Industry 4.0, retrieved from https://www.statista.com/statistics/667634.

5. The World Bank Data and Research (2016), World Bank Statistics Database, retrieved from http://data.worldbank.org.

6. Войтко С. В. Експортно-імпортні операції у визначенні належності країни до Індустрії-4.0 / С. В. Войтко // Стратегія і практика інноваційного розвитку фінансового сектору України : збірник Міжнар. наук.-практ. конф. 20-22 березня 2018 р., Ірпінь : Університет ДФС України, 2018. – С. 232-234.

7. Business Insider (2018), The 16 most innovative countries in the world, retrieved from http://www.businessinsider.com/most-innovative-countries-in-the-world-2017-6.

**УДК 338.012**

*О. С. Покрас, аспірант, С. В. Войтко, д.е.н., проф.*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ВИСОКОТОЧНИХ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ВОДИ

***Анотація.*** У даній статті сформовано вибірку країн та надано дані щодо поточних середніх тарифів на воду у 2018 році. Побудовано залежність між грошовими втратами за 1% похибки вимірювання і діаметром витратоміра лічильника води окремо для середніх і великих діаметрів витратомірів. Доведено доцільність встановлення високоточного обліку з урахуванням актуальних тарифів.

***Ключові слова:*** лічильники води, ціна похибки вимірювання лічильником, тарифи на воду.

## ВСТУП

Для того, щоб ефективно розпоряджатися водними ресурсами, вести облік кількості витраченої води та запроваджувати подальші економічно доцільні заходи, потрібно враховувати обсяг витраченої води. З цією метою використовуються прилади обліку води.

Лічильники води – прилади, що використовуються для розрахунку обсягу води, що проходить через вимірювальний елемент – витратомір. Опційно такі прилади можуть враховувати також значення температури, тарифів і регулювати подачу води.

За способом вимірювання, тобто конфігурацією вимірювального елемента – витратоміра, лічильники бувають турбінні, ультразвукові, електромагнітні. Від способу вимірювання залежить якість показань та стабільність роботи приладу. Сьогодні користувачі обирають ультразвукову технологію, адже з часом не втрачається якість показів приладу і не виникає похибок у роботі, на відміну від турбінних та електромагнітних аналогів.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Проблеми розвитку приладобудівної галузі також вивчали Куксенко Д. М, Левицька Т. В. [2; 3; 4; 5]. Вченими було виявлено основні тенденції розвитку галузі приладобудування як то циклічність, наукомісткість та інноваційність.

Від якості приладів залежить точність вимірювання та можливість індикації збоїв у системі водопостачання. Дослідження якісних характеристик приладів обліку та цін похибок проводила також І. А. Гришанова [6]. У статті виявлено залежність між похибкою у вимірюванні лічильників обліку теплової енергії та зростанням грошових втрат від таких похибок зі збільшенням діаметру лічильника.

На основі даного дослідження пропонуємо дослідити доцільність встановлення високоточних лічильників для побутових і промислових цілей з урахуванням актуальних тарифів (мінімального, максимального та середнього).

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблема обліку води є актуальною проблемою на сьогодні. Тарифи за користування водою мають тенденцію до зростання, а кількість доступної

прісної води зменшується через глобальне потепління та антропогенний вплив. Вибірка країн і тарифи в них за 2018 рік приведено у табл. 1.

Табл. 1

**Середній тариф за користування водою за 2018 рік [1]**

| Країна | Середній тариф, дол./м$^3$ | Країна | Середній тариф, дол./м$^3$ | Країна | Середній тариф, дол./м$^3$ | Країна | Середній тариф, дол./м$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Албанія | 0,69 | Еквадор | 0,92 | Нова Зеландія | 1,49 | Сполучені Штати | 1,76 |
| Австралія | 2,62 | Замбія | 0,57 | Норвегія | 2,01 | Танзанія, Об'єднана Республіка | 0,59 |
| Австрія | 2,31 | Індонезія | 0,26 | Об'єднане Королівство | 2 | Того | 0,44 |
| Аргентина | 0,34 | Ісландія | 2,27 | Перу | 0,35 | Туреччина | 0,53 |
| Бельгія | 2,57 | Іспанія | 1,37 | Південна Африка | 1,26 | Україна | 0,43 |
| Білорусь | 0,4 | Італія | 1,6 | Польща | 1,35 | Філіппіни | 0,68 |
| Болгарія | 1,02 | Казахстан | 0,25 | Португалія | 1,63 | Фінляндія | 1,8 |
| Бразилія | 0,81 | Канада | 1,8 | Республіка Корея | 0,8 | Франція | 2,47 |
| В'єтнам | 0,24 | Латвія | 1,18 | Республіка Молдова | 0,97 | Хорватія | 1,73 |
| Вірменія | 0,43 | Литва | 1,18 | Російська Федерація | 0,5 | Чеська Республіка | 1,98 |
| Гондурас | 0,31 | Нігерія | 0,2 | Румунія | 1,01 | Швейцарія | 1,84 |
| Данія | 3,32 | Нідерланди | 2,43 | Словаччина | 1,55 | Швеція | 1,84 |
| Домініканська республіка | 1,51 | Німеччина | 2,67 | Словенія | 1,15 | Ямайка | 1,83 |
| Албанія | 0,69 | Еквадор | 0,92 | Нова Зеландія | 1,49 | Сполучені Штати | 1,76 |

Усереднене значення тарифу на воду для вибірки з наведених у табл. 1 країн, що становить 1,307 дол. за 1 м$^3$. Максимальний тариф з вищенаведених країн у Данії (3,32 дол. за 1 м$^3$), а мінімальний – у Нігерії (0,2 дол. за 1 м$^3$).

Важливість точності вимірювання приладами, що використовуються для житлових будинків і невеликих підприємств, та грошові втрати від неякісного вимірювання видно на рис. 1.

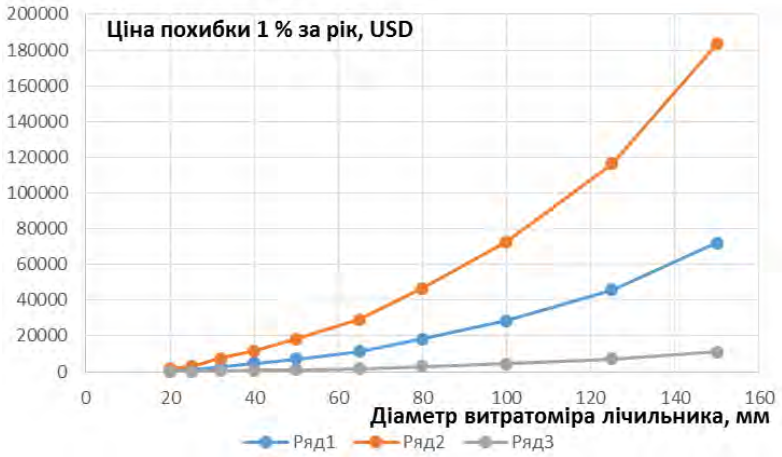



Рис. 1. Ціна 1 % похибки для лічильників обліку середніх діаметрів [1; 6]

Ціна похибки розрахована на основі даних номінальних витрат, що проходять за годину по трубопроводу визначеного діаметру (узято 1 %) та

тарифу за воду, узятому як середнє арифметичне наявних даних за аналізованими вище країнами. Фактична втрата від таких 1-процентних похибок у вимірюванні для житлових будинків при середньому тарифі становить від 1 833 до 183 350 дол. на рік. Кількість використаної води залежить від обсягу води, що прямує по трубі до будинкової системи та тиску.

Для мінімального тарифу (у межах вибірки), тобто 0,2 м3 за годину втрати теплоносія для «будинкових» систем (до них можна також включити і невеликі підприємства, і нежитлові приміщення) становлять від 110 до 11 045 дол. на рік. Для максимального тарифу 3,32 дол. за 1 м3 втрати лише від одного відсотка неточності вимірювань сягатиме вже від 722 до 72 180 дол. на рік.

Фактично, якщо при мінімальних тарифах термін окупності високоточних лічильників становитиме кілька років, то для середніх і максимальних тарифів лічильник окупить себе в термін від кількох місяців до одного року. Тобто, відповідь на питання економічної доцільності встановлення високоточних лічильників залежить від актуальних тарифів на воду. При цьому варто враховувати екологічну складову, адже свідоме споживання ресурсів, у тому числі водних, є запорукою дотримання принципів сталого розвитку.

Для приладів обліку з більшими діаметрами, що використовуються для промислового споживання, а також водоканалами, теплопостачальними організаціями та ін. ціна похибки лише в 1% є ще більш вагомою (рис. 2).

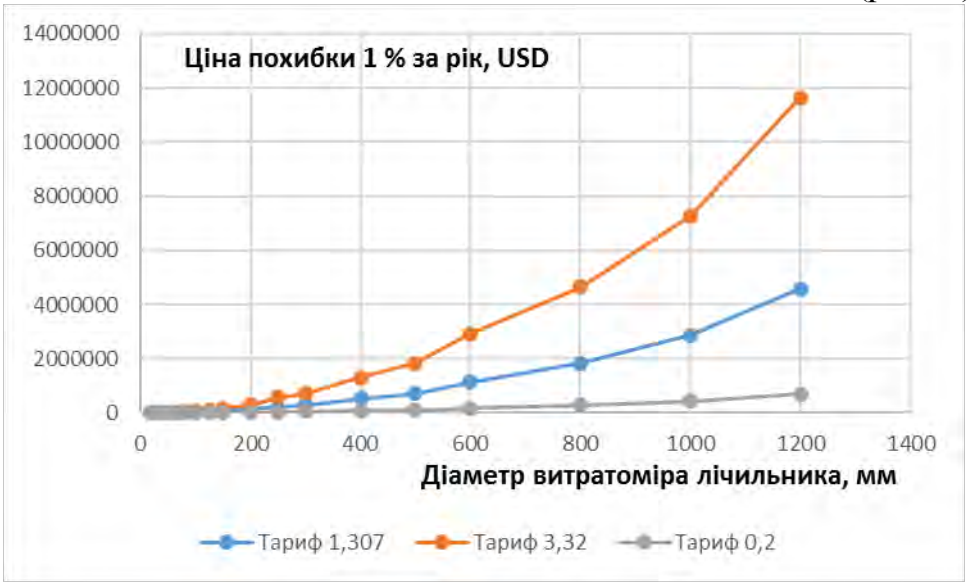



Рис. 2. Ціна 1 % похибки для лічильників обліку великих діаметрів [1; 6]

Для мінімального тарифу (у межах вибірки), тобто 0,2 м$^3$ за годину втрати теплоносія для промислового обліку становлять від 17 532 (для діаметру витратоміра 200 мм) до 701 280 дол. на рік (для діаметру 1200 мм). Для максимального тарифу 3,32 дол. за 1 м$^3$ втрати від одного відсотка неточності вимірювань сягатимуть від 291 031 до 11 641 248 дол. на рік (від діаметрів 200 до 1200 відповідно). Для середнього значення тарифу така градація буде 114 572 – 4 582 865 доларів на рік. Безперечно, такі втрати навіть з мінімальним тарифом свідчать про повну окупність ультразвукових лічильників за декілька місяців.

## ВИСНОВКИ

Отже, використання високоточних лічильників для обліку використаної води є економічно доцільним. При наявності середніх тарифів період окупності ультразвукового високоточного лічильника становить від одного місяця до 1 року, при максимальних терміни окупності вдвічі скорочуються. При тарифах з максимальними значеннями лічильник окупає себе від півроку до 2-3 років. При цьому похибка, що може виникати внаслідок неякісного обліку, може з часом зростати. 1 – 2 % похибки є межами норми вимірювання, надалі підвищення спричиняє значні втрати грошових ресурсів і неефективне використання водних ресурсів. Саме тому важливим кроком на рівні країни є запровадження нормативів стосовно допустимих похибок у вимірюванні води, враховуючи соціальну важливість даного ресурсу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tariffs.ib-net.org/sites/IBNET/VisualSearch/IndexCurrentUSD?Weight=0&ServiceId=2&Yearid=2018

2. Куксенко Д. М., Войтко С. В. Сфера високих технологій: компаративний аналіз приладобудівної галузі / Д. М. Куксенко, С. В. Войтко // Науковий вісник Ужгородського університету : зб. наук. праць. Серія: Економіка, Ужгород : Ужгородський університет, 2013. – Вип. 1 (38) – С. 176–179.

3. Войтко С. В., Левицька Т. В. До питання оцінки економічної ефективності в приладобудуванні / С. В. Войтко, Т. В. Левицька // Приладобудування: стан і перспективи : збірник тез допов. VII наук.-техн. конф. – К.: ВПІ «Політехніка», 2008. – С. 259–260.

4. Войтко С. В. Складові комплексного підходу до оцінки економічної ефективності в приладобудуванні // Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні. Збірник тез доповідей V Наук.-практ. конф. студентів та аспірантів, м. Київ, 1 грудня 2009 року. – К.: ВПІ «Політехніка», 2009. – С. 15.

5. Войтко С. В. Інноваційний потенціал приладобудування: оцінювання факторів впливу та ефективність використання / С. В. Войтко // Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні : збірник тез доповідей VII Наук.-практ. конф. студентів та аспірантів, м. Київ, 25 квітня 2013 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – С. 7.

6. Гришанова И. А. Миллионы — на ветер, или сколько стоит некачественный теплосчетчик [Электронный ресурс] / И. А. Гришанова, И. С. Покрас // По материалам конференций «Коммерческий учет энергоносителей». С.-Петербург, 2004-2006 гг. Режим доступа: http://www.c-o-k.com.ua/content/view/906/.

# Секція 10.
# Ефективні інженерні рішення у інформаційно-вимірювальних технологіях

**УДК 004.942**

*І.Є.Бодак, студент гр. ВВ-71мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕННЯ ПОШКОДЖУВАННОСТІ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

***Анотація.*** Спроектовано програмний виріб ступеня пошкоджуваності виробів із композиційних матеріалів, який призначений для обробки експериментальних даних, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю і використовується в закладах, де необхідні метрологічні спостереження, навчальних лабораторіях, системах промислових вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

***Ключові слова:*** гістограма, критерій Пірсона, регресія, метод найменших квадратів, апроксимація.

## ВСТУП

Сучасна авіаційна промисловість широко використовує композиційні матеріали, які за основними параметрами, такими як питома міцність, надійність, жаро- і ерозійна стійкість, значно перевершують метали і сплави з них. Але вироби з композиційних матеріалів характеризуються великим різноманіттям можливих дефектів, що важко піддаються діагностиці, особливо на ранішніх стадіях їх розвитку. Сучасні темпи розвитку авіації, високий рівень динамічних і статичних навантажень на вироби в режимі експлуатації, викликають необхідність створення високоточних систем контролю та технічної діагностики, заснованих на новітніх методах обробки інформації. Підвищення надійності експлуатації авіаційних конструкцій є найважливішою задачею, оскільки від цього залежить безпека і життя людей, строки роботи цих конструкцій, а також економічна ефективність їх експлуатації. Саме тому необхідними є своєчасна діагностика і контроль виробів з композиційних матеріалів, виявлення дефектів на ранішніх стадіях розвитку та їх усунення, ремонт конструкцій. Тому на даний час висуваються все більш суттєві вимоги до існуючих та нових методів та приладів неруйнівного контролю композитів [1].

## ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для дослідження було взято інформативні сигнали методу низькошвидкісного удару, отримані при дослідженні зразків композитних панелей із стільниковим заповнювачем типа ІСП-1 і обшивкою на основі склотканини Т42/1-76. Даний зразок був вибраний тому, що нанесені на нього дефекти є точковими, нормованими, і тому при його дослідженні можна прослідкувати залежність між силою пошкодження поверхні виробу і зміною інформативних параметрів вимірюваних сигналів.

За допомогою інформаційно-вимірювальної системи, що реалізує метод низькошвидкісного удару, були отримані осцилограми інформаційних сигналів в бездефектній зоні і зонах з різними ударними пошкодженнями.

Програмний засіб виконує функції обробки даних, перевірку на нормальність, нормалізацію даних при необхідності, побудову регресії різними методами, в залежності від нормальності даних. Працює він за алгоритмом, що показаний на рисунку 1.

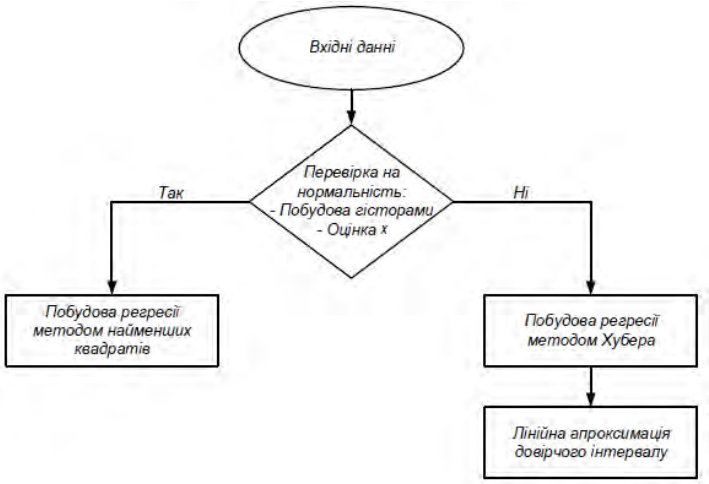



Рисунок 1. Алгоритм роботи програмного засобу

Всі вибірки, що подаються на вхід перевіряються на нормальність, для цього будуються гістограми і оцінка критерієм Пірсона. У випадку нормальності даних, регресія будується методом найменших квадратів (далі МНК) [2]. У випадку ненормальності даних, за допомогою метода Хубера будуємо регресію і проводимо лінійну апроксимацію довірчого інтервалу.

МНК – це метод знаходження наближеного розв'язку надлишково-визначеної системи. Важливим кроком є визначення довірчих інтервалів. Для цього оцінюється середньоквадратичне відхилення (далі СКВ) випадкової похибки середнього значення $\bar{y}$ та індивідуального значення $y$, визначених за отриманою залежністю як функція від аргументу $x$:

$$s_{\bar{y}}(x) = u_{\bar{y}}(x) = s_y \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}}\,. \qquad (1)$$

$$s_y(x) = u_y(x) = s_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}} \qquad (2)$$

СКВ випадкової похибки середнього $\bar{y}$ досягає максимального значення на краях лінії регресії:

$$s_{\bar{y}\max} \approx \sqrt{1+3w^2}\,\frac{s_y}{\sqrt{m}} \qquad (3)$$

де $w$ - кількість напіврозмахів, $V = \left|x_{\max} - \bar{x}\right| = \left|x_{\min} - \bar{x}\right|$ у відхиленні аргументу $x$ від середнього значення; $x_{\max}$, $x_{\min}$ - максимальне та мінімальне значення аргументу. За отриманими значеннями $s$ оцінюють довірчий інтервал випадкової похибки середнього та індивідуального значення $y$:

$$\Delta_{\bar{y}}(x) = U_{\bar{y}}(x) = t_{\alpha/2}(v)\bullet s_{\bar{y}}(x), \Delta_y(x) = U_y(x) = t_{\alpha/2}(v)\bullet s_y(x) \qquad (4)$$

де $t_{\alpha/2}(v)$ - квантиль розподілу Стьюдента, для довірчої імовірності $P = 1-\alpha$ та $v = n-2$.

Отже, як видно з формул (1)-(4) довірчі області, які із заданою ймовірністю $P$ містять середні або індивідуальні значення $y$ залежать від відстані значення $x$ (за яким визначають $y$) від середнього $\bar{x}$ [3].

Якщо значення вхідних величин $x_i$ точно відомі, а випадкова похибка вимірювань $y_i$, $i=\overline{1,m}$ має розподіл близький до гауссівського, але відмінний від строго гауссівського або можуть містити грубі похибки, то для побудови лінійної регресії вигляду $Y=kX+b$ використовуються стійкі методи, зокрема метод Хубера [3]. При використанні методу необхідно отримати початкові наближення коефіцієнтів регресії $b_0$ і $k_0$, в якості яких було застосовано МНК-оцінки.

В зв'язку з тим, що данні не нормальні, маємо справу з медіаною по 500 значень.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На вході ми маємо 5 вибірок, по 500 експериментальних вимірювань в кожній, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю. Програмний компонент системи реалізовано в середовищі розробки LabVIEW 8.5.1, компанії National Instruments, а реалізацію регресії методом Хубера та лінійну апроксимацію довірчого інтервалу будували в Python 3.6.

Інтерфейс бездефектної вибірки та дефектної (їх у дослідженні 4) показано на рисунку 2.

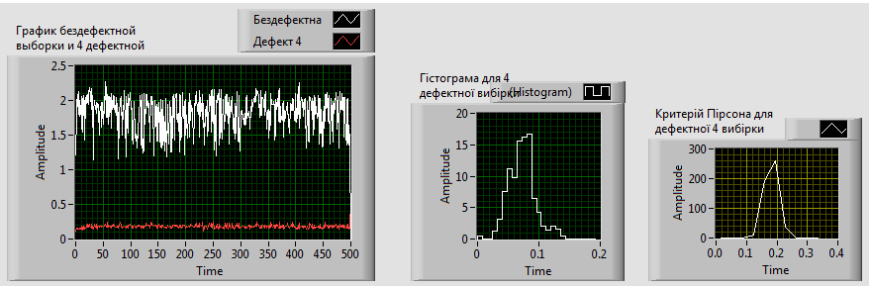



Рисунок 2. Інтерфейс бездефектної та дефектної вибірки (на прикладі четвертої дефектної)

Як бачимо, чим менший дефект, тим більше результат наближається до нормального.

Результат побудови регресії методом Хубера показано на рисунку 3.

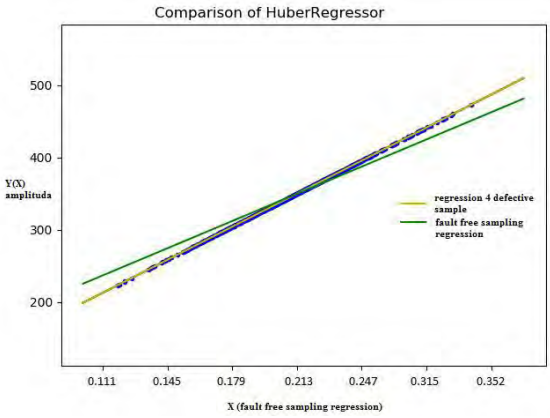



Рисунок 3. Результат побудови регресії методом Хубера

Результат лінійної апроксимації довірчого інтервалу показано на рисунку 4.

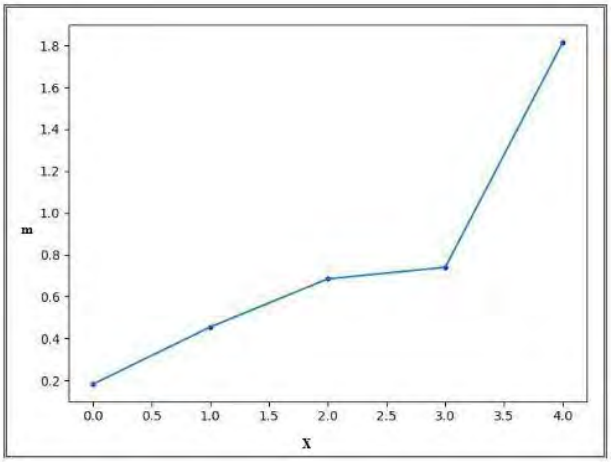



Рисунок 4. Результат лінійної апроксимації довірчого інтервалу

## ВИСНОВКИ

Спроектовано програмний виріб для оцінювання ступеня пошкоджуваності виробів, який вирішує задачі статистичної обробки експериментальних даних, що отримані для композиційних матеріалів в точках з різною пошкоджуваністю, вибору методики перевірки на нормальність та вибору методу побудови регресійної залежності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Редько О.О. Системи неруйнівного контролю композиційних матеріалів на основі методу низькошвидкісного удару / Редько О. О. //, Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікації нано- та мікроелектроніки: матеріали доповіді 2 міжнародної науково-практичної конференції, 25-27 жовтня. Чернівці, 2012. с. 127.

2. Єременко В.С, Бем О.Т., Суслов Е.Ф. Идентификация импульсных сигналов на основе мультиномиальной логистической регрессии // Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – 2016» 23–25 ноября 2016 г. Минск. Беларусь. С. 152 – 153.

3. В.С. Єременко Статистичний аналіз даних вимірювань / Ю.В. Куц, В.М. Мокійчук, О.В. Самойліченко. 2015. – с. 189-194.

***Наук. керівник – д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ Єременко В.С.***

**УДК 378.096**

*К.А.Коваль, студентка гр. ВВ-81МП,старший викладач Затока С.А.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕЗНОЛОГІЙ В УЧБОВОМУ ПРОЦЕСІ

***Анотація*** Розглянуто питання використання інформаційно - комунікаційних технологій в учбовому процесі. Дана робота присвячена калібруванню вимірювача кута зсуву фаз типу Ф2-34, який призначено для прецизійних вимірювань фазових зсувів та і прирощення між двома синхронними гармонійними сигналам у широкому частотному діапазоні. Розроблене програмне забезпечення дає можливість набути практичних навичок роботи з використаними засобами вимірювальної техніки та оцінки їх метрологічних хаорактеристик

***Ключові слова:*** освіта в галузі вимірювання, інформація, комунікаційні технології, *калібрування, зсув фаз,метрологічні характеристики*

## ВСТУП

Метрологія та вимірювання мають ключове положення в областях науки, досліджень, виробництва, випробувань і сертифікації, в той час як метрологія - більш наукова наука для високоспеціалізованих експертів, її результати разом з відповідним вимірювальним обладнанням широко використовуються в практичному житті, наприклад, для менеджерів, особливо малих і середніх підприємств, які не використовують своїх власних метрологів. Це призвело до збільшення попиту на навчання в галузі метрології і вимірювання [1].

Аналіз потреб показав, що потенціал традиційних підходів до професійного навчання в галузі метрології і вимірювання досяг своїх граничних показників і не може повністю задовольнити фактичні та майбутні потреби. Тому у 2001-2004 р. було започатковано міжнародний проект «Комп'ютерне навчання в області вимірювання і метрології» (КОМЕТ) [1].

Комп’ютерні технології широко використовуються на кафедрі інформаційно-вимірювальної техніки.

При випробуванні засобів вимірювальної техніка (ЗВТ), як правило, виконується процедура калібрування з ціллю визначення їх метрологічних характеристик [2]. Розроблення комп’ютерних тренажерів дає можливість набути практичних навичок студентам в галузі метрології, які навчаються за спеціальністю «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

В роботі представлено тренажер по калібруванню вимірювача кута зсуву фаз.

## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ

Завдання створення комп’ютерного тренажера, було вирішено шляхом використання програмного пакету LabVIEW-13.0 [3]

На рисунку рис.1 наведено загальний вигляд комп’ютерного тренажера (імітаційна модель). позначено: 1 – вкладки «Порядок виконання», «Дослід 1», «Дослід 2», «Дослід 3»; 2 – модель вимірювача кута зсуву фаз; 3 – модель калібратора зсуву фаз; 3 – графік з візуальним відображенням кута різниці фаз між сигналами.

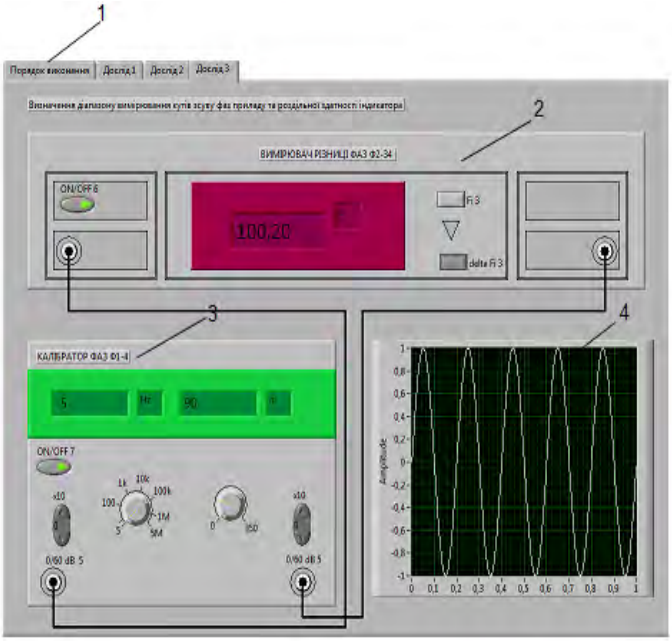



Рисунок 1. Загальний вигляд комп'ютерного тренажера

На вкладці «Порядок виконання» знаходяться вікно вибору варіанту, завдання та опис порядку роботи, кнопки вибору відповідного Досліду. В якості випробувального засобу вимірювання використано вимірювача кута зсуву фаз, який призначено для прецизійних вимірювань фазових зсувів та її прирощення між двома синхронними гармонійними сигналам у широкому частотному діапазоні. Еталонним засобом вимірювань є калібратор зсуву фаз, призначений для відтворення еталонної напруги в двох каналах в широкому частотному діапазоні і зсуву фаз між цими сигналами в діапазоні 00 – 3600 з похибкою, яка не перевищує ±0,050. Калібратор дозволяє встановити рівні значення сигналів в обох каналах, або ослаблення в одному з них.

При калібруванні було виконано наступні дослідження: « Визначення похибки кута зсуву фаз при рівному значенні вхідних напруг» (Дослід 1), «Визначення похибки кута зсуву фаз при нерівних значеннях вхідних напруг:» (Дослід 2 ), і «Визначення діапазону вимірювання кутів зсуву фаз приладу та роздільної здатності індикатора» (Досліду 3).

Похибки кута зсуву фаз оцінюються на частотах 20 Гц, 100 кГц та 5 МГц для кутів 90°, 180° і 270° фазового зсуву калібратору з подальшим визначенням відхилення від їх показів фазометра, враховуючи його початкові покази, встановлені при обнулінні (для кута 0° на частоті 20 Гц, значення фазометра, повинно дорівнювати (0±0,10)°). В Досліді 2, ослаблення вихідного сигналу одного з каналів калібратора - до 20 дБ.

Визначення діапазону вимірювання кутів зсуву фаз приладу та роздільної здатності індикатора (Дослід 3) проводилось: на частоті 100 кГц через кожні 10° фазового зсуву в діапазоні від 0° до 350°. Кут 0° фазового зсуву калібратора; встановлено з точністю (0±0,10)° нульові значення фазометра;

Аналіз результатів вимірювання показав: враховуючи, що максимальна допустима похибка вимірювання зсуву фаз при рівних значеннях вхідних сигналів випробувального засобу становить ±(0,5-1)$^{0,}$ 0,01- 0,03, а ризик прийняття невірного рішення лежить у діапазоні 0,05 – 0,2.

Було виконано експериментальне експериментальне дослідження розробленого тренажера, приклад результатів наведено в табл.1.

Таблиця 1. – Результати вимірювань і розрахунків досліду 1

| ***Частота*** | ***Кут зсуву фаз, $^0$*** | ***Показ фазометра, $^0$*** | ***Абсолютна похибка, $^0$*** | ***Границя допустимого значення абсолютної похибки, $^0$*** |
|---|---|---|---|---|
| 20 Гц | 0 | 0,01 | 0,01 | ±0,5 |
| | 90 | 90,02 | 0,02 | ±0,5 |
| | 180 | 180,04 | 0,04 | ±0,5 |
| | 270 | 270,02 | 0,02 | ±0,5 |
| 100 кГц | 0 | 359,92 | -0,08 | ±0,51 |
| | 90 | 89,93 | -0,07 | ±0,51 |
| | 180 | 179,89 | -0,11 | ±0,51 |
| | 270 | 269,87 | -0,13 | ±0,51 |
| 5 МГц | 0 | 0,02 | 0,02 | ±1 |
| | 270 | 270,02 | 0,02 | ±0,5 |
| 100 кГц | 0 | 359,02 | -0,08 | ±0,51 |
| | 90 | 89,93 | -0,07 | ±0,51 |
| | 180 | 179,89 | -0,11 | ±0,51 |
| | 270 | 269,87 | -0,13 | ±0,51 |
| 5 МГц | 0 | 0,02 | 0.02 | ±1 |
| | 90 | 90,10 | 0,1 | ±1 |
| | 180 | 180,00 | 0 | ±1 |
| | 270 | 270,05 | 0,05 | ±1 |

## ВИСНОВКИ

Використання комп'ютерних технологій в підготовці фахівців за спеціальністю "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка" має такі переваги:

- висока ілюстративність;
- полегшення доступу до навчання;
- набути навичок експериментального визначення метрологічних характеристик засобу вимірювача;
- підвищити активність вивчення дисципліни, так як виключається бригадна робота;
- використання подібних тренажерів для підготовки спеціалістів при здобутті права на проведення калібрування окремих типів засобів вимірювальної техніки.
- можливість створення дистанційного навчання студентів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Project for the modern educational tool in measurement and metrology Martin

2. Halaj, Peter Gabko, Eva Kurekova, Rudolf Palencar MEASUREMENT IENCE REVIEW, Volume 3, Section 1,2003, c.23-26

3. ДСТУ 4989 Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів, введено; 2001-07- 01.

4. Свиридов Е.В., Разработка прикладного програмного обеспечения в среде LabVIEW / Листратов Я.І., Виноградова Н.Е. –М.: Из-во МЭИ, 2005 - 50 с.

***Наук. керівник – ст. викладач Затока С.А.***

**УДК 006.015**

*О.О. Кононенко, студентка гр. ВВ-71мп, доц. Шведова В.В.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СИСТЕМА ОПРАЦЮВАННЯ ДАННИХ КЛЮЧОВИХ ЗВІРЕНЬ

***Анотація.*** В статті запропоновано частина алгоритмічного та програмного забезпечення опрацювання результатів ключових звірень за процедурою D, що дозволяє не лише виконувати ключові звірення за процедурою D, а й дозволить побудувати узагальнену програму здійснення ключових звірень.

***Ключові слова*:** ключові звірення, фізична величина, національні метрологічні інститути, регіональні ключові звірення, адитивна поправка, мультиплікативна поправка, еталон, невизначеність.

## ВСТУП

Метою регіональних ключових звірень (далі RMO КЗ) є поширення метрологічної еквівалентності на еталони національних метрологічних інститутів (далі НМІ), які не брали участь в ключових звіреннях CIPM [1]. Ступінь еквівалентності еталонів НМІ, що беруть участь в RMO КЗ, визначається по відношенню до опорного значенням ключових звірень CIPM (далі KCRV CIPM) через результати вимірювань, отримані в сполучних НМІ, які брали участь в обох звіреннях. Процедури оцінювання даних RMO КЗ повинні забезпечувати зв'язок з результатами KCRV CIPM з допустимо малої невизначеністю[2]. Система опрацювання даних ключових звірень призначена для автоматизації процесу зв’язку між різними НМІ, передачі даних ключових звірень, їх опрацювання та видачі кінцевого результату, що дозволяє оптимізувати процедуру звірень в частині методичного забезпечення.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Загальні підходи здійснення ключових звірень та опрацювання їх даних наведені в міжнародних документах.

Однак, враховуючи можливості інформаційних систем, розвинених на сьогодні, з’являються можливості отримання попередніх оцінок результатів ключових звірень практично в режимі он-ланй. Тобто, результати звірень можуть передаватися на загальний сервер практично зразу після здійснення звірення, данні накопичуватись и проходити миттєву обробку.

Таке вирішення задачі дає можливість відслідкувати неточності або нештатні ситуації, виявити аномальні результати в дужі стислі терміни, і за потреби повторити процедуру звірень. Враховуючи те, що звірення супроводжуються значними фінансовими витратами, пов’язаними з переміщенням еталонів, такий підхід є економічно виправданим, навіть при врахуванні витрат на створення програмного продукту.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для того, щоб зіставити дані RMO і CIPM КЗ було можливим необхідна трансформація даних RMO, що враховує відмінність в значеннях вимірюваних величин. Трансформація може бути реалізована шляхом введення адитивної поправки або мультиплікативної поправки (множенням на коригувальний коефіцієнт)[3]. Процедури оцінювання даних RMO КЗ повинні забезпечувати

зв'язок з результатами KCRV CIPM з допустимо малої невизначеністю і відповідати використовуваним в відповідних CIPM КЗ. Існує дві основні процедури: процедура C і процедура D.

Процедура C застосовна для тих звірень, коли визначають невідоме значення фізичної величини, яке приписують міру. В цьому випадку у відповідних ключових звіреннях CIPM і RMO як транспортуються еталонів можуть бути використані ідентичні по влаштуванню заходи з близькими, але різними значеннями фізичної величини. Процедура C передбачає введення адитивної поправки для результатів вимірювань, отриманих в RMO КС[3].

Процедура D може бути застосована для тих звірень, значення вимірюваних величин в CIPM і RMO ключових звіреннях розрізняються суттєво. Це можливо, наприклад, коли учасники визначають чисельне значення калібрувального коефіцієнта вимірювального приладу. Процедура D передбачає введення мультиплікативної поправки для результатів вимірювань, отриманих в RMO звіреннях[3].

Метою даної наукової статті є опис та розробки системи опрацювання даних ключових звірень(далі ОРКЗ), яка дасть можливість за декілька секунд виконувати усі необхідні розрахунки, та робити висновки з отриманих даних.

Аналогів даної системи абсолютно не існує, що свідчить про її унікальність та оригінальність.

Маючи досвід розробки “програми-попередника” системи ОРКЗ, був прийнятий такий ряд рішень:

Вхідні данні подати у вигляді файлу формату .exl. Ще більше дозволить зменшити вплив оператора на роботу системи;

Розробити алгоритм, та програмно забезпечити, підрахунок даних не лише за процедурою C, а й за процедурою D. Збільшить практичні можливості ОРКЗ.

Для вирішення першого питання були прописані нові вимоги що до вхідних даних, які будуть реалізовані згодом. Тепер вони мають подаватися у вигляді файлу, де буде вказана наступна інформація:

1-колонка – номер учасника звірень РМО(номер НМІ);

2-колонка – результат звірення даного НМІ;

3-колонка – стандартна невизначеність результату відповідного НМІ;

4-колонка – інформація про те, чи є учасник звірень РМО учасником звірень CIPM(зв’язковим НМІ, що позначається + чи -);

5-колонка – коефіцієнт кореляції результатів КЗ для зв’язкового НМІ, чи його відсутність(якщо НМІ не зв’язковий).

Для рішення другого питання, було вирішено написати окремий алгоритм для процедури D.

Тепер ми зможемо використати минулий алгоритм для процедури C, та маємо написати новий для D. Розробка алгоритму для процедури D ведется на основі рекомендацій щодо проведення КЗ COOMET. Подані формули оптимізовуються як алгоритм, який можливо буде застосувати при написанні програмного коду. (дивитись рис.1)

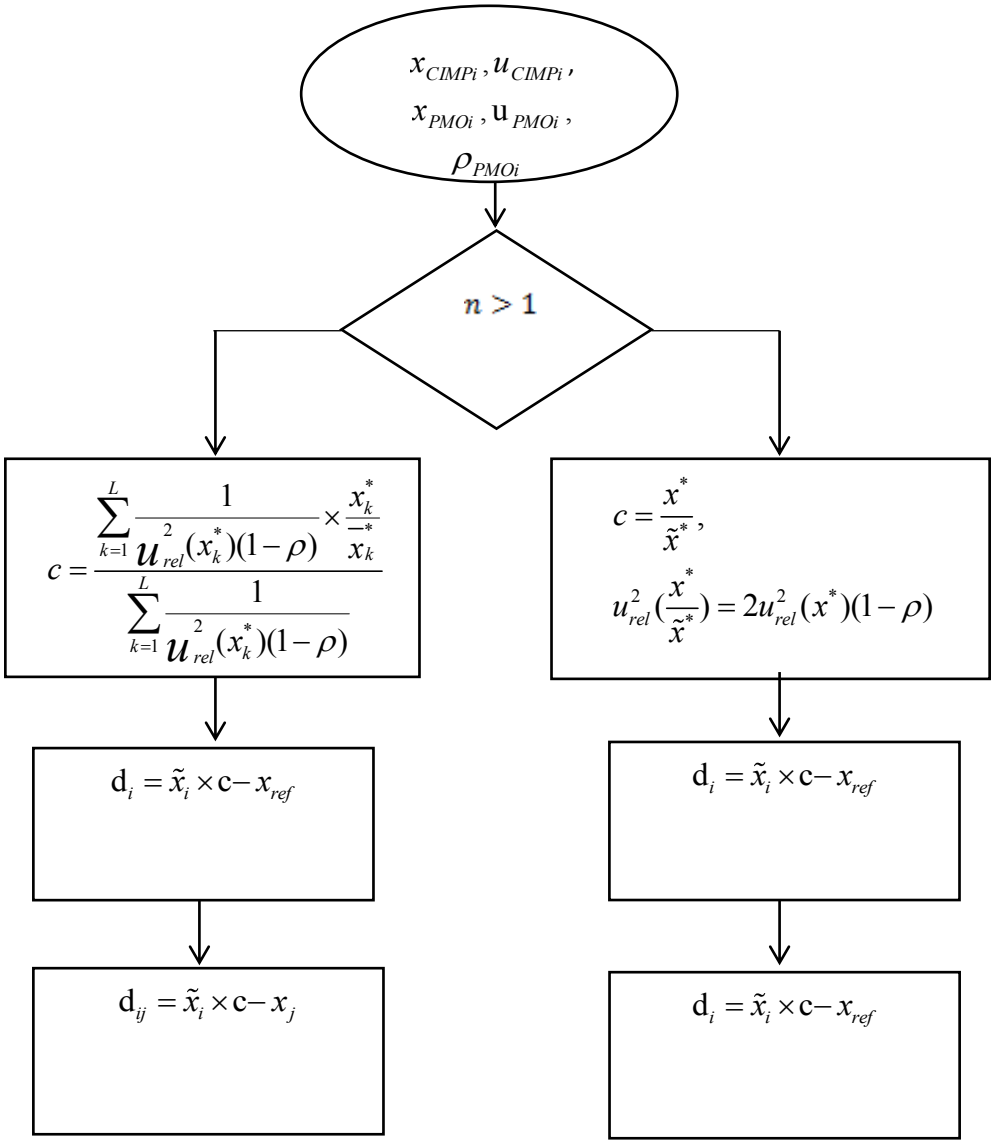



Рисунок 1. Алгоритм роботи програми за процедурою D.

Таким чином, підготовлений весь необхідний матеріал для створення системи ОРКЗ.

## ВИСНОВКИ

Під час роботи над статтею була проаналізована уся проблематика відсутності спеціальної системи для проведення КЗ без втручання оператора. Були розписані усі недоліки, які зумовлюють актуальність і необхідність системи ОРКЗ.

Проаналізувавши роботу “програми-попередника” системи ОРКЗ було зроблено певні висновки – як саме можливо на досвіді роботи з попередньою системою оптимізувати ОРКЗ, що саме необхідно удосконалити та додати, щоб зробити систему кращою за її попередника.

Була проведена робота з виділеними проблемами: виведення конкретних вимог що до нової системи вводу даних, яка поліпшить роботу ОРКЗ (порівняно з попередньою програмою), та зменшить вплив оператора на розрахунки, що дасть можливість ще більше поліпшити точність системи; написання алгоритму для процедури D, який надалі можна буде використати під час програмування системи ОРКЗ, який надасть можливість проводити КЗ з використанням усіх процедур, що робить систему повноцінною.

Таким чином, на основі даної роботи можливе створення повноцінної системи ОРКЗ, що дасть змогу значно спростити процедуру КЗ. Надасть змогу проводити її менш кваліфікованим робітникам, адже для її проведення буде необхідна простіша підготовка ніж необхідна зараз. Загалом спрощення процедури дасть змогу економити велику кількість часу та ресурсів, як людських, так і технічних, які раніше використовувались для даної роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. РМГ 29-99 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

2. ДСТУ 2681-94 Державний стандарт України. Метрологія. Терміни та визначення.

3. Рекомендация КООМЕТ. COOMET R/GM/32:2017. «Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости».

4. О.О. Кононенко. Система опрацювання даних ключових звірень первинних еталонів (маси) за процедурою С // Наукове мислення. – Дніпро, 2018. – с. 38-41.

***Наук. керівник – доц. Шведова В.В.***

**УДК 006.83**

*І. Б. Мацюк, студентка гр. ВВ-71мн*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВПЛИВ РОЗПОДІЛУ ПОХИБКИ ЕТАЛОННОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ

***Анотація***. Досліджено вплив на розсіювання похибки еталонного засобу вимірювальної техніки на похибку повірки і, як наслідок, на достовірність результату цієї процедури

***Ключові слова:*** повірка, засіб вимірювальної техніки, еталонний ЗВТ, достовірність щільність розподілу.

## ВСТУП

Достовірність повірки – властивість повірки, що характеризується ступенем відповідності висновку про приналежність контрольованої характеристики дійсній приналежності її до області допустимих для неї значень. Достовірність повірки характеризується оперативною характеристикою засобу вимірювальної техніки. Під час проведення повірки та калібрування встановлюють основні та додаткові параметри контролю. До основних відносять: найбільшу ймовірність помилкового визнання придатним в дійсності дефективного екземпляра засобу вимірювальної техніки (ЗВТ) та частку найбільшого можливого модуля контрольованої характеристики похибки екземпляра ЗВТ, який може бути помилково визнаний придатним, до границі її допустимих значень. До додаткових відносять: найбільше середнє для сукупності придатних екземплярів ЗВТ ймовірність помилкового визнання дефектними в дійсності придатних екземплярів ЗВТ або при малому числі (або) одному ЗВТ замість цього показника найбільшу ймовірність помилкового визнання дефектними в дійсності придатного екземпляра ЗВТ.

## ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Критерії достовірності повірки використовуються в якості основних вихідних даних при встановленні значень параметрів методик повірки.

В якості параметрів методик повірки використовують характеристики похибки повірки (або спостережень при повірці) та характеристики алгоритму контролю основної похибки.

Ці параметри входять в вираз для оперативної характеристики $L(\chi)$ та безпосередньо впливають на достовірність повірки екземплярів ЗВТ.

Одним з таких параметрів є $\alpha$ - параметр, що описує відношення границі допустимого значення похибки повірки $\delta_n$ до границі допустимого значення контрольованої характеристики. Традиційно значення параметра обирають з переліку: $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \ldots \frac{1}{10}$.

Тоді похибка повірки (похибка еталонного ЗВТ) визначається за формулою:

$$\delta_n = \alpha \cdot \delta_{ЗВТ} \text{, де} \quad (1)$$

$\delta_n$ - похибка повірки (похибка еталонного ЗВТ);

$\delta_{ЗВТ}$ - похибка засобу вимірювальної техніки, що повіряється.

Розсіювання похибки повірки $\delta_n$ описується функцією Іордана. Це розсіювання обумовлене можливим розсіюванням значень параметра $\alpha$ навколо нормованого значення $\alpha_p$.

Канонічний вид функції Іордана має вигляд:

$$f(\rho)=\frac{\pi}{2\alpha_p}\cdot\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\rho\right)}{\sqrt{1+\varepsilon\cdot\sin^2\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\rho\right)}}\cdot D(\varepsilon),$$

де $\alpha_p$ - граничне значення при контролі основної похибки,

$D(\varepsilon)$ - дисперсія, що дорівнює:

$$D(\varepsilon)=\begin{cases}\frac{2}{\sqrt{|\varepsilon|}}\cdot arscin\sqrt{|\varepsilon|}, & при\ \varepsilon<0,\\ 2, & при\ \varepsilon=0,\\ \frac{2}{\sqrt{|\varepsilon|}}\cdot\ln\left(\varepsilon+\sqrt{1+\varepsilon}\right), & при\ \varepsilon>0.\end{cases}$$

Від параметра $\varepsilon$ залежить вид функції щільності розподілу. Розглядають зміни параметра $\varepsilon$ від -1 до 100.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження будо з'ясувати, як впливає вид дослідження на діапазон можливих значень параметра $\alpha_p$, який в свою чергу визначає якість проведення повірки.

Розглянемо випадок рівномірного розподілу, при якому $\varepsilon=-1$, тоді дисперсія:

$$D(\varepsilon)=\frac{2}{\sqrt{|-1|}}\cdot arscin\sqrt{|-1|}=2arscin1=2\cdot\frac{\pi}{2}=\pi$$

За функцією Іордана, щільність розподілу визначається:

$$f(\rho)=\frac{\pi}{2\alpha_p}\cdot\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\alpha\right)}{\sqrt{1+1\cdot\sin^2\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\alpha\right)}}\cdot\pi=\frac{\pi^2}{2\alpha_p}\cdot\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\alpha\right)}{\left|\cos\left(\frac{\pi}{2\alpha_p}\alpha\right)\right|}=\frac{\pi^2}{2\alpha_p},$$

Визначимо границі можливої зміни параметра $\alpha$. За відомою площею функції розподілу, що дорівнює 1, для рівномірного закону маємо:

$$S=\frac{\pi^2}{2\alpha_p}\cdot 2\Delta_\alpha=1$$

Звідси знаходимо можливої зміни параметра $\alpha_p$ для даного розподілу:

$$\Delta_\alpha=\frac{\alpha_p}{\pi^2}$$

Оскільки розподіл розміщений симетрично навколо встановленого значення $\alpha_p$ розподіл параметра альфа має вигляд як на рисунку 1.

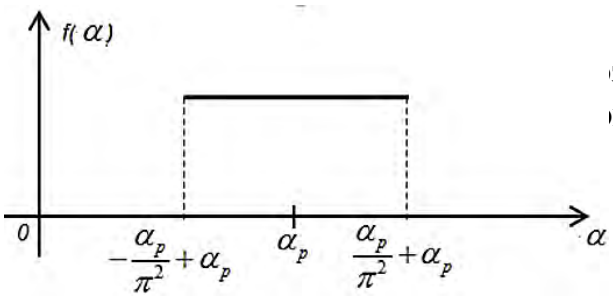



Рисунок 1 – Графік функції щільності рівномірного розподілу

Отже, функція щільності розподілу параметра, що визначає похибку повірки матиме вигляд:

$$f(\rho)=\begin{cases}\dfrac{\pi^2}{2\alpha_p}, \text{ де } -\dfrac{\alpha_p}{\pi^2}+\alpha_p<\alpha<\dfrac{\alpha_p}{\pi^2}+\alpha_p\\ 0, \quad \text{інші}\end{cases}$$

Розглянемо, як впливає розсіювання похибки еталонного ЗВТ $\alpha$ на похибку повірки $\delta_n$. Нехай $\alpha_p=0,5$ та $\delta_{ЗВТ}=1\%$. Тоді похибка повірки за формулою 1 дорівнює:

$$\delta_n=\alpha\cdot\delta_{ЗВТ}=0,5\cdot1\%=0,5\%$$

Визначимо нижню та верхню границі похибки повірки:

$$\delta_{n_н}=(\alpha_p-\frac{\alpha_p}{\pi^2})\cdot\delta_{ЗВТ}=(0,5-\frac{0,5}{\pi^2})\cdot1\%=0,449\%$$

$$\delta_{n_н}=(\alpha_p+\frac{\alpha_p}{\pi^2})\cdot\delta_{ЗВТ}=(0,5+\frac{0,5}{\pi^2})\cdot1\%=0,551\%$$

Отже, при $\alpha_p=0,5$ похибка повірки може відхилятися від очікуваного значення на $\pm\frac{0,05}{0,5}\cdot100\%=\pm10\%$, що може вплинути на результат повірки в цілому.

У випадку коли $\alpha_p=\frac{1}{3}$, при аналогічних розрахунках похибка повірки становить 0,333%, а нижня та верхня границі відповідно дорівнюють 0,3% та 0,367%.

## ВИСНОВКИ

З'ясовано, що під час проведення повірки важливо враховувати не лише похибку еталонного ЗВТ, а й можливий розподіл цієї похибки, оскільки наявність випадкового розсіювання похибки еталонного ЗВТ може призвести до зниження достовірності повірки, що обумовлено цим параметром.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МИ 187-86 Методические указания. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений.

2. МИ 188-86 Методические указания. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки.

3. ГОСТ 8.508-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки контроля.

***Наук. керівник – к.т.н., доцент Шведова В. В.***

**УДК 53.088.228**

*З.В.Михова, студент гр. ВВ-71мн*
КПИ им. Игоря Сикорского

# ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОКАЗАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ НАЛИЧИИ КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ

***Анотация.*** Предложен способ оценивания расширенной неопределенности показания типового средства измерительной техники (СИТ) с учетом комплекса его инструментальных характеристик: систематической погрешности, случайной погрешности, вариации и дрейфа на основе исследования индивидуальных характеристик группы СИТ.

***Ключевые слова:*** систематическая погрешность, случайная погрешность, дрейф, вариация, неопределенность измерения, метрологические характеристики средств измерительной техники.

## ВВЕДЕНИЕ

Комплекс инструментальных составляющих погрешности в общем случае состоит из систематической составляющей погрешности, случайной составляющей погрешности, вариации и дрейфа показаний, которые оцениваются как индивидуальные характеристики согласно ГОСТ 8.508-84.

Однако для практических целей важно оценить суммарную погрешность для серии средств измерительной техники (СИТ) одного типа, что позволяет установить предельные значения погрешности для каждого экземпляра данного СИТ. Если СИТ является показывающим, то результат измерения удобно охарактеризовать неопределенностью его показаний.

## АНАЛИЗ ПРЕДЫДУЩИХ РАБОТ

При точной оценке индивидуальной погрешности изделий (СИТ) с существенными случайной составляющей погрешности, вариацией и дрейфом интервал, в котором с вероятностью не менее заданной находится погрешность $\Delta_\Sigma$ данного экземпляра изделий, может быть определен расчетным методом по неравенствам (по ГОСТ 8.508-84) [1]:

при линейном дрейфе

$$\Delta_c - K\sqrt{\frac{в^2}{12}+\frac{d_m^2}{12}+\sigma^2(\overset{o}{\Delta})} < \Delta_\Sigma < \Delta_c + K\sqrt{\frac{в^2}{12}+\frac{d_m^2}{12}+\sigma^2(\overset{o}{\Delta})}, \qquad (1)$$

при произвольном дрейфе

$$\Delta_c - K\sqrt{\frac{в^2}{12}+\sigma^2(d)+\sigma^2(\overset{o}{\Delta})} < \Delta_\Sigma < \Delta_c + K\sqrt{\frac{в^2}{12}+\sigma^2(d)+\sigma^2(\overset{o}{\Delta})}, \qquad (2)$$

где $в$ - вариация; $d_m$ - максимальное за время эксперимента значение дрейфа; $\sigma(d)$ - СКО дрейфа; $K$ - в зависимости от заданной вероятности $P_Д$.

*Вариация показаний* измерительного прибора - разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе "справа" и подходе "слева" к этой точке. Вариация показаний представляет собой алгебраическую разность наибольшего и наименьшего результатов при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях. Вариация характеризует нестабильность показаний измерительного прибора.

Дрейф показаний средства измерений - изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих физических величин или других факторов.

В качестве коэффициента К допускается использовать пределы допускаемых значений, согласно ГОСТ 8.508-84 [1].

Таблица 1. Пределы допускаемых значений

| | | | |
|---|---|---|---|
| ***РД*** | 0,90 | 0,95 | 0,99 |
| ***К*** | 1,6 | 1,8 | 2,0 |

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью исследования было получение оценки суммарной погрешности для типовых СИТ с существенной случайной составляющей погрешности, существенными вариацией и дрейфом.

При этом необходимо получить оценки характеристик: вариации, систематической погрешности, СКО случайной составляющей погрешности и дрейфа в формуле (1) и (2) для серии изделий (СИТ) одного типа.

Оценку систематической погрешности типового СИТ предлагаем оценить следующим образом. Проводим экспериментальное оценивание индивидуальных систематических погрешностей каждого СИТ $\Delta_i$ и в качестве окончательного значения выбираем максимальное из всех полученных.

$$\max\{\Delta_{S_i}\} = \Delta_{S_{тип}} \tag{3}$$

Для СКО случайной составляющей погрешности $\sigma[\overset{o}{\Delta}]$ также проводим экспериментальное оценивание СКО случайной составляющей погрешности каждого СИТ. Но в этом случае, целесообразно будет использование, для комплексного исследования, усредненное его значение по серии индивидуальных характеристик СИТ [2], так как вероятность того, что погрешность будет максимальна - мала.

$$\sigma^2[\overset{o}{\Delta}] = \frac{\sigma^2[\overset{o}{\Delta}_1] + \sigma^2[\overset{o}{\Delta}_2] + \ldots}{n} \tag{4}$$

где $n$ - количество СИТ.

Экспериментальное оценивание проводим и для дрейфа $d$. Стандартное отклонение для характеристики дрейфа совокупности СИТ находим по формуле

$$\sigma_{тип}[d] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \overline{d})^2}{n-1}} \tag{5}$$

где $d_i$ - значение дрейфа каждого СИТ.

Соответствующим образом мы проводим экспериментальное оценивание вариации каждого СИТ. И в качестве окончательного значения выбираем СКО индивидуальных вариаций.

$$\sigma_{тип}[в] = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(в_i - \bar{в})^2 \Big/ n-1} \qquad (6)$$

где $в_i$ - значение вариации каждого СИТ.

Таким образом модифицированная формула приобретает вид:

$$\Delta_{\Sigma} > \Delta_S - K\sigma_{\Sigma} = \Delta_S - K\sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2} \qquad (7)$$

$$\Delta_{\Sigma} < \Delta_S + K\sigma_{\Sigma} = \Delta_S + K\sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2} \qquad (8)$$

Для того, что б можно было представить результат измерения СИТ с неопределенностью, в качестве К выбираем (согласно рекомендациям ДСТУ - Н РМГ 43:2006):

При Р = 0,95, то К = 2. При Р = 0,99, то К = 3.

При этом, если систематическая погрешность меньше доверительного интервала, обусловленного случайной погрешностью $\Delta_S < K \cdot \sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2}$, то расширенную неопределенность принимаем равной

$$U_{расшир.неопр.} = \Delta_S + K \cdot \sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2}.$$

Если больше $\Delta_S > K \cdot \sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2}$, то расширенная неопределенность равна $U_{расшир.неопр.} = K \cdot \sqrt{\sigma_в^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\overset{o}{\Delta}}^2}$, однако при этом дается информация о поправке, которую нужно ввести. Поправка равна систематической погрешности с противоположным знаком.

## ВЫВОДЫ

Предложен способ оценивания расширенной неопределенности показания типового СИТ с учетом комплекса его инструментальных характеристик: систематической составляющей погрешности, случайной составляющей погрешности, вариации и дрейфа показаний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.508-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля.

2. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005 Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення (ГОСТ ИСО 5725-1-2003, IDT).

3. ДСТУ - Н РМГ 43:2006 ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування Руководства по выражению неопределенности измерений (РМГ 43-2001, IDT)

***Науч. руководитель – доцент Шведова В.В.***

**УДК 620.179.16:621.315**

*О.І. Павленко, студент гр. ВВ-71мп*
**КПІ ім. Ігоря Сікорського**

# УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ФАРФОРОВИХ ІЗОЛЯТОРІВ

***Анотація.*** Запропоновано метод ультразвукової діагностики фарфорових ізоляторів.

***Ключові слова:*** пористість, структуроскопія, ультразвуковий метод, класифікація методів, швидкість ультразвуку, неруйнівний метод, фарфоровий ізолятор, відбраковування ізоляторів, порогове значення.

## ВСТУП

Фарфорові ізолятори є важливим елементом енергетичних систем вони призначені для ізоляції та кріплення струмопровідних частин в електричних апаратах, підстанцій та комплектних розподільних пристроях електричних станцій. Руйнування та пошкодження фарфорових ізоляторів, що встановлюються у відкритих розподільчих пристроях змінного струму, приводять до серйозних аварій.

Одним з найбільш поширених дефектів фарфорових ізоляторів є відкрита мікроскопічна пористість. Оскільки волога може потрапляти вглиб зони відкритої мікроскопічної пористості цілком можлива втрата ізоляційних властивостей а також механічне пошкодження ізоляторів (можливий варіант росту макроскопічних тріщин за рахунок розширення льоду при замерзанні).

Більшість відмов фарфорових ізоляторів спричинені мікроскопічною пористістю(близько 80%). Для виявлення відкритої мікроскопічної мікропористості може використовуватися неруйнівний метод виявлення, а саме ультразвукова структуроскопія, що ґрунтується на розсіювання ультразвукових коливань в об’єкті контролю та вимірюванні швидкості поширення ультразвуку.Через наявність відкритої мікроскопічної пористості зменшується швидкість поширення ультразвукових коливань і завдяки цьому можна продіагностувати ізолятор на наявність мікропористості.

Відбраковування фарфорових ізоляторів відбувається на основі порівняння виміряної швидкості ультразвуку в окремому ізоляторі з наперед встановленим пороговим значенням швидкості. Порогове значення швидкості ультразвукових коливань уточнюється за допомогою методу фуксинової проби під тиском, який потребує руйнування доволі дорогого ізолятора[1].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. ФАРФОРОВІ ІЗОЛЯТОРИ ТА ПОРИСТІСТЬ

Фарфор служить в галузі електрозабезпечення як зразковий спосіб. Ізолятори, виготовлені з цього матеріалу, успішно використовуються з найдавніших днів передачі та розподілу енергії, починаючи з XIX століття. Незважаючи на недоліки, такі як хрупкість (тобто легко руйнуються) і плотність) обидва з яких вимагають догляду під час обробки - інертність цієї неорганічної матеріалу надає величезну стабільність перед обличчям численних факторів навколишнього середовища, які можуть привести до деяких органічних матеріалів швидко погіршуються і зазнають невдачі.

Є багато постачальників порцелянових ізоляторів і, не дивно, існують також відмінності в матеріалах та технологічних процесах доступних продуктів. Для розподільних напруги низької міцності, порцеляновий склад на основі кварцу може працювати задовільно; для передачі напруги, навпаки, звичайно використовувати високоміцний фарфор на основі глинозему. Окрім відмінностей у складанні фарфору, існують також варіації в типі цементу, що використовується для прикріплення обладнання. Хоча порцелянові ізолятори повинні задовольняти певним рівномірним національним та міжнародним стандартам, вони, як правило, не можуть встановити тривалість використання цих ізоляторів. Зниження електричної та механічної міцності в фарфору широко вивчалося в минулому.

Недоліки внаслідок поширення за часом тріщин у фарфоровому тілі, збільшення напруги навколо кутів на ділянці шпильки, що призводить до проколу під час грозових розрядів, неправомірного фарфору та інше. Більшість з цих типів режимів відмов не видно, оскільки вони, як правило, виникають всередині з'єднання. Фарфорові ізолятори можуть бути пошкоджені під час зберігання, під час установки або через неправильну експлуатацію. Однак у більшості випадків число зламаних одиниць у рядку обмежується одним або двома.

Таким чином, збірка ізоляторів повинна бути здатна підтримувати лінію як механічно, так і електрично. Підвісні ізолятори, як правило, піддаються середньодобові навантаження, які представляють лише частку (близько 20 відсотків) їх Механічного та електричного тиску (M & E). Таким чином, існує значний запас надійності, коли ізолятор є новим. Однак ця різниця зменшиться, оскільки ізолятор старіє під час служби.

Багато комунальних послуг мають керамічні ізолятори у своїх системах, які в даний час перевищують нормально "прийнятне життя" 30 років. Ці ізолятори можуть продовжувати функціонувати протягом багатьох років. Тим не менш, логічно, що комунальні підприємства хотіли б мати інформацію про те, коли це ідеальний час для їх заміни, щоб планувати стратегії підтримки, спрямовані на мінімізацію переривань. Крім того, розумно очікувати, що комунальні підприємства зможуть отримати зразки цих ізоляторів з їх мереж, під час циклів технічного обслуговування, які потім можуть бути розглянуті та оцінені для цієї мети.

Одним із можливих підходів для оцінки стану цих ізоляторів було б порівняння механічної міцності ізолятів, виставлених на полі, після багатьох років експлуатації до їхньої міцності, коли вони були новими (або в момент придбання). Однак, слід враховувати, що при застосуванні цього підходу, оскільки ізолятори зазвичай зберігають на відкритому повітрі протягом значних періодів перед установкою. Тому існує можливість того, що ці ізолятори, коли вони встановлені, вже не настільки міцні, як у їхньому новому стані.Що стосується електричних властивостей, то поверхневі та насипні аспекти корпусу ізолятора важливі.

Поверхневий опір може бути зменшений через такі чинники, як забруднення повітрям, ерозія глазурі, шорсткість поверхні, а також

накопичення побічних продуктів апаратної корозії. За винятком першого фактору, який можна пом'якшити шляхом природного очищення, решта джерел електричної деградації можуть призвести до постійного зменшення поверхневої резистентності. Це вплине на продуктивність ізолятора в забруднених умовах.

## ІНШІ ДЕФЕКТИ ТА УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ

Отже, дефектами фарфорового тіла ізолятора, що обумовлені технологічними факторами виготовлення, є: відкрита мікроскопічна пористість (ВМІП), як поверхнева так і об’ємна; ); засмічувальна макроскопічна пористість (ЗМАП) ; порушення складу маси (ПСМ); випалювальна макроскопічна пористість (ВМАП); та місцеві дефекти (МД), що представляють собою окремі макроскопічні тріщини та порожнини. Детальну класифікацію можна побачити на рисунку 1.

Акустичний метод заснований на залежностях параметрів поширення хвиль на властивостях середовища, де розповсюджуються хвилі. У разі твердого тіла вони залежать від упругих властивостей матеріалу, а також від його структурного складу. Ультразвуковий метод широко застосовувався в дефектоскопії. Виявлення розривів середовища здійснюється шляхом введення пучка хвиль у досліджуваний матеріал, а потім запису його відображення від границі. Серед можливих застосувань ультразвукового методу, також еластометрія. На основі експериментальних визначених значень швидкості ультразвукові хвилі, а також відомий матеріал щільності, можна отримати модуль Юнга E та Відношення Пуассона [1]

$$E = pc_T^2 \cdot (3\mathrm{c}_L^2 - 4p_T^2) / (\mathrm{c}_T^2 - c_T^2) \tag{1.1}$$

$$E = (\mathrm{c}_L^2 - 2c_T^2) / 2(\mathrm{c}_T^2 - c_T^2) \tag{1.2}$$

Цей ефект може бути описано зниженням модуля пружності. Пористість змінює пружний модуль Юнга матеріалу, і, як слід, зменшує продольні швидкість cL як а також поперечну cT. Було доведено, що швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль лінійно зменшується з зростанням вмісту пористості [2]. Додатковий ультразвуковий параметр, який зазначено вище, дозволяє оцінити ступінь процесів старіння в керамічному матеріалі, цу і є затуханням.

Слід зазначити що ця формула не є універсальною, і для деяких матеріалів не можуть бути застосовна. Для кожного матеріалу необхідно визначати свої константи, що будуть використовуватися в формулах. Виявлення внутрішньої мікроскопічної пористості здійснюється методом ультразвукової струтуроскопії за швидкістю поширення ультразвуку на змонтованому обладнанні (при цьому напруга має бути відключена) або в контрольованому середовищі перед монтажем.

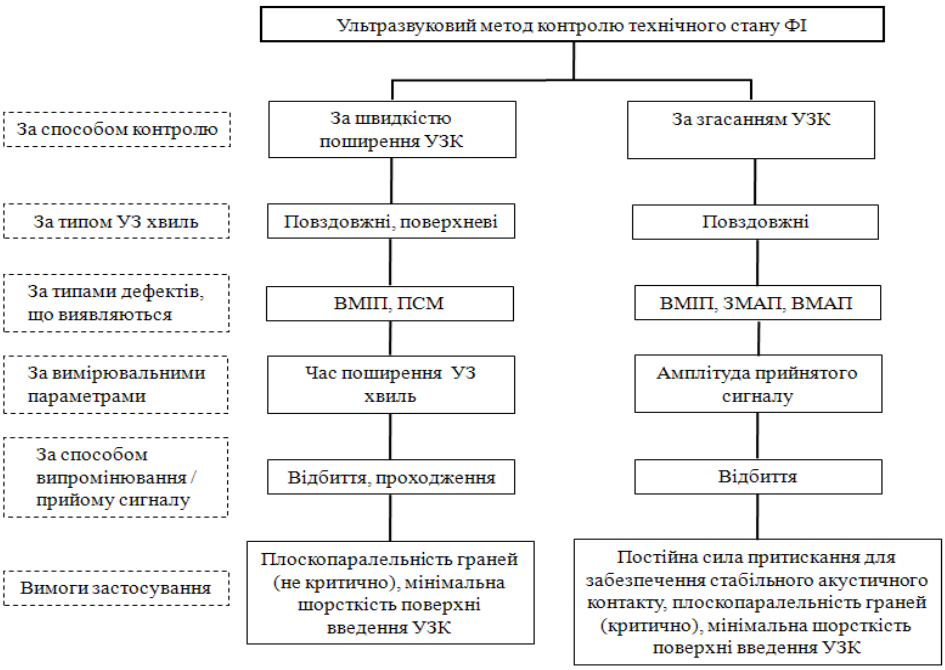



Рис. 1. Параметри ультразвукової структуроскопії фарфорових ізоляторів

## ВИСНОВКИ

Отже, можна зробити висновок, що основним методом виявлення внутрішньої мікроскопічної пористості є неруйнівний метод ультразвукової структуроскопії. Використання, наприклад методу фуксинової проби приводить до значних до значних матеріальних витрат адже ізолятори мають відносно високу собівартість. С проведеного дослідження методу ультразвукової структуроскопії можна зробити висновок, що використання даного методу, який не потребую використання руйнівних методів контролю має суттєві переваги над іншими способами контролю, діагностики та відбракування ізоляторів, а отже є досить вигідним рішенням у сфері застосування фарфорових ізоляторів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галаган Р.М. Система визуализации и обработки сигналов ультразвуковой дефектоскопии / Р.М. Галаган, С.В. Грузин.

2. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments: труды VIII МНПК: тезисы докл. – Москва: РУДН, 2009. – С. 48-50.

3. Интернет ресурс https://studfiles.net/preview/2629602/page:2/

4.Бальшин М.Ю. Зависимость механических свойств порошковых материалов от пористости и предельные свойства пористых металлокерамических материалов / М.Ю. Бальшин // Докл. АН СССР. – 1949. – Т.67, №5. – С. 831-834.

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Єременко В.С.***

**УДК 004.932.75, 004.4'236, 004.942**

*О.В. Пахальчук, аспірант гр. ВВ-81ф*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ

***Анотація.*** В даній роботі проведено аналітичний огляд існуючих систем розпізнавання символів, що зображені на номерних знаках транспортних засобів. Приведені їх основні характеристики, переваги та недоліки. На основі цього проведено порівняльний аналіз і зроблено висновок.

***Ключові слова:*** система розпізнавання, номерні знаки, камера відеоспостереження.

## ВСТУП

Розпізнавання номерних знаків може застосовуватися в різних сферах людської діяльності. Наприклад, в сфері регулювання дорожнього транспорту, або як додатковий компонент в системах зважування вантажних автомобілів.

З вступом в дію редакції правил дорожнього руху, одним із основних елементів є фото- та відео фіксація порушень ПДР. Для цього необхідна система розпізнавання номерних знаків автомобілів.

На сьогоднішній день існує ряд систем, що вирішують подібну задачу. Основними недоліками існуючих систем є те, що вони є складними в плані програмної і апаратної реалізації, або потребують спеціалізованих інструментів, наприклад, спеціалізованої камери відео спостереження, що обмежує їх використання в межах України із-за високої вартості цих технологій. Тому створення системи, що не потребує великих апаратних і програмних затрат є актуальним завданням.

Нище будуть розглянути відомі системи розпізнавання номерних знаків.

## ОГЛЯД СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ

1 Система розпізнавання номерних знаків на основі камери Bosch REG-X

Система автоматичного розпізнавання номерних знаків (рисунок 1) - це система із можливість автоматичного розпізнавання символів, що містяться на номерних знаках моторного транспортного засобу, при зчитуванні з зображення, наданого камерами відеоспостереження, для подальшої обробки системою безпеки [1].

Рисунок 1. Інтерфейс системи розпізнавання номерних знаків.

Загалом, система розпізнавання цифрових таблиць складається з "пристрою захоплення кадру", здатного захоплювати зображення і шукати позицію номерного знаку на зображенні, а потім виділяти відповідні символи і розпізнавати їх за допомогою інструментів оптичного розпізнавання символів (OCR ), які перетворюють пікселі зображення в візуально читабельні цифри.

Серед проблем, які виникають при використанні даного методу є невиразні візуальні межі символів на номерному знаці через погане фокусування камери або через рух автомобіля, а також гострий кут.

Незважаючи на те, що для цієї мети часто можна використовувати деякі звичайні камери відеоспостереження, такі камери зазвичай мають низьку роздільну здатність. Але як основний компонент даної системи, використовуються спеціально розроблені камери Bosch REG-X. Вони забезпечують ідеальні зображення як у денний, так і в нічний час, а технологія усунення надмірних деталей забезпечує надійний знімок номерного знаку.

2 Система розпізнавання «Vehicle Vision»

Система розпізнавання номеру автомобіля (Vehicle Vision) - це система, яка миттєво здійснює виявлення, "читання", сертифікацію та ідентифікацію транспортного засобу по номерному знаку транспортного засобу за допомогою власної технології обробки зображень. Камери із цією системою зображені на рисунку 2 [2]. На рисунку 3 зображено головний екран програмного компоненту.

Рисунок 2. Зовнішній вигляд системи розпізнавання номеру автомобіля

Рисунок 3. Головний екран програмного компоненту Vehicle Vision

Під час розпізнавання розпізнаються наступні характеристики: назва бюро сухопутного транспорту, номер класифікації, тип транспорту, серійний номер За рахунок опції пакетного розпізнавання, є можливість витягувати всі сегменти та виконувати більш точні порівняння. Подібна система отримала використання для контролю в'їзду/виїзду транспортних засобів.

Дана система передбачає створення бази даних, тобто є можливість записувати історію пересування транспорту (коли / хто / які автомобілі), а також дату та час, атрибути транспортного засобу, атрибути власника тощо.

3 Система розпізнавання номера транспортного засобу для автоматичного збору штрафів.

Система розпізнавання номера автомобіля (VNR) - це технологія обробки зображень, яка використовує ефективні алгоритми для виявлення номера транспортного засобу в реальному часі [3].

Система спочатку виявляє транспортний засіб, а потім фіксує зображення переднього виду автомобіля. На цьому зображенні знаходиться номерний знак після чого проводиться сегментування символів, які зображені на ньому. Для розпізнавання використовується еталонний метод. Отриманий номер транспортного засобу порівнюється з наявними номерами усіх транспортних засобів у базі.

Дана система розроблена щоб надсилати інформацію про тип транспортного засобу та відповідно давати інформацію про величину штрафу, який має сплатити порушник. Інформація про транспортний засіб (наприклад, час проходження, дата, сума платежу) також зберігається в базі даних для ведення запису.

Структура даної системи зображена на рисунку 4.

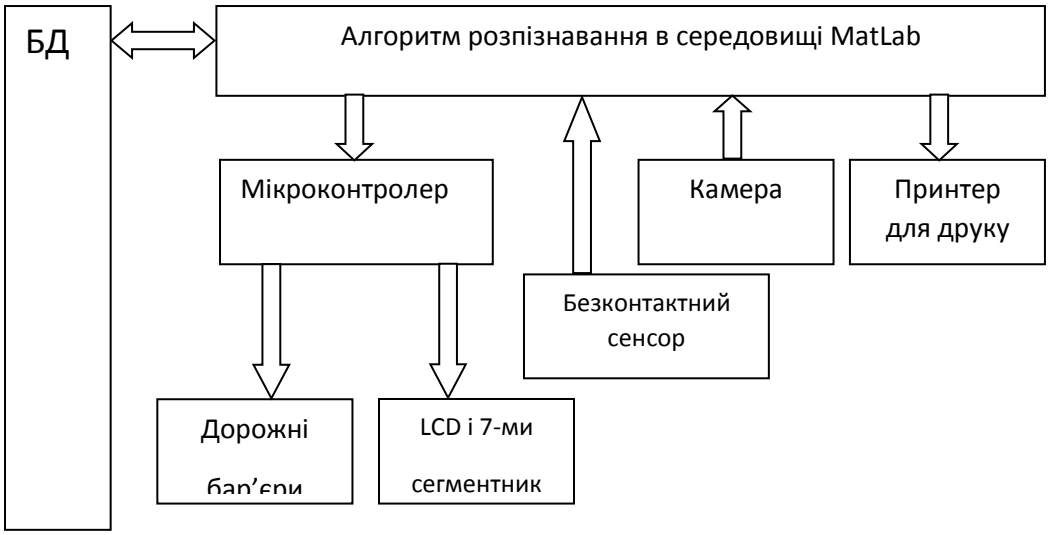



Рисунок 4. Структурна схема системи розпізнавання номерних знаків

Метод розпізнавання – еталонний. Для підрівнювання символів із збереженими символами вхідні зображення повинні бути однаковими за розміром із еталонними символами. У цій системі використовуються символи 50x30 пікселів. Коли сегментовані символи з номерного знаку та збережені

еталонні символи однакового розміру проводиться операція порівняння за допомогою кросової кореляції. Після чого визначається найкращий результат, тобто найбільше значення коефіцієнта кореляції між еталоном і вхідним зображенням.

Порівняння цих систем відображене в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння систем розпізнавання номерних знаків

| ***Системи*** / ***Х-ки*** | ***Система на основі камери Bosch*** | ***Vehicle Vision*** | ***VNR*** |
|---|---|---|---|
| ***Метод розпізнавання*** | OCR | Нейромережевий | Еталонний метод |
| ***Переваги*** | Розпізнавання в будь-яких умовах освітлення | Створення великої бази даних | Автоматизація процесу видачі штрафу |
| ***Недоліки*** | Спеціалізована і дорого вартісна камера | База даних потребує великої потужності ПК | Потрібна велика база еталонів |

## ВИСНОВОК

Системи, що використовують в своїй основі еталонні методи є досить простими в плані реалізації, але з іншої сторони, бази еталонів потребують великих програмних затрат. Схожим недоліком володіють системи на основі нейромережевих алгоритмів розпізнавання. Вони є складними в плані реалізації, потребують значні навчальну послідовність та час навчання і високих обчислювальних затрат

Провівши аналіз існуючих систем розпізнавання номерних знаків, можна зробити висновок, що вони є складними в плані програмної і апаратної реалізації, або потребують спеціалізованих інструментів, наприклад, спеціалізованої камери відео спостереження в системі на основі камери Bosch REG-X.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Система розпізнавання номерних знаків – Режим доступу: https://leater.com/en/services/car-number-plate-recognition-system-.html – 10.11.2018.

2. .Система розпізнавання номера автомобіля | Загальна кількість спеціалістів із технічного обслуговування Neetia – Режим доступу: http://e-nature.co.jp/product/vehicle/ – 30.03.2018.

3. Soomro S. R., Javed M. A., Memon F. A. – Система розпізнавання номера автомобіля для автоматичного збору мита / S. R. Soomro, M. A. Javed, F. A. Memon// IEEE, International Conference of Robotics and Artificial Intelligence, 2012. –125-129р.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Єременко В. С.***

**УДК 620.178.5.05**

*Р.Л. Піц, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., доц. Дубінець В.І.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРТАТИВНОГО ВІБРОСТЕНДА

***Анотація.*** В даній статті розглянуто представлені на ринку переносні вібростенди для повірки та калібрування промислових вібростендів. На основі аналізу їх характеристик сформовано задачу. Приведена схема портативного вібростенда на базі вітчизняного стенду.

***Ключові слова:*** портативний вібростенд, калібрування, повірка.

## ВСТУП

Основою сучасного виробництва електроенергії тепловими та атомними станціями виступають турбогенератори, які при роботі потребують вимірювання та контролю великої кількості параметрів, в тому числі і параметрів вібрації, з метою забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

Для вирішення подібних задач вимірювання або контролю рівня вібрації використовують п`єзоелектричні акселерометри та велосіметри промислового виконання [1].

При цьому актуальною задачею є перевірка метрологічних характеристик акселерометрів та велосіметрів безпосередньо перед встановленням їх на об’єкт вимірювання, з метою отримання достовірних даних для запобігання хибних аварійних зупинок машини.

Оперативну перевірку метрологічних параметрів датчиків, або їх калібрування (при використанні їх в складі вимірювальної системи) дозволяють виконати портативні калібратори-вібростенди (ПВС).

Розробці портативного широкосмугового вібростенда присвячена дана стаття.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На сучасному ринку переносних вібростендів представлено досить багато моделей, що різняться по технічним та масо-габаритним характеристикам. В таблиці 1 приведені основні параметри найбільш поширених портативних вібростендів.

Таблиця 1. Параметри найбільш поширених моделей вібростендів

| ***Модель*** | ***Виробник*** | ***Діапазон прискорень*** | ***Діапазон частот*** | ***Основна похибка*** | ***Маса повіряємого датчика*** |
|---|---|---|---|---|---|
| 28959F/FU | MEGGITT (Велика Британія) | до 10 g | 10 Гц…10 кГц | ±3% | до 750 г |
| DVC-500 | Технекон (Росія) | до 30 g | 2 Гц…15кГц | ±5% | до 6000 г |
| HI 803 | Hardy (США) | до 10 g | 10 Гц…10 кГц | ±5% | до 500 г |
| HI 813 | Hardy (США) | до 10 g | 25 Гц…10 кГц | ±5% | до 750 г |

Продовження таблиці 1

| ***Модель*** | ***Виробник*** | ***Діапазон прискорень*** | ***Діапазон частот*** | ***Основна похибка*** | ***Маса повіряємого датчика*** |
|---|---|---|---|---|---|
| ВСВ-131А | Промвитех (Україна) | 1-10 м/с2<br>1-7 м/с2<br>1-7 м/с2 | 45 Гц<br>64 Гц<br>79,6 Гц | ±2%<br>±3%<br>±3% | до 2000 г |
| 4295 | Bruel&Kjaer (Данія) | 0,3-20 м/с2 | 10-500 Гц | ±2% | до 70 г |
| 4295-002 | Bruel&Kjaer (Данія) | 0,3-20 м/с2 | 10-500 Гц | ±3% | до 200 г |

Аналіз таблиці 1 показує необхідність створення вітчизняного ПВС котрий має наступні технічні характеристики: діапазон відтворюваних частот 10 Гц…10 кГц, діапазон відтворюваних віброприскорень до 20 м/с2, дискретність встановлення віброприскорення 0,01 м/с2, дискретність встановлення частоти 0,1 Гц в діапазоні 10…100 Гц, 1 Гц в діапазоні 100 – 1000 Гц, 10 Гц в діапазоні1-10 кГц, основна похибка формування віброприскорення не більше 3% та незалежність встановленого значення віброприскорення від маси повіряємого датчика (масою не більше 1,5 кг).

Недоліком вітчизняного вібростенду ВСВ-131 як і деяких інших моделей переносних вібростендів, є відсутність системи автоматичного регулювання заданого рівня вібрації. Встановлення необхідних параметрів відбувається вручну по результатам виміряного рівня вібрації вбудованим вимірювальним каналом. Це призводить до невиправданого збільшення часу повірки датчиків-акселерометрів, та збільшенню впливу людського фактору.

## РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

На рис.1 приведена структурна схема модифікованого портативного вібростенда МП – мікропроцесор; ФСН – формувач синусоїдної напруги; ФНЧ – фільтр нижніх частот; КМП – керований масштабний перетворювач; ПП – підсилювач потужності; СП – схема порівняння; ПЗНП – перетворювач змінної напруги в постійну; КП – керований підсилювач.

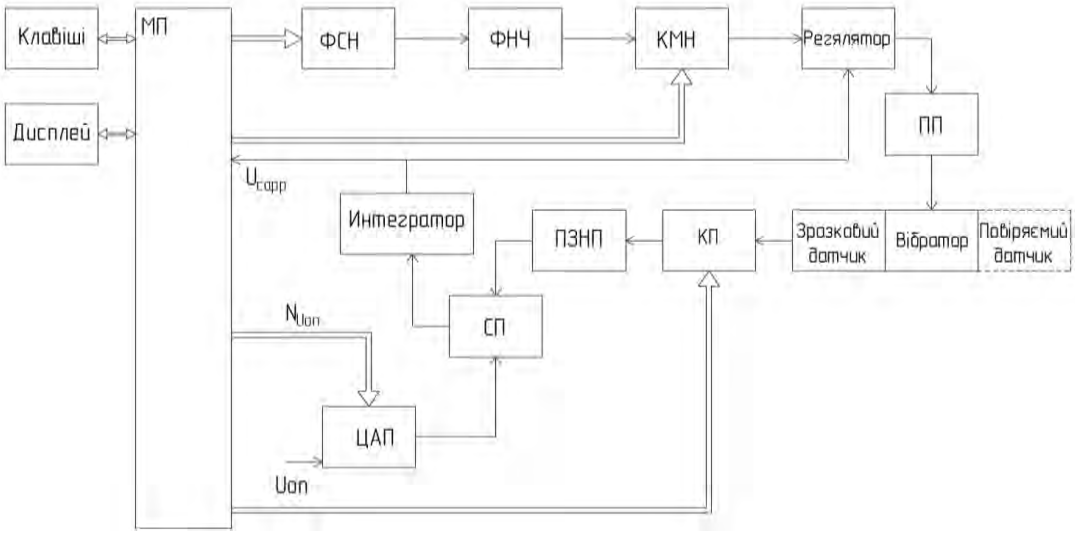



Рисунок 1. Структурна схема портативного вібростенду

Схема заснована на принципі автоматичного керування рівня (напруги) [2]. Сформована цифровим способом синусна напруга з блоку формування синусної напруги поступає на фільтр нижніх частот котрий усуває наявність високочастотних складових в даному сигналі, далі через керований масштабний перетворювач КМП на вхід регулятора, котрий під дією керуючого аналогового сигналу змінює рівень напруги на вході підсилювача потужності ПП до необхідного рівня [3]. Навантаженням ПП є електромеханічний вібратор, який перетворює електричний сигнал у механічні коливання робочої поверхні вібростенда до якої з внутрішньої сторони прикріплений зразковий датчик, а на зовнішній встановлюється повіряємий датчик.

ЗД під дією вібрації формує електричний сигнал у вигляді синусоїдальної напруги, який підсилюється КП, а потім перетворюється у постійну напругу блоком ПЗНП. Вихідний сигнал ПЗНП порівнюється з опорним схемою порівняння СП, яка формує сигнал неузгодженості. Цей сигнал поступає на інтегратор, який формує сигнал керування регулятором, який змінює рівень напруги на вході ПП до тих пір поки вихідний сигнал ПЗНП не зрівняється з опорним. Таким чином, в схемі реалізується автоматичний процес регулювання рівня вібрації, тобто наявна система автоматичного регулювання рівня (САРР).

САРР включає в себе блоки прямого ланцюга: ФСН, ФНЧ, КМП, регулятора, ПП, вібратора; блоки зворотного зв'язку, а саме – блоки вимірювального каналу, до якого входять зразковий датчик ЗД, керований підсилювач КП, блок ПЗНП; і блоки формування опорної напруги.

САРР представляє собою астатичну систему 1-го порядку, тому похибки блоків, що входять в прямий ланцюг не впливають на точність формування заданого віброприскорення [2].

Рівняння перетворення в першому наближенні можна записати у вигляді:

$$A = \frac{U_{ОН} K_{ЦАП}}{K_{ЗД} K_{П} K_{ПЗНП}} \quad (1)$$

де $A$ - значення вібпроприскорення;

$U_{ОН}$ - значення опорної напруги;

$K_{ЦАП}$ - коефіцієнт передачі ЦАП;

$K_{ЗД}$ - коефіцієнт перетворення зразкового датчика;

$K_{П}$ - коефіцієнт підсилення;

$K_{ПЗНП}$ - коефіцієнт перетворення змінної напруги в постійну.

На похибку встановленого значення віброприскорення будуть впливати похибки всіх блоків, параметри яких входять до формули (1), а також напруга зміщення інтегратора та схеми порівняння СП. Електронні компоненти вказаних блоків повинні бути високоточними та відрізнятися гарними температурною та часовою стабільністю параметрів [3].

Варто відмітити, що вібратор володіє значною нерівномірністю АЧХ, що пов'язано як з конструктивними особливостями, так і механічним кріпленням вібратора у корпусі вібростенду. Окрім того, при малих заданих рівнях віброприскорення вихідний сигнал ЗД малий. В зв'язку з цим в складі САРР

введені блоки УМП та УС. Керування коефіцієнтом передачі виконує МП. Весь діапазон відтворення значень віброприскорення розділений програмно та аппаратно на піддіапазони, які кратні 2.

Керування коефіцієнтом передачі УМП виконується МП по виміряному значенню напруги на виході САРУ. Діапазон зміни Uвих САРР программно обмежений нижньою та верхньою межею для стабільної роботи АРУ. Слідкування за значенням Uвих САРР виконується МП за допомогою вбудованого АЦП та при виході цього значення за вказаний діапазон виконується перемикання Кумп таким чином, щоб Uвих САРР повернулось в допустимий діапазон значень.

Відображення необхідної інформації про режими роботи ПВС відбувається на його ЖК-дисплеї. На дисплей також виводиться інформація про закінчення перехідних процесів в ПВС.

Експериментальні дослідження макета ПВС на базі вібратора ВСВ-131 повну відповідність отриманих даних до поставлених раніше вимог. При цьому встановлення робочого режиму макета вібростенда відбувається по аперіодичному закону. Час встановлення робочого режиму не перевищує 2 с.

## ВИСНОВОК

В результаті проведення проектно-конструкторських робіт було розроблено ПВС, що задовольняє всім поставленим задачам. Створено структурну схему, що дозволяє вирішити одну з важливих проблем яка полягає у точності швидкого встановлення робочого режиму вібрації давача вібрації.

## СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат,1991.-144 с.

2. Болников В.Е., Чинаев П.Н. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. Алгоритмы и программы. М.: Радио и связь, 1991. 256 с.

3. А. Дж. Пейтон, В. Волш. Аналоговая электроника на операционных усилителях — М.: БИНОМ, 1994 — 352 с.

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Дубінець В.І.***

**УДК 519.766.2**

*Р.С. Семенюк, аспірант, к.т.н., доцент, професор Яремчук Н.А.*
КПІ ім. І. Сікорського

# ПОБУДОВА ФУНКЦІЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ЛІНГВІСТИЧНОЇ ЗМІННОЇ З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

***Анотація.*** Проведено аналіз способів урахування невизначеності результатів вимірювання, що використовуються в системах з обчисленнями на основі нечіткої логіки. Невизначеність результатів вимірювання враховується або при встановленні функцій приналежності терм-множини лінгвістичної змінної, або при використанні операторів, що змінюють індекс нечіткості встановленої функції приналежності. В якості критерія адекватності ефекту від врахування невизначеності обрано індекс нечіткості підмножини або його збільшення від врахування невизначеності.

***Ключові слова:*** невизначеність вимірювання, функція приналежності, індекс нечіткості.

## ВСТУП ТА КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

В інтелектуальних вимірювальних системах результати вимірювання використовуються при нечітких обчисленнях. Для переходу від даних, поданих за метричними шкалами, до нечітких категоризованих даних формується шкала з нечіткою лінгвістичною зміною (ЛЗ). При встановленні шкали з нечіткою ЛЗ використовується семантичне правило, яке ставить у відповідність кожному елементу терм-множини $T = \{T_1, T_2, ..., T_n\}$ нечітку підмножину з області визначення вимірюваної величини. Семантичне правило може бути обчислювальною операцією, що встановлює функцію приналежності (ФП) або включати оператори, що змінюють індекс нечіткості встановленої ФП. Так як результати вимірювання супроводжуються невизначеністю, є необхідність в аналізі способів урахування невизначеності вимірювання при встановленні ФП терм-множини лінгвістичної змінної.

За думками спеціалістів, що працюють в області нечіткої логіки, найбільш уразливим для критики питанням в теорії нечітких множин є питання про методи побудови головної характеристики нечіткої множини – функції приналежності [1]. Основною складністю, що заважає інтенсивному застосуванню теорії нечітких множин при вирішенні практичних задач є те, що функція належності може бути задана без теоретичного обгрунтування і не може бути таким чином перевірена на адекватність засобами цієї теорії. В кожному відомому методі побудови функції приналежності формулюються свої вимоги і обгрунтування до вибору саме такої побудови [2]. Якщо для побудови шкали лінгвістичної змінної визначена кількість термів множини [3,4], то виникає питання про вибір форми функції приналежності за адекватністю індексу нечіткості і відносною розширеною невизначеністю вимірювання.

## РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДЕКСОМ НЕЧІТКОСТІ І НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ТРАПЕЦІЄПОДІБНОЇ ФУНКЦІЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ

Трапецієподібну ФП обрано як модель для дослідження тому що для її визначення потрібний малий об'єм даних, така форма ФП відрізняється простотою модифікації параметрів (модальних значень) ФП на основі вимірюваних значень вхідних і вихідних величин систем, для такої форми ФП

легко забезпечується виконання умови розбиття одиниці (у відповідності з якою сума ступенів приналежності для будь-якого елементу області визначення повинна дорівнювати 1) [5].

Зв'язок між індексом нечіткості $I$ і відносною розширеною невизначеністю $U_{відн} = \pm\delta$ розглянуто для першого терма множини «значення величини мале». Якщо границі терму задані чітко, наприклад, за встановленими нормами, тоді функція приналежності виначається як:

$$\mu_{T_1}(x) = \begin{cases} 1, якщо\, 0 \le x \le a \\ 0, якщо\, x > a \end{cases}$$

де $a$ - верхня границя терму $T_1$.

Якщо врахувати невизначеність вимірювання, то ФП стає нечіткою, а саме:

$$\mu_{T_1}(x) = \begin{cases} 1, якщо\, 0 \le x \le a(1-\delta) \\ \dfrac{a(1+\delta)-x}{2a\delta}, якщо\, a(1-\delta) \le x \le a(1+\delta) \\ 0, якщо\, x > a(1+\delta) \end{cases} \quad (1)$$

Лінійний індекс нечіткості неперервної множини з функцією приналежності $\mu_A(x)$ визначається за формулою [1]:

$$I_A^L = \frac{2}{b-a}\int_a^b |\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) - \mu_{\underset{\simeq}{A}}(x)|dx \quad (2)$$

де $\mu_{\underset{\simeq}{A}}(x)$ - звичайна множина, найближча до нечіткої.

У відповідності з (1) і (2) індекс нечіткості терма множини «значення величини мале» з урахуванням відносної невизначеності $\delta$ набуває вигляду:

$$I_A^L = \frac{2}{a(1+\delta)}[\int_0^a |\mu_{T_1}(x) - 1|dx + \int_a^{a(1+\delta)} |\mu_{T_1}(x)|dx] = \frac{\delta}{1+\delta} \quad (3)$$

Квадратичний індекс нечіткості (за Евклідовою відстанню) становить

$$I_A^E = \sqrt{\frac{2\delta}{3(1-\delta)}} \quad (4)$$

Отримані співвідношення (3) і (4) дозволяють обчислити відповідний внесок невизначеності вимірювання в індекс нечіткості трапецієподібної ФП і можуть служити мірою адекватності обраної ФП з урахуванням невизначеності вимірювання.Якщо вихідна терм-множина ЛЗ є нечіткою, то збільшення її нечіткості з урахуванням невизначеності вимірювання можна отримати з використанням операторів $DIL(A)$ (для неперервної множини) і оператора нечіткості $K$ (для дискретної множини) [1].

## УРАХУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ФУНКЦІЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ

При урахуванні невизначеності вимірювання індекс нечіткості або нечіткого числа (що є результатом вимірювання), або термів нечіткої ЛЗ (тобто шкали квазіпорядку) повинен збільшуватись. Для збільшення індекса нечіткості

неперервної множини може бути використаний оператор розтягування $DIL(A) = A^{1/N}$, де $N > 1$.

Говорять, за певних умов, що «$A^{1/N}$ більш нечітке, ніж $A$» [1]. При урахуванні невизначеності вимірювання обирають $N$ на основі адекватного збільшення індекса нечіткості від внеску невизначеності в загальний індекс нечіткості. Якщо індекс нечіткості ФП раніше встановленого терма ЛЗ значний, тоді при малій невизначеності вимірювання її внеском можна знехтувати. Критерієм служить співвідношення між індексом нечіткості ФП терма ЛЗ і його можливим збільшенням від урахування невизначеності вимірювання.

Якщо терм ЛЗ задано дискретною чіткою або нечіткою множиною, тоді для врахування внеску невизначеності можна використати оператор нечіткості $K$ [1]. Оператор нечіткості $K$ використовується для перетворення звичайних множин в нечіткі і для збільшення нечіткості нечітких множин. Для дискретної універсальної множини оператор представляють як матрицю, що взаємодіє з кожним елементом множини. Як приклад, для чотирьох членів множини оператор $K$ має вигляд:

$$K = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{vmatrix}$$

Взаємодія оператора $K$ з множиною $A$, що складається з чотирьох членів

$$A = \sum_{i=1}^{4} \mu_A(i) / i ,$$

де сума означає тільки формальний перелік,відображається наступним рівнянням [1]:

$$KA = \sum_{i=1}^{4} \sum_{j=1}^{4} (\mu_A(j) \cdot K_{ij}) / i ,$$

де друга сума – це об’єднання нечітких множин, в даному випадку за правилом логічної конорми.

Якщо вихідна нечітка множина, що відповідає терму ЛЗ становить

$$A = 1/a_1 + 0,66/a_2 + 0,33/a_3 + 0/a_4$$

з лінійним індексом $I_A^L = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n} | \mu_{\underline{A}}(x_i) - \mu_{\underline{\underline{A}}}(x_i) | = 0,33$, то після взаємодії з оператором нечіткості $K$, що дорівнює

$$K = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0,8 & 0 \end{vmatrix}$$

і означає «більше або менше» [1], отримаємо $KA = 1/a_1 + 0,9/a_2 + 0,59/a_3 + 0,26/a_4$ з індексом нечіткості $I_{KA}^L = 0,39$.

Таким чином, збільшення індексу нечіткості становить

$$I_{KA}^L - I_A^L = 0,06 .$$

З огляду на адекватність збільшення індексу нечіткості і значенням розширеної невизначеності, вплив якої враховується, за моделлю (1) отримуємо $\delta = 6,4\%$. Але спеціалісти з використання операторів нечіткої логіки застерігають щодо адекватності дій оператора нечіткості, тому що не завжди дія оператора $K$ на нечіткі множини приводить до збільшення її нечіткості. Тому завжди потрібна перевірка індексу нечіткості множин $A$ і $KA$.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто питання побудови функцій приналежності терм-множини лінгвістичної змінної з урахуванням невизначеності вимірювання при переході від даних, поданих за метричними шкалами, що є результатами вимірювання з невизначеністю, до нечітких категоризованих даних, які використовуються потім при нечітких обчисленнях, при вирішенні задач керування процесами, при об'єднанні різнорідних даних, тощо.

З використанням моделі трапецієподібної функції приналежності знайдено аналітичний зв'язок між індексом нечіткості функції приналежності і значенням відносної розширеної невизначеності, яке було враховано при побудові даної функції приналежності. Отримані співвідношення було використано як критерії адекватності при застосуванні різних операторів збільшення нечіткості з метою урахування можливого внеску невизначеності вимірювання при формуванні функцій приналежності терм-множини лінгвістичної змінної.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конышева Л.К., Незаров Д.М. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2011. – 192с.

2. И.Гудмэн. Нечеткие множества как классы эквивалентности случайных множеств. В книзі «Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. С англ./ Под ред. Р.Р.Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408с.

3. W.I.Tastle, M.I.Wierman. An information theoretic measure for the evaluation of ordinal scale data // Behavior Research Methods, 2006, 38(3), 487-494.

4. Семенюк Р.С. «Способы определения терм-множества лингвистической переменной с неопределенностью измерений». 15-й Міжнародний науково-технічний семінар «Неопределенность измерений: научные, нормативные и методические аспекты» UM-2018, Созополь 10 сентября 2018.

5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А.Пегат; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний. 2009. – 798с.

***Наук. керівник - к.т.н., доцент, професор Яремчук Н.А.***

**УДК 62.519**

*Д.Л. Сингх, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.*
КПИ им. Игоря Сикорского

# ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННОГО АЭРОМАЯТНИКА

***Анотация.*** Предложен методическое обеспечение тренажера для измерения динамических характеристик мехатронного аэромаятника, которое предполагает исследование его динамических и статистических параметров.

***Ключевые слова:*** динамические характеристики, диференциальное уравнение, статические характеристики, аэромаятник, учебный тренажер, дистанционное управление.

## ВСТУП

В настоящий момент использование тренажеров в учебном процессе позволяет повысить эффективность учебного процесса, за счет предварительной отработки навыков работы с системами управления.

Их эффективное применение в учебном процессе значительно уменьшает число ошибок, сокращает время на обучение, позволяет более адекватно оценить уровень полученных знаний и полученных навыков, увеличивает скорость манипуляций и индивидуализирует обучение [1]. Востребованность в тренажерах появилась из-за достаточно высокой стоимости оборудования, их недостаточным количеством, затратами на использование и сложности в эксплуатации реального оборудования.

## ОСМОТР ПРЕДЫДУЩИХ РАБОТ

Основой для построения тренажера для измерения динамических характеристик мехатронного аэромаятника есть макет, созданный Университетом Аризоны и описан в статье Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles With MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target [2].

Установка состоит из маленького электронного двигателя, подсоединенного к одному концу стержня. Двигатель вращает 2 пропеллера и приводит к раскачиванию стержень. Угловое положение измеряется потенциометром, прикрепленном к пилот-точке. Специально разработанная монтажная плата создает управляемый по напряжению входной сигнал, идущий к двигателю. Целевая плата находится под напряжением и связана с персональным компьютером через USB-порт с использованием виртуального RS-232 интерфейса. Простой модуль Matlab/Simulink создан для считывания угла поворота маятника и подачи сигнала управления на двигатель. Модуль основан на программном обеспечении Real-Time Windows Target, который позволяет получать выборку с частотой до 200 Гц.

Таким образом в функционировании установки важную роль выполняют следующие компоненты:[2]

- Персональный компьютер
- Программный продукт Matlab/Simulink Real-Time Windows Target
- Виртуальный RS-232 интерфейс

- Пластиковый стенд
- Монтажная плата (с микроконтроллером)
- Двигатель
- Двулопастный пропеллер
- Углеродный стержень
- Потенциометр

Целью предлагаемого тренажера является создание методического и программного обеспечения для использования макета аэромаятника для обеспечения изучения базовых понятий систем управления и метрологического обеспечения по специализации «Метрология и измерительная техника».

Целью работы с макетом является получение опыта нахождения статических и динамических параметров динамической системы путем проведения экспериментальных исследований и применения аналитических преобразований. При выполнении работы студенты обучаются находить статические параметры системы (коэффициент передачи, зона нечувствительности) и динамические характеристики, а также их параметра (передаточную функцию, коэффициент демпфирования, собственную частоту системы, время установления).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методическое обеспечение тренажера предполагает следующие исследования:

Исследование устойчивого состояния маятника.

Нелинейная динамическая модель маятника представляется выражением [3]:

$$mL^2\ddot{\theta} = -mgL\sin\theta - c\dot{\theta} + TL, \tag{1.1}$$

где $\theta$ - угол поворота стержня, $\dot{\theta}$ - первая производная от угла поворота стержня, $\ddot{\theta}$ - вторая производная от угла поворота стержня, $mg$ - вес двигателя, $L$ - длина маятника, $c$ - коэффициент трения, $T$ - сила тяжести маятника.

Результирующая сила тяги по модели является линейной функцией от прилагаемого напряжения $u$:

$$T = Ku, \tag{1.2}$$

Результирующая модифицированная модель имеет вид:

$$mL^2\ddot{\theta}(t) = -mgL\sin\theta(t) - c\dot{\theta}(t) + KLu(t), \tag{1.3}$$

Для исследования устойчивого положения состояния маятника необходимо задаться некоторым постоянным воздействием на систему $u_{ss} = const$ и постоянным значением угла отклонения стержня $\theta_{ss} = const$ и найти выражение для статического режима работы маятника.

2. Исследование параметров статической модели маятника

Статическая модель, полученная в предыдущем исследовании, связывает два параметра: напряжение, подаваемое на двигатель (управляющее воздействие) и угол отклонения аэромаятника (результирующая величина на выходе системы).

Для проведения исследования параметров статической модели нужно последовательно задавать входные значения желаемого угла и снимать с графика значения напряжения, подаваемого на двигатель, а также угол отклонения стержня маятника с графика макета.

При этом нужно учитывать следующие особенности:

Статическая функция аэромаятника имеет зону нечувствительности.

В виду наличия переходных процессов результат снимается с графика по истечению 60 сек.

В связи с этим рекомендуется экспериментальным путем найти предельное значение зоны нечувствительности. Для этого нужно изменять значение входного угла от 0 до некоторого значения с малым шагом до тех пор, пока появятся видимые изменения поведения маятника.

После этого необходимо исследовать весь диапазон возможных значений задаваемого угла (от 0 до 90) с шагом 5 градусов и заполнить таблицу вида:

Таблица 1.

| ***Задаваемый угол (задается в программной модели Matlab Simulink)*** | ***Управляющее воздействие (PWM Pulse), в битах*** | | ***Выходная величина объекта управления (Pendulum I/O) – угол, в градусах*** | ***sin выходной величины*** |
|---|---|---|---|---|
| | ***в битах*** | ***В Вольтах*** | | |
| 5 | | | | |
| 10 | | | | |
| 15 | | | | |
| … | | | | |
| 85 | | | | |
| 90 | | | | |

*Примечание*: Для расчета $\sin\theta$ необходимо учитывать, что угол результирующего отклонения отображается в градусах, поэтому при расчете $\sin\theta$ с использованием различных программных пакетов может возникнуть необходимость перехода в радианы.

Такой переход осуществляется следующим образом:

$$\theta[rad] = \theta[^0]\frac{\pi}{180^0},$$

где $\theta[^0]$ - выходная величина объекта управления в градусах;

$\theta[rad]$ - выходная величина объекта управления в радианах.

Управляющее воздействие (PWM Pulse) отображается в битах. Максимальное значение управляющего воздействия, получаемое макетом 127 бит, а минимальное – 127 бит. Учитывая тот факт, что целевая плата позволяет

генерировать напряжение в диапазоне от 5В до -5 В, то управляющее воздействие в Вольтах рассчитывается:

$$u[bit] = u[V]\frac{5}{127}.$$

3. Исследование параметров переходной характеристики аэромаятника в динамическом режиме

Необходимо выразить собственную частоту колебаний маятника $\omega_n^2$ и коэффициент демпфирования $\varsigma$.

$$\omega_n^2 = \frac{K}{mL} \quad \text{и} \quad 2\varsigma\omega_n = \frac{c}{mL^2}.$$

Для нахождения частоты собственных колебаний нужно установить задаваемый угол на уровне 90 градусов и зафиксировать изменение результирующего угла с помощью макета и программы **AeropendulumSOFT.mdl**.[4]

## ВЫВОДЫ

Разработанное методическое обеспечение позваляет использовать недорогую экспериментальную установку для решения учебных задач в рамках дисциплин системи автоматичекого управления и метрологическое обеспечение средств измерительной техники специализации «Метрология и измерительная техника»

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерактивные тренажеры и их значение в учебном процессе . — Режим доступа:https://novainfo.ru/article/4403 — 10.02.2016

2. Advanced Micro and Nano Systems Laboratory, Department of Aerospace and Mechanical Engineeringo University of Arizona . — Режим доступа:https://www.researchgate.net/publication/260587270

3. Eniko T. Enikov, Member IEEE, and Giampiero Campa, Member, IEEE/ Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles WithMATLAB/SimulinkReal-TimeWindowsTarget

4. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления. 2016 г.

***Науч. руководитель – к.т.н., доц. Шведова В.В.***

**УДК 681.2.008**

*Д.М.Чапаєв, студент гр. ПІ-71мп, д.т.н., проф. Гераїмчук М.Д.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# РОЗРОБКА ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІЗ ТЕРМОКОМПЕНСАЦІЄЮ

***Анотація.*** В даній роботі розглядається питання проектування тензометричного перетворювача для вимірювання навантаження з термокомпенсацією. Дані перетворювачі використовуються для вимірювання ваги в екстремальних умовах. Проведено дослідження та вибір чутливого елемента тензометричної системи вимірювання інформації а також запропонована система компенсації температурних похибок. Для компенсації температурних похибок використовуються терморезистори, які поєднуються із класичною мостовою схемою тензометричного перетворювача навантаження.

***Ключові слова:*** ваговимірювальний перетворювач, вимірювання ваги, похибка ваг.

## ВСТУП

Аналіз та огляд відомих рішень вказав, що даними питаннями займаються наступні фірми: Keli Sensing Technology, Веда, Техно Ваги, SmS Sensor, Mettler Toledo, Zemic та ін.

В якості чутливого елемента для даного діапазону вимірювання навантажень використовують чутливий елемент стискування. Для контролю та аналізу його деформацій використовується система тензорезисторів. Однак в даних системах не передбачена система компенсації температурних похибок.

В літературі розглянуто питання моделювання даних перетворювачів, однак в цих роботах приведені дані для обмеженого матеріалу, які лише частково задовольняють технічні умови за певними показниками точності/стабільності показань.

Компенсація температурних похибок реалізується використанням мостової схеми із терморезисторами, яка живиться від мережі постійного струму або від літій-іонних акумуляторів. Сигнал з мостової схеми поступає на мікропроцесорний перетворювач в якому за розробленим алгоритмом корегується вихідний сигнал.

В якості елементів живлення використовують акумулятори, які мають обмежений ресурс роботи, тому в даній роботі запропоновано дослідження і розробка перетворювачів навантаження, виготовлених з нового виду матеріалу, який володіє підвищеними метрологічними характеристиками.

Принцип дії розроблюваного перетворювача навантаження може бути представлений у вигляді наступної структурної схеми на рис. 1.

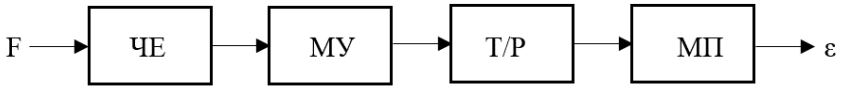



Рисунок 1. Структурна схема тензометричного перетворювача

В якості чутливого елемента(ЧЕ) вибрана форма стискання виготовлена з спеціальними площадками для наклеювання тензорезисторів. А також з протилежної сторони площадки для наклеювання терморезисторів (Т/Р). Аналіз тензорезисторів показав, що для даних перетворювачів найкраще підходять тензорезистори на фольговій підкладці типу ВВ(ВАВ)[1], що випускає фірма

Zemic, які мають наступні технічні та метрологічні параметри. Дані технічних та метрологічних характеристик приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики тензорезисторів серіі BB (BAB) 250°C

| *№ п/п* | *Номінальний опір* | *Коефіцієнт точності* | *Дисперсія коеф. точності* | *Межа деформації* | *Діапазон робочих температур* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 120, 350 | 1.86 ~ 1.98 | ≤ ± 1% | 1.5% | -269 ~ +250°C |

В якості елемента, з допомогою якого буде реалізована компенсація температурної похибки було обрано терморезистор типу ТРА-1, ТРА-2[2] на основі напівпровідникового алмаза. В табл.2 представлені їх характеристики.

Таблиця 2. Характеристики терморезисторів типу ТРА-1, ТРА-2

| *№ п/п* | *Параметр* | *При* | *Розмірність* | *Величина* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *ТРА-1* | *ТРА-2* |
| 1 | Номінальний опір | 25°C | кОм | 0,01 - 10000 | |
| 2 | Коефіцієнт температурної чутливості | -200…+300°C | К | 300…2500 | 600…6000 |
| 3 | Температурний коефіцієнт опору | 25°C | %/град | -0,2…-2,3 | -0,5…-0,6 |
| 4 | Максимальна розсіювана потужність | - | мВт | 500 | |
| 5 | Діапазон робочих температур | - | °C | -200…+330 | |
| 6 | Стала часу | - | сек | 1…5 | |
| 7 | Пікове прискорення багатократного механічного удару | - | g | 150 | |
| 8 | Підвищений атмосферний тиск | - | Па/кг*см2 | 297200/3 | |
| 9 | Атмосферні конденсовані опади | - | | іній,роса | |

Для живлення мостових схем можливо використовувати як живлення від мережі постійного або змінного струму так і портативні акумулятори. Аналіз даних джерел показав що найбільш підходящими є літій-іонні акумулятори, які мають термін роботи до 8 років, а також можуть використовуватися альтернативні джерела енергії, які можуть використовуватися для спеціальних систем, які працюють при високих температурах чи вібрації, мають доступ до сонячного випромінювання, такі як вмонтовані сонячні батареї, тощо. Для об’єднання декількох тензометричних датчиків у ваговимірювальну систему і підвищення точності показань датчиків пропонується скористатися з’єднувальною коробкою. Для обробки вихідних сигналів пропонується використовувати ваговий термінал типу WE 2110[3], який володіє наступними параметрами, наведеними в таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики вагового терміналу WE2110

| ***№ п/п*** | ***Параметр*** | | ***Одиниці вимірювання*** | ***Значення*** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Клас точності | | | 0,015 |
| 2 | Кількість повірочних інтервалів по OIML R76 (клас III, IV) | | | 6000; мультидіап./мультиінт. 2x3000 |
| 3 | Чутливість входу | | мкВ/е | ≥ 0,2 (³1 OIML) |
| 4 | Вимірювальний діапазон | | мВ/В | 0…3 |
| 5 | Діапазон корекції нуля | | мВ/В | ±2 |
| 6 | Одиниці виміру | | | кг, г, т, фунт |
| 7 | Максимальна кількість датчиків | | | 8x350 Ом |
| 8 | Напруга живлення датчиків | | В | 8 |
| 9 | Схема підключення датчиків | | | 6-/4-провідна |
| 10 | Лінеаризація | | | 5 точок |
| 11 | Цифровий фільтр нижніх частот | | | 1/1…1/200; ковзаюче середнє |
| 12 | Інтерфейс | | | Дуплекс RS-232, RS-485 (4-провід.) |
| 13 | Живлення | Змінний струм | В | 110…240 (50…60 Гц) |
| | | Постійний струм | В | 12…24 |
| 14 | Макс. потужність споживння | | ВА | 10 |
| 15 | Робочий діапазон температур | | | -10…+60 |
| 16 | Клас захисту по IEC 529 | | | IP40 |
| 17 | Напруга живлення (зовнішнє джерело) | | В | 12…28 |
| 18 | Макс. напруга | | В | 50 |
| 19 | Макс. струм | | мА | 300 |
| 20 | Опір навантаження –10…+10В | | Ом | >2000 |
| 21 | Опір навантаження 4…20 мА | | Ом | <500 |

Таким чином, на основі проведеного аналізу, запропоновано вид тензорезисторного перетворювача навантаження, який дозволяє проводити вимірювання маси рухомих об’єктів з підвищеними метрологічними параметрами в нестандартних температурних умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zemic Strain Gauge Catalogue (Калібрувальний каталог Zemic) [Електронний ресурс] – режим доступу: https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/Straingagescatalogue.pdf

2. Терморезисторы. Справочная таблица [Електронний ресурс] – режим доступу: http://www.electrosad.ru/Electronics/termSpr.htm – 2012

3. Operating manual. Digital weighing indicator WE2110 (Інструкція з експлуатації. Цифровий ваговий термінал WE2110) [Електронний ресурс] – режим доступу: http://www.celiss.com/products/files20161211719351073421 89.pdf

***Наук. керівник: д. т. н. , проф. Гераїмчук М.Д.***

**УДК 004.891:004.946:681.518.5**

*Б.Н. Шуба, студент гр. ВВ-81мп*
КПИ им. Игоря Сикорского

# ВИРТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МОНОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

***Аннотация.*** Разработка виртуального инструмента, который позволяет создавать сигнал в спектральном базисе Хартли.

***Ключевые слова:*** LabVIEW, моделирование, преобразование Хартли, спектр.

## ВСТУП

Для моноимпульсного сигнала тригонометрическое преобразование Фурье не является оптимальным потому, что преобразует действительный сигнал в комплексный спектр. Если для гармонических колебаний комплексный спектр имеет физическую интерпретацию – это спектр амплитуд гармоник исходного колебания и мнимую часть – это фаза этих гармоник, то для моноимпульсного сигнала такой интерпретации не существует. Поэтому использование тригонометрического базиса Фурье для исследования базиса моноимпульсного сигнала является нецелесообразным. Как альтернативу тригонометрическому базису Фурье было решено использовать базис Хартли.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Преобразование Хартли — интегральное преобразование, тесно связанное с преобразованием Фурье, но в отличие от последнего трансформирует одни вещественные функции в другие вещественные же функции. Преобразование было предложено в качестве альтернативы преобразованию Фурье Р. Хартли в 1942 году. Преобразование Хартли является одним из многих известных типов преобразований Фурье. Преобразование Хартли может быть и обратным.

Обращение к преобразованию Хартли было обусловлено ситуацией, сложившейся в ряде методов обработки информации, использующих вещественные последовательности данных (одномерных, двумерных, трехмерных), обработку которых желательно осуществлять в области вещественных чисел с помощью взаимно симметричных прямого и обратного преобразований [1].

Дискретный вариант преобразования Хартли был представлен Рональдом Брейсуэллом в 1983 году.

Преобразование Хартли $H(\omega)$ рассчитывается по формуле

$$H(\omega) = \{Hf\}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\,\mathrm{cas}(\omega t)dt, \qquad (1)$$

где $cas(\mathrm{t})$ – ядро Хартли,

$$\mathrm{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t) = \sqrt{2}\sin(t + \frac{\pi}{4}) = \sqrt{2}\cos(t - \frac{\pi}{4}). \qquad (2)$$

Обратное преобразование получается по принципу инволюции:

$$f = \{H\{Hf\}\}. \tag{3}$$

## РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Виртуальный инструмент разработан в среде визуального программирования LabVIEW 13. Это один из качественных и надежных программных компонентов, разработанный компанией National Instruments.

Виртуальные приборы состоят из двух основных частей:

- передняя панель является интерактивным пользовательским интерфейсом;

- блок-диаграмма является исходным кодом прибора, созданным на языке графического программирования LabVIEW-G. Блок-диаграмма представляет собой реально исполняемый приложение [2].

Объекты на передней панели представлены на блок-диаграмме в виде соответствующих терминалов (terminals), через которые данные могут поступать от пользователя в программу и обратно [3].

Разработанная программа имеет пользовательский интерфейс, состоящий из осциллограмм, на которых выводятся заданные сигналы и их спектры, интерактивных средств для задания необходимых параметров сигнала и окна для вывода обработанной информации (смотри рис.1).

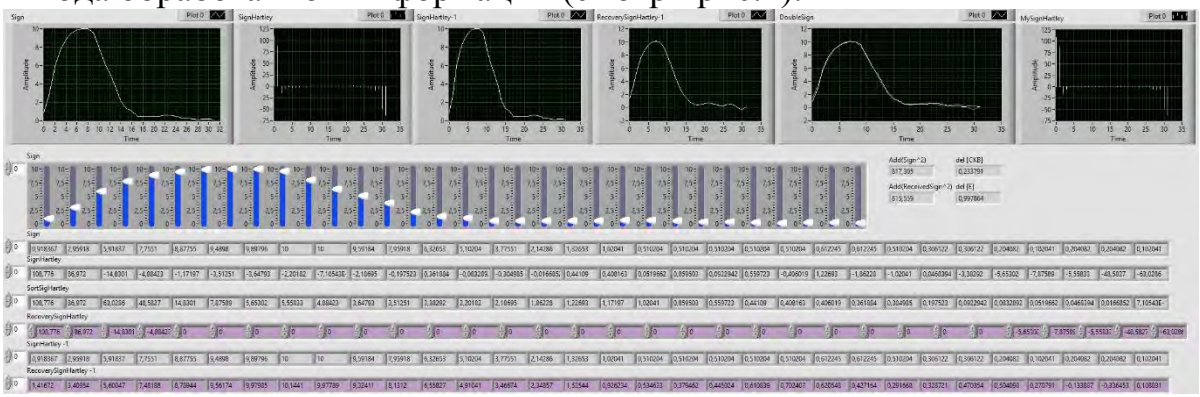


Рисунок 1. Интерфейс пользователя

После задания исходного сигнала, происходит вывод его осциллограммы, а также спектральных составляющих в базисе Хартли (смотри рис.2).

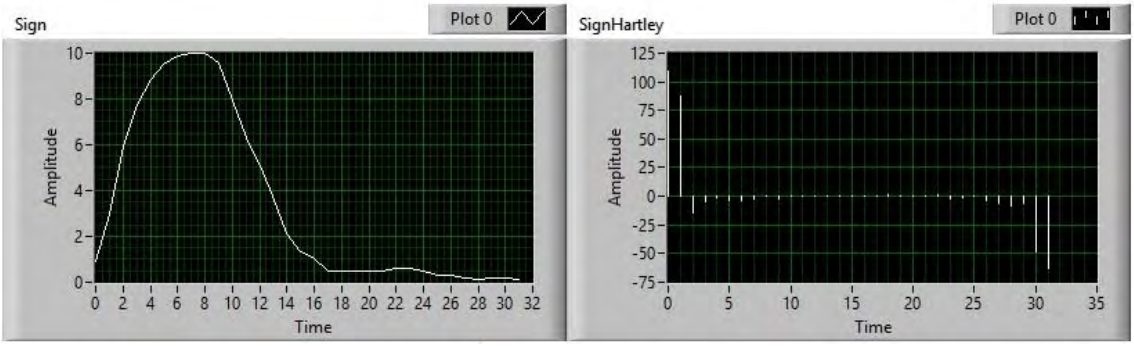



Рисунок 2. Исходный сигнал (с лево) и его спектр в базисе Хартли (с право)

Для исследования восстановления сигнала по спектральным составляющим в базисе Хартли, в программной среде проводим расчет удельного значения энергии каждой составляющей спектра по формуле

$$E_{гр}^{уд} = \frac{x_i^2}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Проводится сортировка по величине удельной энергии спектральной составляющей.

Проводится восстановление сигнала с помощью обратного преобразования Хартли, устанавливая спектральные составляющие в порядке их величины. После каждой введённой составляющей рассчитываем приращение удельной энергии сигнала и качество оценивания по СКО (табл. 2)

$$\delta_{СКО} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{исх} - x_{вост})^2}, \quad (5)$$

$$\Delta_E = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_{вост}^2}{\sum_{i=1}^{n} x_{исх}^2} \quad (6)$$

Таблица 1.

| ***№ спектральной составляющей*** | ***Удельная энергия спектральной составляющей*** | ***Среднеквадратическая погрешность*** | ***Приращение удельной энергии сигнала*** |
|---|---|---|---|
| 1 | 45,24079 | 21,1554 | 0,45240 |
| 2 | 28,92164 | 14,5318 | 0,741627 |
| 32 | 15,18936 | 9,32892 | 0,893521 |
| 31 | 9,024587 | 3,64279 | 0,983768 |
| 3 | 0,840915 | 2,52925 | 0,992177 |
| 29 | 0,237172 | 2,11155 | 0,994548 |
| 28 | 0,122187 | 1,86011 | 0,99577 |
| 30 | 0,118128 | 1,57941 | 0,996952 |
| 4 | 0,091213 | 1,32252 | 0,997864 |
| 7 | 0,050881 | 1,15464 | 0,998373 |
| 6 | 0,047174 | 0,973472 | 0,998844 |
| 27 | 0,043757 | 0,768127 | 0,999282 |
| 8 | 0,018536 | 0,662208 | 0,999467 |

На рисунке 3 изображён график зависимости $\Delta_E$ от $\delta_{СКО}$ (смотри рис.3).

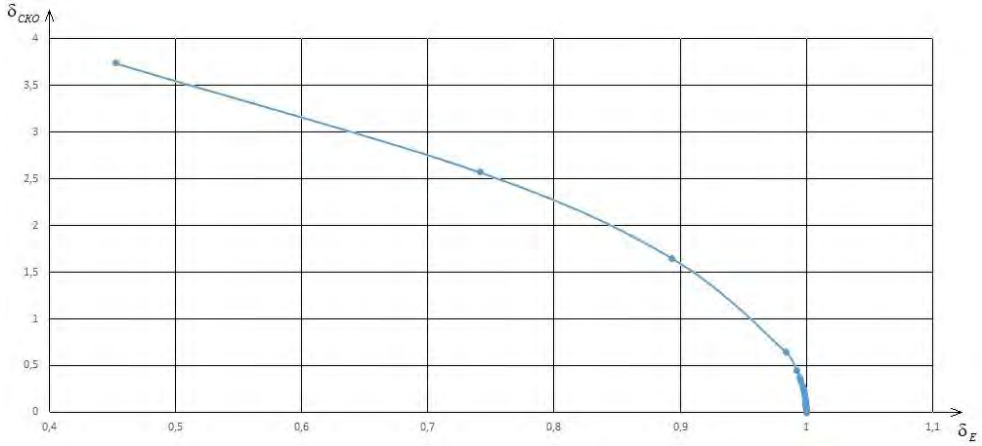



Рисунок 3. График зависимости $\delta_{СКО}$ от $\Delta_E$

Проведя анализ зависимости, что для достаточно точного восстановления сигнала можно использовать шесть энергетически наибольших спектральных составляющих.

На рисунке 4 приведены примеры восстановления сигнала по четырех спектральных составляющих и по шести. Белым цветом выделен исходный сигнал, красным – восстановленный.

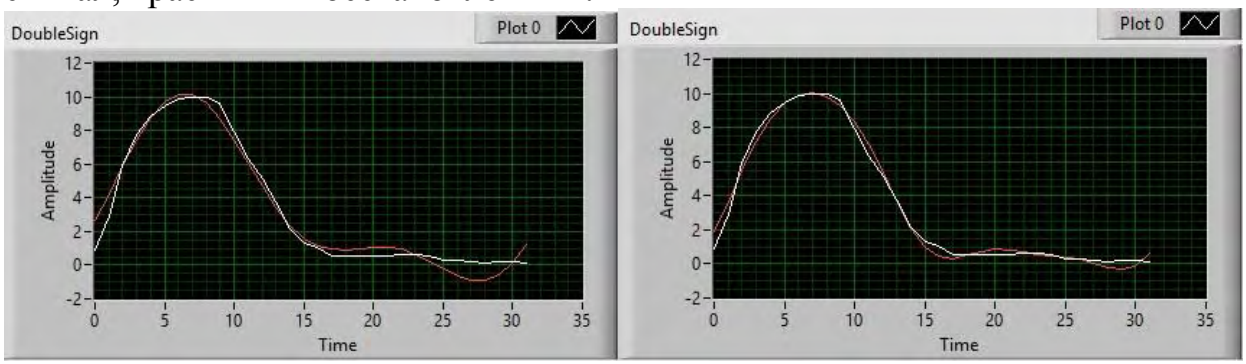



Рисунок 4. Сигнал, восстановленный по 4 спектральных составляющих (с лево) и по 6 спектральных составляющих (с право)

## ВЫВОДЫ

Проведено исследование возможности спектрального анализа моноимпульсного сигнала в базисе преобразования Хартли. Был разработан программный инструмент, позволяющий произвести моделирование моноимпульсного сигнала по базису Хартли. В отличие от преобразований Фурье, преобразование Хартли использует вещественные функции.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения / Р. Брейсуэлл; пер. з англ. А. И. Папкова. — М.: Мир, 1990. – 175с.
2. Свиридов, Е. В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW / Е.В.Свиридов, Я.И.Листратов, Н.А.Виноградова. — М.: МЭИ, 2005. – 50 с.
3. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. / под ред. В. К. Батоврина. 2-е изд, переработ. и доп. — М.: Д М К Пресс. - 232 с.

***Научный руководитель – д.т.н., проф. Еременко В.С.***

**УДК 681.142**

*О. Ю. Года, к.т.н., ст. викладач, проф., Н.А. Яремчук, к.т.н., доц.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# СПОСОБИ ОТРИМАННЯ СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИБІРКОВОЇ МЕДІАНИ

***Анотація.*** В статті наведено результати аналізу способів розрахунку стандартної невизначеності вибіркової медіани як характеристики центру вибірки при багаторазових вимірюваннях ординальних властивостей. Стандартна невизначеність розраховується за розширеною невизначеністю, яку знаходять за номерами порядкових статистик, що відповідають певному рівню довіри. При розрахунках використовуються вкладений інтервал нечіткої множини і рівневі множини.

***Ключові слова:*** вибіркова медіана, стандартна невизначеність.

## ВСТУП І КОРОТКИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

При опрацюванні багаторазових вимірювань обирають ефективну оцінку результату вимірювання згідно розподілу вибірки, і цією оцінкою для класу експоненціальних розподілів є вибіркова медіана, що визначається за впорядкованою вибіркою об'єму $n$.

Крім того медіана є робастною оцінкою, тобто стійкою до аномальних результатів і викидів, і її обирають, якщо бажано використати такі оцінки, що мало залежать від порушень прийнятих моделей вхідних сигналів. Оскільки медіана є непараметричною оцінкою, її застосовують в якості результату при багаторазових вимірюваннях ординальних величин, при опрацюванні яких не використовуються алгебраїчні операції.

За літературними джерелами існують наступні способи для розрахунку розширеної невизначеності медіани. Так при $n \geq 10$, за [1], довірчий інтервал, що характеризує точність визначення медіани за довірчою ймовірністю $P$, становить $(x_U, x_V)$, де U – найбільше ціле число, що менше за $(n+1-z_p\sqrt{n})/2$, V – найменше ціле число, що більше за $(n+1+z_p\sqrt{n})/2$, де $z_p$ - квантиль стандартного гаусівського розподілу.

За умов нормальності розподілу вибірки і при великому об'ємі вибірки $n$ дисперсію медіани можна обчислити за співвідношенням [2]:

$$D(med) = \pi\sigma^2/(2n), \tag{1}$$

де $\sigma^2$ – дисперсія середнього арифметичного вибірки.

Отже за умов нормальності розподілу оцінку дисперсії можна отримати лише за параметричною оцінкою дисперсії середнього арифметичного. Тому формула (1) непридатна для визначення дисперсії медіани по-перше при невідомому розподілі вибірки, а по-друге – при опрацюванні результатів вимірювання ординальних величин, де використовуються оцінки, засновані на порядкових статистиках.

Для розрахунку розширеної невизначеності медіани при об'ємі вибірки $n<10$ може бути використана неповна $\beta$–функція $I_\gamma$ [2], за якою співвідношення для вільного від розподілу толерантного інтервалу $(x_r, x_s)$ включає п'ять величин: $\gamma$ - мінімальна доля $F(x)$, що входить до покривного інтервалу; $\beta$ - покривна ймовірність; $n$ - об'єм вибірки; $r, s$ - положення

порядкових статистик в вибірці, які обирають симетрично, так що $s = n - r + 1$.

$$P\{F(x_s) - F(x_r) \geq \gamma\} = 1 - I_\gamma(s - r, n - s + r + 1) = \beta. \qquad (2)$$

Якщо $r = 1$, так що використовуються крайні члени вибірки, (2) приймає вигляд: $I_\gamma(n-1;2) = 1 - \beta$, що визначає ймовірність $\beta$, за якою розмах вибірки з $n$ результатів вимірювань покриває долю $\gamma$ розподілу, з якого отримана вибірка. Таблиці для розрахунку розширеної невизначеності медіани з використанням (2) для $n$ від 2 до 10 наведено в роботі [3].

Але, якщо статистична похибка медіани об'єднується з іншими складовими невизначеності, то для отримання сумарної (комбінованої) стандартної невизначеності необхідно розробити перехід від розширеної до стандартної невизначеності медіани. Вирішенню цієї проблеми присвячено аналіз, наведений у наступному розділі.

## АНАЛІЗ ПІДХОДІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ ОБЧИСЛЕННІ СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ МЕДІАНИ ЗА ЇЇ РОЗШИРЕНОЮ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ

Перший підхід полягає в використанні вкладеного інтервалу нечіткої змінної [4] за яким:

$$\sigma(med) = \Delta_p / \sqrt{-2\ln(1-P)}, \qquad (3)$$

де $\Delta_p$ – границя вкладеного інтервалу, ймовірність знаходження в якому $P$.

Для застосування формули (3) попередньо визначаються ймовірності знаходження медіани в границях, встановлених за номерами порядкових статистик (2). Так, наприклад, для $n = 7$ з застосуванням таблиць [3] отримуємо:

$$P(x_1 \leq med \leq x_7) = 0.98, \; P(x_2 \leq med \leq x_6) = 0.86, \; P(x_3 \leq med \leq x_5) = 0.42.$$

Якщо використати, наприклад, ці інтервали для ранжованого ряду $x = \{11,\ 12,\ 13,\ 14,\ 15,\ 16,\ 17\}$ з медіаною $med = 14$, отримаємо $\sigma_1(med) = 1.03$; $\sigma_2(med) = 1.01$; $\sigma_3(med) = 0.96$. Отримані результати свідчать про хорошу збіжність значень СКВ.

Але якщо в вибірці мають місце значення, що повторюються, може виникнути неоднозначність при обчисленні СКВ. Тобто може створитись ситуація, що різним номерам порядкових статистик відповідають однакові значення, а однаковим інтервалам відповідають різні ймовірності.

Тому другий підхід полягає в поданні довірчих інтервалів вибіркової медіани як множини $\alpha$–рівнів, де $\alpha = 1 - P$ [5] і в горизонтальній побудові нечіткої множини [6,7], що представляє функцію приналежності з використанням об'єднання множин $\alpha$–рівнів. Тобто вирішується задача відновлення функцій приналежності нечіткої множини за множиною $\alpha$–рівнів.

Записуємо усі множини $\alpha$–рівня, а потім об'єднуємо відповідні їм нечіткі множини. Вибірка з повтореннями: $x = \{11,\ 11,\ 12,\ 13,\ 13,\ 14,\ 14\}$

$$\alpha_1 A_{\alpha_1 = 0,02} = \{0.02|11;\ 0.02|11;\ 0.02|12;\ 0.02|13;\ 0.02|14;\ 0.02|14;\ \},$$

$$\alpha_2 A_{\alpha_2 = 0,14} = \{0.14|11;\ 0.14|12;\ 0.14|13;\ 0.14|13;\ 0.14|14\},$$

$\alpha_3 A_{\alpha_3=0,58} = \{0.58|12;\ 0.58|13;\ 0.58|13\}$.

Об'єднуємо результати з використанням оператора логічна сума:
$(0,02 \cup 0,14)|11;\ (0,02 \cup 0,14 \cup 0.58)|12;\ (0,02 \cup 0,14 \cup 0.58)|13;\ (0,02 \cup 0,14)|14 =$
$= 0.14|11;\ 0.58|12;\ 0.58|13;\ 0.14|14.$

З урахуванням правила розбиття одиниці отримуємо :
$0.097|11;\ 0.403|12;\ 0.403|13;\ 0.097|14.$

За отриманою функцією приналежності визначаємо вкладений інтервал і стандартну невизначеність.

## ВИСНОВОК

При багаторазових вимірюваннях ординальних властивостей в якості центру вибірки використовують вибіркову медіану. Розширену невизначеність медіани можна знайти за номерами порядкових статистик, що відповідають певному рівню довіри. Але, якщо похибку медіани об'єднують з іншими складовими невизначеності (наприклад, інструментальними), то виникає необхідність в розрахунку стандартної невизначеності медіани.

Для цієї мети в роботі обрано спосіб з використанням вкладеного інтервалу. Але при використанні цього способу може виниками неоднозначність в виборі інтервалу за певної ймовірності при наявності в вибірці результатів вимірювання, що повторюються. У цьому випадку задачу можна вирішити з використанням горизонтальної побудови функції приналежності нечіткої множини за множинами $\alpha$ -рівня.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яремчук Н.А. Анализ способов получения стандартной неопределенности выборочной медианы Грановський В.А., Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановський, Т.Н. Сирая – Л.: Энергоиздат, 1990. – 288с.

2. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стьюарт Редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973.- 899с.

3. Яремчук Н.А. Оцінювання комплексного показника якості складного об'єкта з характеристикою невизначеності / Н.А. Яремчук, О.Ю. Года, В.В. Проскін // Український метрологічний журнал. -2018.-№2. – с.9-17

4. Солопченко Г.Н. Представление измеряемых величин и погрешностей измерений как нечетких переменных / Г.Н. Солопченко // Измерительная техника.- 2007. - №2. - С. 3-7.

5. Яремчук Н.А. Анализ способов получения стандартной неопределенности выборочной медианы / Н.А. Яремчук, О.Ю. Года, А.Ю. Скрипий // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2018): матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції, 9-11 жовтня. – Харків, 2018. – с. 45-46.

6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат : пер. С англ. –М.: Бином. Лаборатория знаний . – 2009. – 798с.

7. Конышева Л.К. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие / Л.К. Конышева, Д.М. Назаров . – Спб.: Питер.- 2011. – 192с.

***Наук. керівник – к.т.н., доц., проф. Яремчук Н.А.***

# Секція 11.
# Автоматизація експериментальних досліджень

**УДК 004.02**

*Д.А. Бурлака, студентка гр. ВМ-61-2, С.М. Курсін, к.т.н.,*
*М.П.Коваленко, студент гр. ВМ-61-2, М.В. Добролюбова, к.т.н., доц.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ДП «Укрметртестстандарт»

# АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПОВІРОЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИСТЕМ ОБЛІКУ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМІЦІЇЇ ТА ВІМІРЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ТЕЛЕФОННИХ РОЗМОВ

***Анотація.*** Дана стаття присвячена розробці автаматизованого повірочного комплексу для законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки в області мобільного зв'язку, які підлягають оцінці відповідності та періодичній повірці, а саме: систем обліку кількості інформації та систем вимірювання тривалості телефонніх розмов.

***Ключові слова:*** телекомунікації, система вимірювання, кількість інформації, тривалість телефонних розмов, повірка.

## ВСТУП

Одні із головних та актуальних напрямків соціально-економічного розвитку держави – це розвиток галузі зв'язку і впровадження провідних сучасних технологій у створення і вдосконалення засобів телекомунікацій. Розвиток інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури надає можливість для створення кращих умов та підвищення якості життя людини за рахунок доступу до національних та світових інформаційних ресурсів. Це забезпечує кращу конкурентоспроможність економіки та інтеграцію України у глобальне інформаційне суспільство. В першу чергу оператори зв'язку впроваджують нові можливості та підвищують їх якість на сучасному ринку телекомунікаційних послуг, де це набуло небувалого попиту. Компанія «A.T. Kearney» у ході досліджень висунула вимоги до забезпечення якості послуг фіксованого телефонного зв'язку, універсальних послуг, послуг мобільного зв'язку та доступу до Інтернету [1] у більшості країн. Таким чином, створення повірочних комплексів для системи вимірювання тривалості телефонних розмов (СВТТР) та системи обліку кількості інформації (СОКІ), які є законодавчо регульованими засобами вимірювальної техніки, відповідно до постанов Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» та «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки», – це актуальне завдання [2, 3], яке забезпечує оцінку відповідності та повірку обміну інформацією.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На сьогоднішній день повірочні комплекси для СОКІ та СВТТР, зазвичай, працюють в ручному або напівавтоматичному режимах. Автоматизовані ж комплекси мають надлишковий функціонал та достатньо високу вартість, а також у більшості своїй розробляються лише за кордоном. Тому під час досліджень було прийнято рішення створити автоматизований повірочний комплекс для СОКІ та СВТТР на базі плати Arduino Mega 2560 [4]; GSM/GPRS модуля компанії SIMCom Wireless Solutions серії SIM800L [5] та GSM/GPRS

Shield серії SIM900 [6] (Рис. 1), які є аналогами мобільних телефонів/модемів, і персонального комп'ютера (ПК) [7].

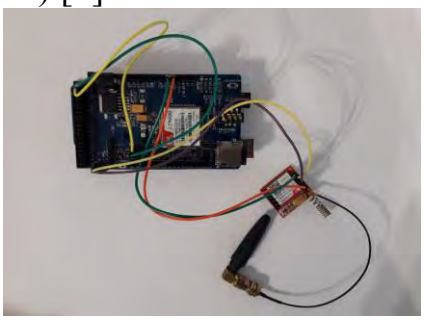


Рисунок 1. Апаратна реалізація автоматизованого повірочного комплексу для СОКІ та СВТТР

В рамках комплексу при повірці СОКІ використовується GSM/GPRS Shield на основі компонента SIM900. Shield SIM900 має реалізований стек протокола TCP/IP та містить мікросхему MT6260SA компанії MediaTek і мікросхему приймача RFMD RF7176. На відміну від аналогів, Shield SIM900 підтримує більший діапазон AT-команд і має кращу швидкодію, що забезпечує оптимальну роботу під час завантаження файлів, а також забезпечує підключення SD card безпосередньо до GSM/GPRS модуля. В свою чергу, GSM/GPRS модуль SIM800L на відміну від інших модулів цієї серії, є більш надійним, адже має вищу енергоефективність, простий в експлуатації, а також вирізняється доступною ціною. Цей модуль є кращим рішенням для вимірювання тривалості телефонних розмов, адже підтримує сучасні стандарти мобільного зв'язку та передачі даних і цілий ряд AT-команд. Для забезпечення моніторингу і контролю повірки кількості інформації під час користування телекомунікаційними послугами надано можливість одночасно керувати процесом пакетної передачі даних та вимірювати тривалість їх передачі – саме це є важливою відмінністю даного повірочного комплексу. Це допомагає досліджувати величини різного роду: тривалість (години, хвилини, секунди, мілісекунди) та об'єм інформації (біт). Структурна схема повірочного комплексу для СОКІ та СВТТР (Рис. 2)

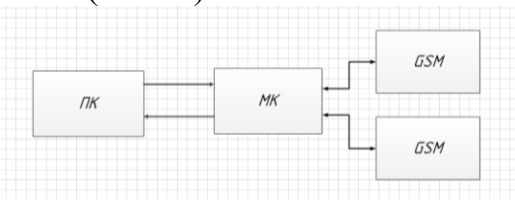
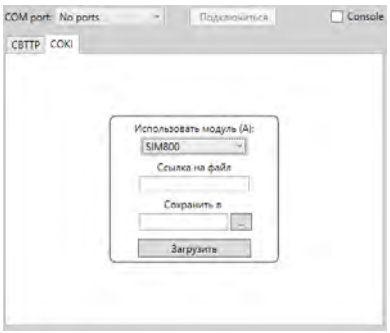



Рисунок 2. Структурна схема та апаратна реалізація повірочного комплексу для СОКІ та СВТТР

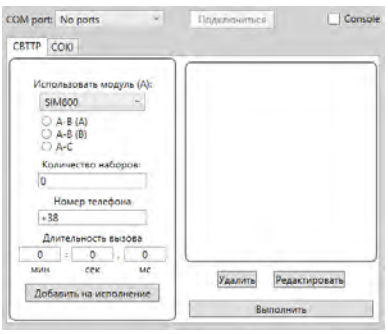
При повірці системи обліку кількості інформації, відповідно до методики повірки [8], повірник, за допомогою інтерфейсу користувача вводить посилання на файл певного розміру в байтах і кількість його завантажень. Таких файлів може бути декілька. В мікроконтролер, який необхідний в якості GSM модему, через канал зв'язку передаються дані, після чого, за допомогою AT-команд управління GSM модулем, мікроконтролер підключається до Інтернету. Як тільки встановлюється Інтернет-з'єднання, за посиланням на SD card завантажується файл, оскільки об'єм пам'яті GSM модуля не дозволяє зберігати

великі масиви інформації. Мікроконтролер повинен розірвати Інтернет-з'єднання, як тільки файл буде завантажено. Під час наступного завантаження він повинен знову підключитись, завантажити файл і відключити Інтернет-з'єднання. Така процедура необхідна для того, аби розділити сесії надання даних мобільним оператором, оскільки підключений до Інтернету модем забезпечує єдину сесію з підсумовування кількості байт даних. Оскільки повірка за заданими розмірами еталонних файлів – це головне завдання даної системи, то для кожного файлу створюється окрема сесія. Розмір файлу, який завантажується, зазначається у протоколі разом із часом початку та кінця сесії. Похибка часу та обсягу даних розраховується повірником після закінчення дослідження та отримання даних про сесію від мобільного оператора.

Для того, щоб здійснити повірку системи вимірювання тривалості телефонних розмов, згідно методики повірки [9], повірник, за допомогою інтерфейсу користувача, вводить номер телефону для здійснення дзвінку, кількість дзвінків, які необхідно зробити, і їх тривалість. Після цього обирається режим роботи системи: A-B(A) – режим, при якому дзвінок здійснюється із модуля SIM800 на модуль SIM900, SIM900 приймає дзвінок і з цього моменту починається відлік введеного часу, по проходженню цього часу, модуль SIM800 повинен відключити з'єднання і телефонна розмова завершується; A-B(B) – режим, при якому дзвінок здійснюється із модуля SIM800 на модуль SIM900, SIM900 приймає дзвінок і з цього моменту починається відлік введеного часу, по проходженню якого модуль SIM900 повинен відключити з'єднання і телефонна розмова завершується. Мікроконтролер працює в якості GSM модему та за допомогою AT-команд управління GSM модулем підключається до мережі стільникового зв’язку, при цьому відбувається передача даних за допомогою каналу зв'язку мікроконтролера. Необхідно для кожної телефонної розмови створювати окрему сесію, оскільки основне завдання полягає у повірці телефонних розмов певної тривалості. Час початку та кінця сесії зазначається у протоколі. Одразу після закінчення повірки повірник робить запит даних про сесію у мобільного оператора і розраховує похибку часу. Оскільки повірочний комплекс сполучений з комп’ютером, це надає можливість швидко отримувати великі об’єми інформації, обробляти її і зберігати для подальшого використання (Рис.3).




а)




б)

Рисунок 3. Програмна реалізація повірочного комплексу для: а) СОКІ; б) СВТТР

## ВИСНОВКИ

Отже, особливість створеного автоматизованого повірочного комплексу для СОКІ та СВТТР полягає у наданні можливості заощаджувати кошти за рахунок відсутності зайвого функціоналу, який мають аналоги; час, за рахунок можливості запуску одразу всієї автоматизованої програми повірки; знизити ймовірність помилок, яких може припуститися повірник під час роботи, за рахунок відсутності виконання дій в ручному режимі. Впровадження даного комплексу є особливо актуальним для метрологічних органів та метрологічних центрів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «A.T.kearney». Офіційна сторінка [Електронний ресурс] – URL: http://www.atkearney.com.

2. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці». – від 04.05.2015. – № 374. – 7 стор.

3. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки». – від 13.01.2016. – № 94. – 56 стор.

4. Datasheet Arduino MEGA // – URL: http://category.alldatasheetru.com/index.jsp?Searchword=ARDUINO%20MEGA.html – Дата доступу: 10.09.18 – Datasheet Arduino MEGA.

5. Datasheet GSM GPRS SIM800L // – URL: http://category.alldatasheetru.com/index.jsp?sSearchword=GSM/GPRS%20SIM800L.html – Дата доступу: 10.09.18 – Datasheet GSM GPRS SIM800L.

6. Datasheet GSM GPRS SIM900 // – URL: http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=GSM/GPRS%20SIM900.html – Дата доступу: 10.09.18 – Datasheet GSM GPRS SIM900.

7. Повірочний комплекс для систем обліку кількості інформіції та вімірювання тривалості телефонних розмов / С.М. Курсін, М.С. Шевкун, Д.А. Бурлака, М.П. Коваленко // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018»: збірник тез доповідей учасників (ел.), 13-18 лютого 2018 р., м. Славське, 2018. – С. 31-33.

8. Інструкція. Метрологія. Системи обліку кількості інформації. Методика повірки // Державне підприємство «Всеукраїнський Державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» ДП «Укрметртестстандарт». – 2015. - МПУ 455/09-2015.

9. Інструкція. Метрологія. Система вимірювання тривалості телефонних розмов АТС типу EWSD Методика повірки // Державне підприємство «Всеукраїнський Державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» ДП «Укрметртестстандарт». – 2003. - МПУ 134/07-2003.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Добролюбова М.В.***

**УДК 681.3**

*А.В. Довгаль, студент гр. ВА-71мп, к.т.н., доцент Самарцев. Ю.М.,*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

***Анотація.*** В даній статті розглянуто сучасний підхід до проектування імпульсних джерел живлення з використанням планарних магнітних компонентів. Розглянуті методи побудови трансформаторів дозволяють підвищити якісні характеристики джерел живлення а саме технологічних вимог виготовлення, зменшення габаритних розмірів, підвищення частоти перетворення, коефіцієнту корисної дії в системах протипожежної безпеки .

***Ключові слова:*** DC/DC, планарний трансформатор, живлення

## ВСТУП

Сучасні системи протипожежної безпеки потребують підвищення вимог до джерел живлення через велику кількість розгалужених модулів, систем протипожежного нагляду за об’єктами розташованими на значних відстанях один від одного. Новий підхід полягає у використанні планарних компонентів у проектуванні імпульсних джерел живлення. Технологія використання планарних компонентів для імпульсних джерел живлення дає змогу спрощення технологічного процесу виготовлення, зменшення габаритів, підвищення частоти перетворення. Серед можливих топологічних схем джерел живлення найкращим рішенням є використання зворотньоходової топології перетворювача. Ця топологія використовується для реалізації малопотужних перетворювачів напруги постійного струму (DC/DC . Описані схеми зазвичай використовуються для навантажень до 60Вт.

Перевагами даної топології у порівнянні з іншими є простота реалізації та відсутність необхідності у накопичувальних індуктивних елементах, що потребують інші топології. Структурна схема типового однотактного перетворювача представлена на рис.1

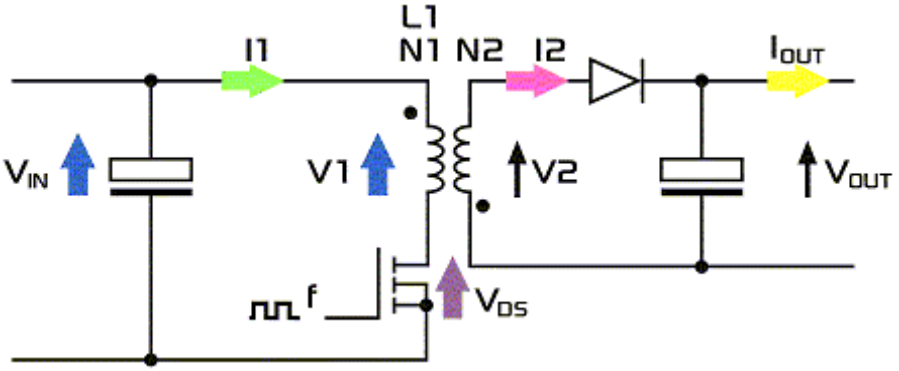
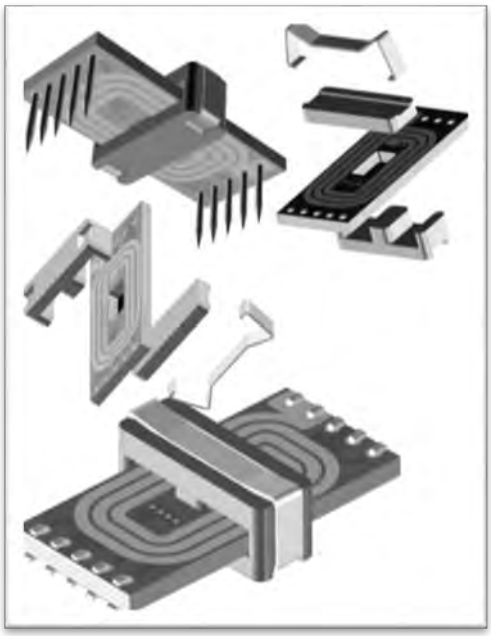



Рис.1 Зворотньоходовий однотактний перетворювач[1]

Для формування необхідної частоти комутації (f) використовується контролер широтно імпульсної модуляції (ШІМ). При дослідженні контролера ШІМ використовується мікросхема UC3843. Ця мікросхема є дешевим та надійним ШІМ контролером режиму «Current Control». Цей режим полягає у формуванні ШІМ відносно струму перетворювача та забезпечує точне регулювання та спрощує PID регулювання у порівнянні зі звичайним режимом контролю.

## КОНСТРУКЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Планарні трансформатори являють собою сучасну альтернативу традиційним трансформаторам у випадках необхідності малорозмірні магнітних компонентів. При планарній технології виготовлення індуктивних компонентів роль обмоток можуть виконувати доріжки друкованої платі або ділянки міді, виготовлені штампуванням і розділені шарами ізоляційного матеріалу. Ці обмотки розташовані між малорозмірними феритовими осердями.



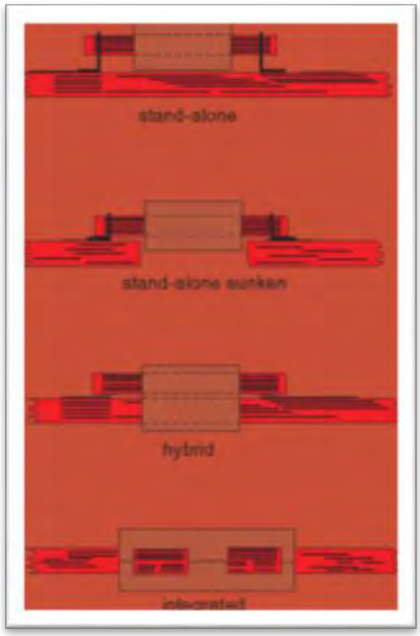



Рис.2 Представлення планарних компонентів[6]

Основні переваги планарних магнітних компонентів:

- Малі габаритні розміри
- Сильніший магнітний зв'язок
- Вищий ККД
- Поліпшена теплопередача
- Забезпечення повторюваності параметрів

Сильніший магнітний зв'язок на відміну від традиційних трансформаторів дозволяє використовувати більші частоти перетворення, що дає можливість використовувати менші розміри магнітопроводу. До того ж використання планарної технології дозволяє зменшити вплив поверхневого ефекту («скін ефект») на характеристики трансформатора. На високих частотах струми намагаються протікати по поверхні провідника, таким чином для змінного струму провідник створює більший опір. Використання об’ємних провідників в традиційних магнітних компонентах викликає скін ефект за рахунок якого більша частина струму проходить по поверхні провідника. Провідники на друкованих платах менш схильні до цього ефекту та мають максимальну глибину на частотах 10-15МГц. Вплив поверхневого ефекту на радіальну щільність протікання струму пояснюється на рис. 3

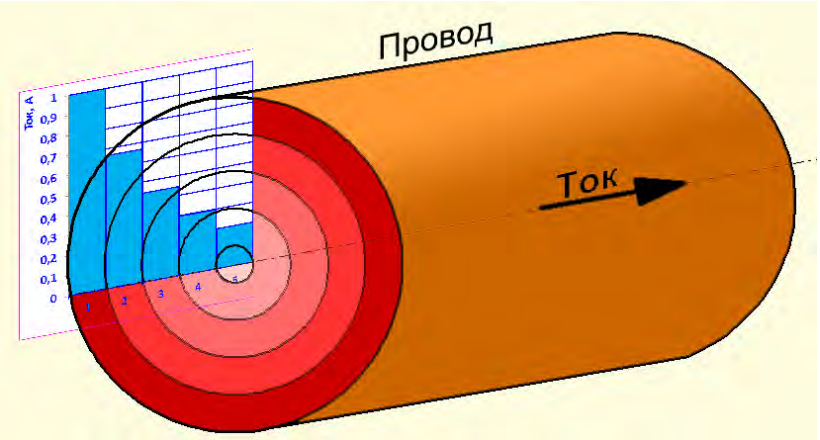



Рис 3. Вплив скін ефекту[7]

Сильніший магнітний зв’язок зменшує паразитну індуктивність трансформатора та кидки напруги внаслідок перемикання ключових елементів. Досягти цього можна декількома способами:

- Зменшення відстані між обмотками
- Використання високочастотних провідників
- Розділення магніторушійної сили шляхом багаторівневості
- Використання осердь з меншою довжиною магніт оповідної лінії
- Більший ємнісний зв'язок між обмотками
- Складність забезпечення посиленої ізоляції
- Більші витрати на прототипування

Критичним моментом проектування планарних магнітних компонентів є паразитна ємність що виникає між близько розташованими провідниками. Ця ємність має дуже великий вплив при роботі на високих частотах, тому при проектуванні трансформатора слід це враховувати. Мінімізувати ємність можна за рахунок збільшення відстані між обмотками, але це погіршить магнітний зв’язок та призведе до збільшення паразитної індуктивності робочої обмотки. Тому слід шукати золоту середину між впливом паразитної ємності та якістю магнітного зв’язку.

Розроблено прототип серії планарних трансформаторів, що мають наступні технічні характеристики:

- Постійна потужність 30Вт
- Діапазон робочих напруг 10-30В
- Габаритні розміри 16*16 *6.5

Прототип представлено на рис. 4.

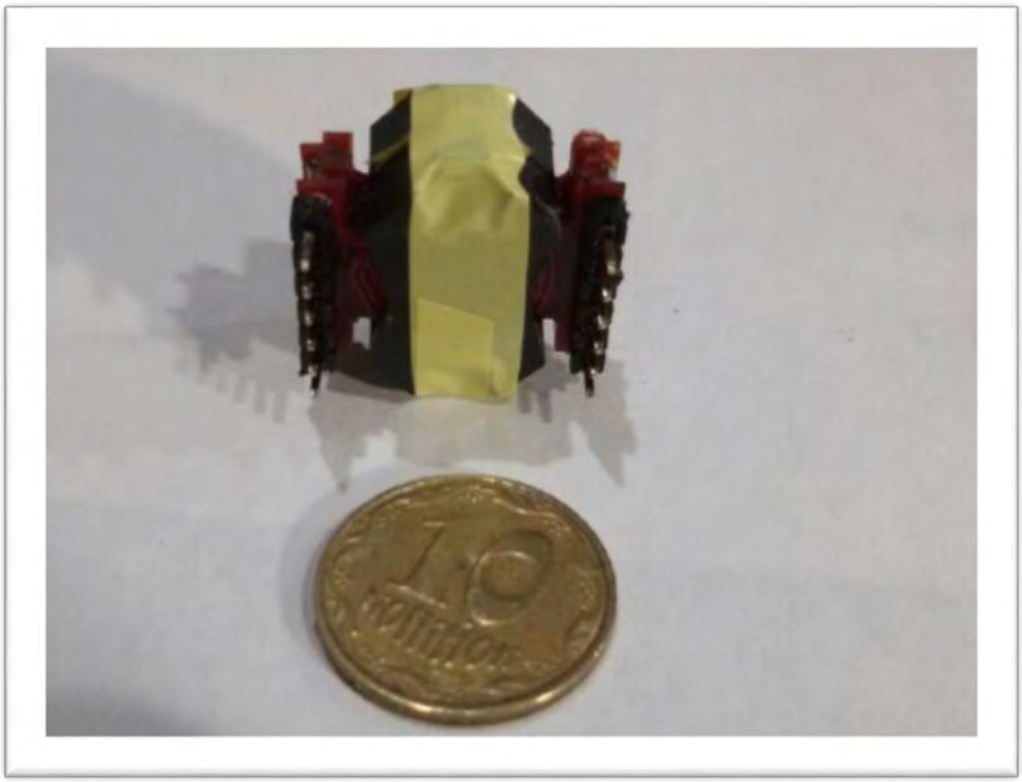


Рис.4 Прототип планарного трансформатора 30Вт

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Flyback converter - https://en.wikipedia.org/wiki/Flyback_converter
2. Mulder S. A. Application note on the design of low profile high frequency transformers. Ferroxcube Components. 1990.
3. Mulder S. A. Loss formulas for power ferrites and their use in transformer design. Philips Components. 1994.
4. Durbaum Th., Albach M. Core losses in transformers with an arbitrary shape of the magnetizing current. EPE Sevilla. 1995.
5. Brockmeyer A. Experimental evaluation of the influence of DC premagnetization on the properties of power electronic ferrites. Aachen University of Technology. 1995.
6. Ferroxcube Components technical note. 25 Watt DC/DC converter using integrated planar magnetics. 9398 236 26011. 1996.
7. Скин-эффект в аудио кабеле - http://www.electroclub.info/article/skin.htm

**УДК 681.1**

*А.В. Довгаль, студент гр. ВА-71мп, К.В. Притула, студент гр. ВА-71мп , к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗВ'ЯЗКУ ЖИВЛЕННЯ ТА ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В ДВОДРОТОВІЙ СХЕМІ ПІДКЛЮЧЕННЯ

***Анотація.*** В даній статті був проведений огляд методів зв'язку живлення та обміну інформацією в дводротовій схемі підключення. Було детально розглянуте рішення для передачі даних по лінії живлення постійної напруги та запропонована схема для реалізації можливості живлення пристроїв на максимальний струм 2А та ведення обміну даними на відстані до 1км.

***Ключові слова:*** Дводротова схема підключення, AC / DC, DPC.

## ВСТУП

Зазвичай усі схеми зв'язку і передачі даних по лінії живлення використовують принцип частотної модуляції і виділенням несущої частоти. Пошуки готових рішень для передачі даних не дали бажаних результатів. Існуючі схемо технічні рішення є або дорогими, або складними у реалізації.

## STMICROELECTRONICS: ST7540

ST7540 - рішення для PLC модему від STMicroelectronics. Відмінною особливістю цієї мікросхеми є наявність інтегрованого підсилювача потужності і двох лінійних стабілізаторів напруги на 5 і 3,3 В. На цьому рішенні можуть зупинитися і розробники, які вже мають свій власний протокол передачі даних по послідовному інтерфейсу, наприклад, при переході від передачі даних по RS-485 до передачі тих же даних за допомогою PLC. Вхідна частина модему на ST7540 показана на рисунку 1. [1]

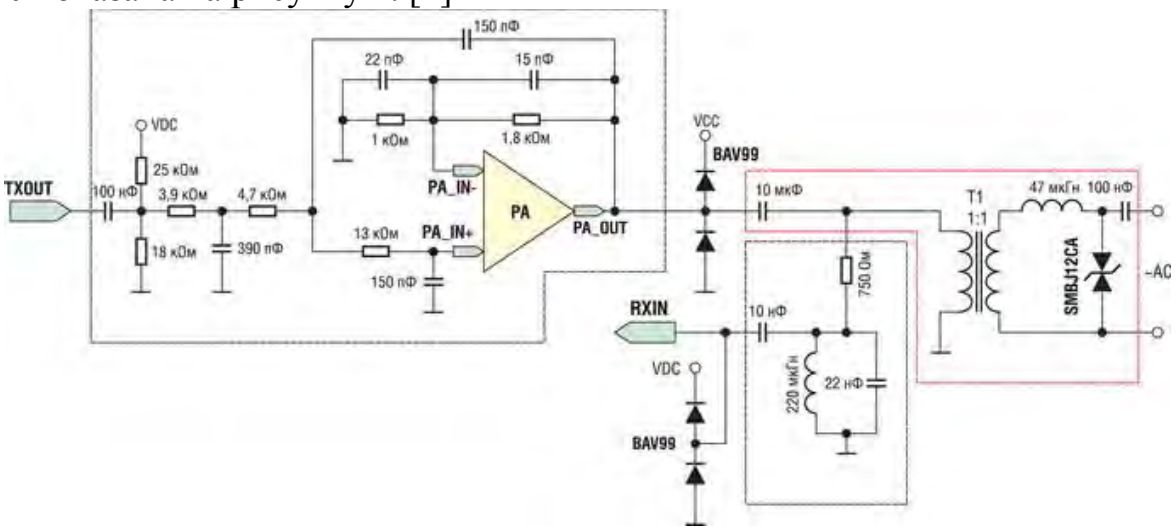



Рисунок 1. Аналогова частина приймально-передаючої схеми ST7540

АЧХ активної частини передавача в цілому схожа на АЧХ підсилювача потужності для AMIS-30585 тому цей графік не наводиться. В документації на оцінний набір STMicroelectronics призводить цікавіші характеристики (рисунок 2), а саме АЧХ приймальні і передавальної частин з урахуванням пасивної частини (виділено червоним на рисунку 2).

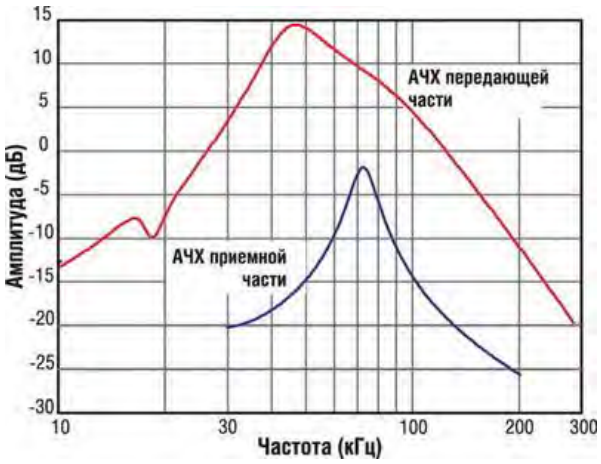



Рисунок 2. АЧХ приймально-передаючої схеми ST7540

Вартість рішення на основі ST7540 складатиме від 7$ (орієнтовна вартість мікросхеми при замовлені партії в 2500шт).

**TEXAS INSTRUMENTS: C2000**

Компанія Texas Instruments в якості комунікаційної мікросхеми пропонує використовувати цифровий сигнальний процесор (DSP) серії C2000 (рисунок 3). Перевагою даного рішення є те, що вибір типу модуляції, забезпечення протоколу передачі і кодування даних повністю надано розробнику. Здавалося б, ускладнення розробки не є перевагою перед конкурентами, однак в цьому випадку у розробника з'являється можливість розробити свій власний спосіб завадозахищеної передачі даних, що вкрай важливо в умовах реалій вітчизняних побутових мереж. У підсумку, рішення на основі DSP може виявитися єдиним життєздатним в нашій країні.

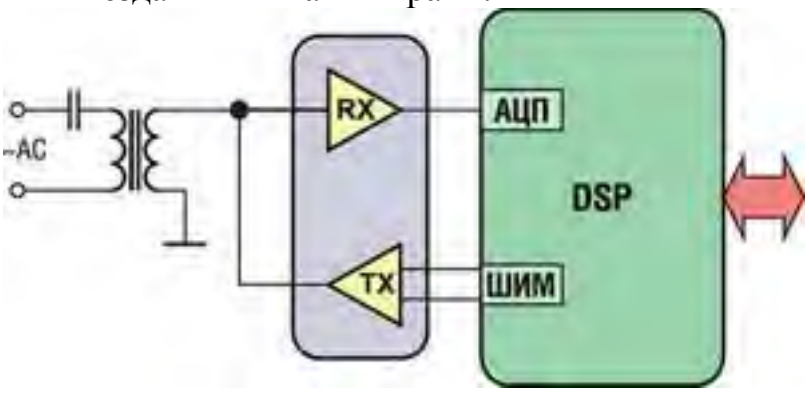



Рисунок 3. Структурна схема сполучення DSP і аналогової частини

Вартість рішення на основі TMS320F280x складатиме від 3.4$ (орієнтовна вартість мікросхеми при замовлені партії).

**ОГЛЯД РІШЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПО ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ**

Власне розглянуті вище рішення передачі даних по лінії живлення 220В не можуть бути застосовані для передачі даних по довгих лініям постійної напруги без додаткових компонентів.

Запропонована нижче схема реалізує можливість живлення пристроїв на максимальний струм 2А та ведення обміну даними на відстані до 1 км (рис.4).

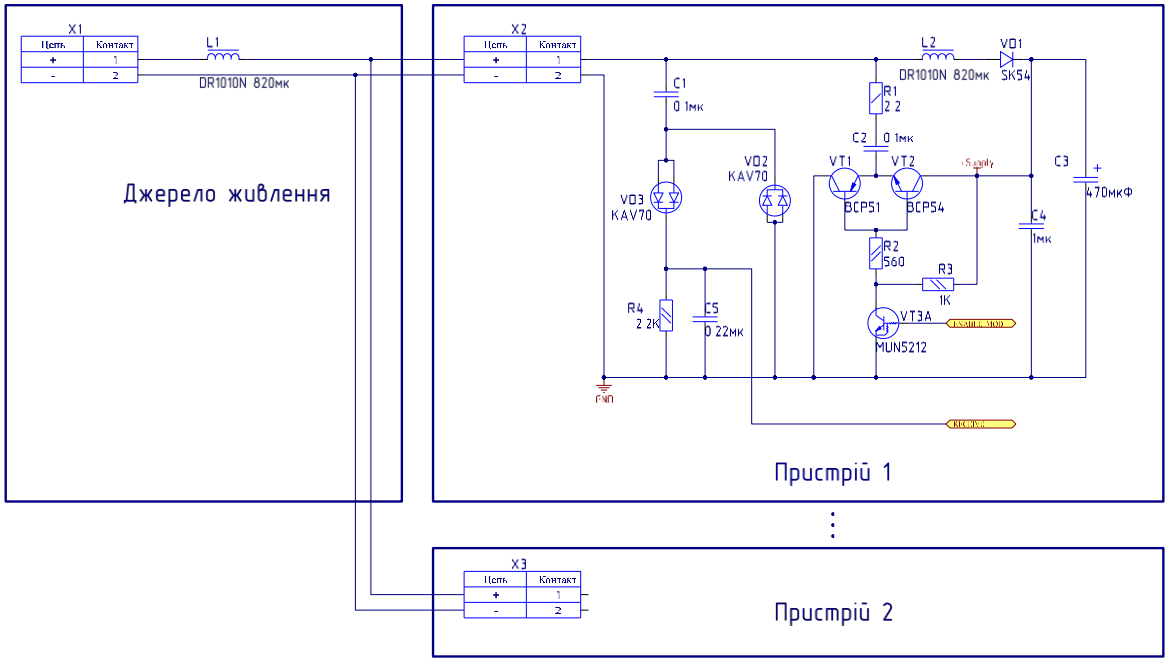



Рисунок 4. Запропонована схема реалізації можливості живлення пристроїв

Схема зв’язку і передачі даних по лінії живлення використовує принцип частотної модуляції і виділенням несущої частоти. Для того, щоб мати можливість створювати частотну модуляцію поверх постійної напруги необхідно щоб лінія мала деякий імпеданс на необхідних нам частотах. Для створення імпедансу використовується індуктивний елемент L1, що розв’язує постійну напругу джерела живлення від напруги модуляції.

Приймаюча частина являє собою пасивний фільтр верхніх частот першого порядку та амплітудний детектор і побудований на елементах C1, R4, C5, VD3, VD2. Вона відокремлює модульований сигнал і перетворює його в постійну напругу, яка поступає на цифровий вхід мікроконтролера. [3-4]

Осцилограма, що ілюструє процес демодуляції і відновлення даних. На рисунку 5: модульований сигнал (синій), інвертується вхід компаратора (жовтий), відновлені дані (рожевий).

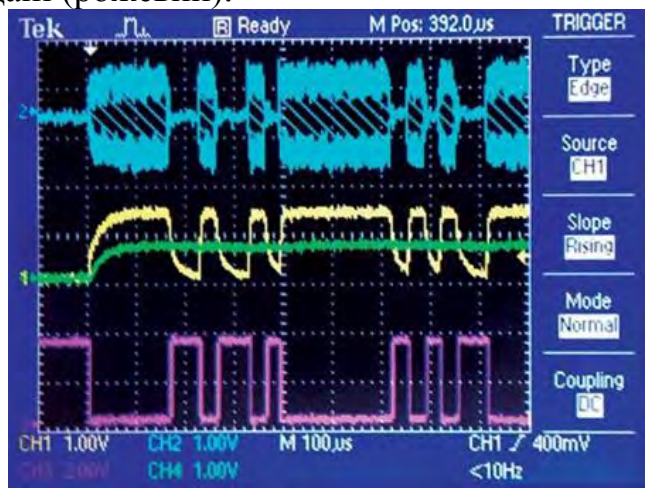



Рисунок 5. Осцилограма відтворення даних

Передаюча частина побудована по принципу PUSH-PULL .

На транзистор VT3 подаються імпульси несучої частити. Модуляція здійснюється шляхом високочастотного перемикання конденсатора C2 на

транзисторах VT1, VT2. Резистор R1 зменшує імпульсні струми для зменшення рівня електромагнітних завад.

Вихідні дані (жовтий) модулюють несучу, передаються по лінії живлення (синій) і точно відновлюються на виході (рожевий), це можна побачити на рисунку 6.

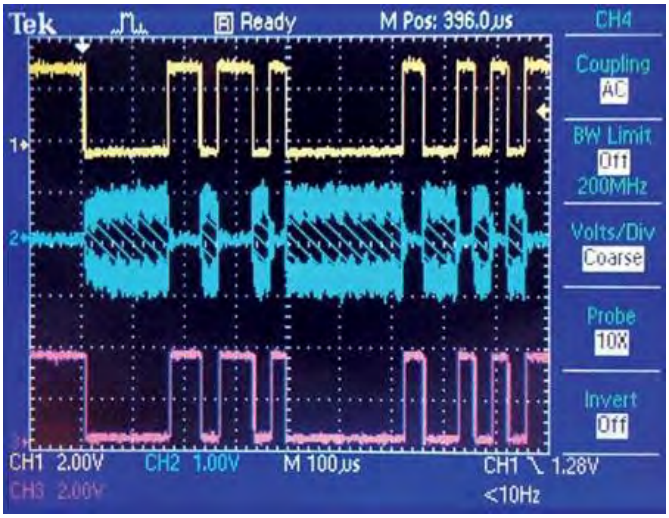



Рисунок 6. Осцилограма обміну даними

## ВИСНОВКИ

Найкращим рішенням побудови PLC передавача є рішення з використанням DSP або мікроконтролера. Це дає змогу побудувати гнучку систему зв’язку по лінії живлення незалежно від типу напруги AC/DC з малими затратами на реалізацію у порівнянні з готовими мікросхемами PLC. В свою чергу готові PLC мікросхеми прискорюють розробку системи зв’язку, але коштують більше ніж рішення з DSP.

Запропонований метод поєднує усі переваги розглянутих рішень для організації передачі даних по лінії живлення постійної напруги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О. Райхман PLC и PoE – рациональный способ сокращения количества связей в системах обеспечения безопасности// Аналоговые микросхемы// Олгяд.

2. Резников Д., Колейкин В., Любимов Б., Куликов В. ШПС - эволюция или революция. - Радио, 1998, № 3, с. 54-56.

3. Боровков К., Малыгин И. Перспективные способы модуляции в широкополосных системах передачи данных. - http://www.aqua. comptek.ru/dss/Spread.htm.

4. Заборовский В.С., Подгурский Ю. Е. Технологии и компоненты передачи данных по линиям электропитания. - Сети, 1999, № 10, с. 38 - 47

**УДК 004.02**

*А.Ю. Лівадіна, студентка гр. ВА-71мн*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

***Анотація.*** У статті проведений опис та аналіз методів розпізнавання обличчя. Визначені переваги та недоліки різних методів. Проведений аналіз допоможе в написанні різноманітного програмного забезпечення для розпізнавання обличчя.

***Ключові слова:*** ідентифікація, метод головних компонентів, метод опорних векторів, метод Віоли-Джонса.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З розвитком інформаційних технологій все більшою популярністю користуються системи обмеження доступу та ідентифікації особистості. Традиційні способи ідентифікації, такі як ключі або паролі, не забезпечують високу ступінь надійності ідентифікації, тому найбільш динамічно розвиваються системи біометричної ідентифікації. Область застосування цих технологій з кожним роком істотно розширюється. За даними International Biometric Group, розпізнавання особистості по зображенню особи є другим за популярністю після ідентифікації по папілярному візерунку [1].

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Технологія ідентифікації особистості на основі зображення обличчя, на відміну від використання інших біометричних показників, не вимагає фізичного контакту з пристроєм і з урахуванням стрімкого розвитку цифрової техніки є найбільш прийнятною для масового застосування. Основною трудністю даної технології є залежність якості результату розпізнавання людини по зображенню обличчя від ракурсу, положення, умов освітленості тощо.

На даний момент існує безліч різних методів за даною технологією. Ця стаття містить аналіз основних методів, їх плюси і мінуси і дозволяє полегшити вибір методу при розробці додатку на основі розпізнаванні осіб.

Для початку слід виділити загальний процес обробки обличчя при розпізнаванні (Рис. 1).

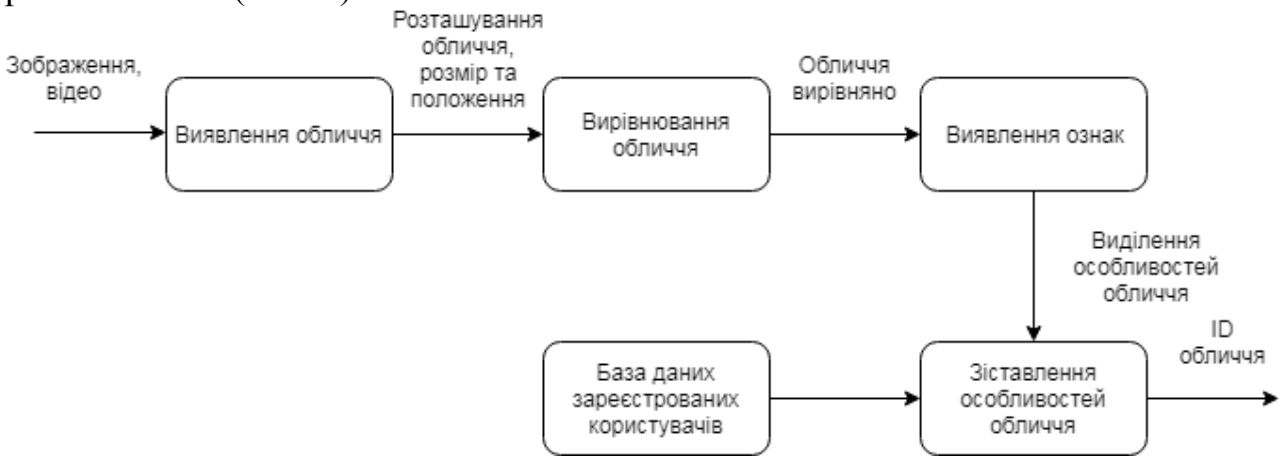



Рисунок 1. Загальний процес обробки обличчя при розпізнаванні

На рисунку видно, що спочатку проводиться виявлення обличчя, визначається його розташування, розмір і положення. Далі відбувається

вирівнювання обличчя, визначення його ознак і виділення особливостей. На останньому етапі відбувається порівняння особливостей обличчя з базою даних і привласнення ідентифікаційного номера.

Популярні методи розпізнавання осіб:

- метод головних компонентів;
- метод опорних векторів;
- метод Віоли-Джонса.

Метод головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA) полягає у представленні зображення обличчя у вигляді вектору малої розмірності (головних компонентів), який порівнюється з еталонними векторами, що містяться в базі даних [2]. Суть методу головних компонентів зводиться до наступного. Спочатку весь навчальний набір облич перетвориться в одну загальну матрицю даних, де кожен рядок являє собою один екземпляр зображення обличчя, розкладеного в рядок (Рис. 2).

Рисунок 2. Перетворення навчального набору облич в одну загальну матрицю

Наступним кроком є знаходження середнього значення матриці та його віднімання від кожного вектору. За допомогою цієї процедури отримуємо лише індивідуальні ознаки обличчя, які порівнюються з вектором індивідуальних ознак в базі даних.

Перевагою методу головних компонентів є мала база ідентифікаційних даних. До недоліків методу слід віднести його залежність від попередньої обробки зображень, до яких відноситься масштабування і обрізка (40 % помилок), просторове розміщення (15 % помилок) і освітлення (5 % помилок) [3]. Метод має невисоку в порівнянні з іншими методами ймовірність розпізнавання. Для збільшення ймовірності правильного розпізнавання потрібна попередня обробка зображення, збільшення кількості головних компонентів.

На відміну від методу головних компонентів, метод опорних векторів збільшує розмірність простору з метою пошуку базису, в якому кластери зображень будуть лінійно роздільні [4]. Метод опорних векторів розглядає кожен екземпляр даних (зображення) як точку в n-мірному просторі, де n відповідає розмірності даних або загальній кількості пікселів зображення. Кожна з точок належить до відповідного класу. Задача розпізнавання зводиться до задачі знаходження такої гіперплощини в n-мірному просторі, яка відділяє всі точки, що належать зображенню даного класу, від інших, котрі не належать

до нього. Оскільки таких площин може бути багато, метод опорних векторів має на меті знайти площину, відстань до якої від найближчої точки максимальна в межах множини ймовірних варіантів.

Метод опорних векторів найбільш швидкий метод знаходження вирішальних функцій, що є його перевагою. Також метод знаходить поділяючу смугу максимальної ширини, що дозволяє в подальшому здійснювати більш впевнену класифікацію. Головним недоліком методу опорних векторів є відсутність єдиного підходу щодо знаходження гіперплощини у разі лінійної нероздільності класів.

Метод Віоли-Джонса використовується для пошуку об'єктів на зображенні в реальному часі [5]. Даний метод має дуже низьку ймовірність помилкового спрацювання і високу точність розпізнавання, що досягає 90 %. Метод дозволяє розпізнавати більш ніж одне обличчя на зображенні, а також обличчя, повернені на кут до $30^0$, але, якщо кут нахилу більше, ефективність даного методу дорівнює нулю. У зв'язку з цим ефективно розпізнавати обличчя, розташоване під довільним кутом, стає неможливим і даний метод не підходить під вимоги сучасних систем нагляду.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. International Biometric Group [Електронний ресурс]. URL: https://www.ibia.org/

2. Лівадіна А.Ю., Система ідентифікації особи за геометрією обличчя / Лівадіна А.Ю. / IV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018», 13 - 18 лютого 2018 р. – Славське. – С. 84-85.

3. Форсайт Д.А., Пойнс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М., 2004.

4. Guo G., Li S.Z., Chan K. // IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition. 2000. P. 103-108.

5. Viola, P.Robust realtime face detection / P.Viola // International Journal of Computer Vision. – 2004. –V. 57. - №2. – P.137-154.

***Наук. керівник – к.т.н., доц., Добролюбова М.В.***

**УДК 621.317**

*О.С. Ліщенко, студентка гр. ВА-81ф*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

***Анотація.*** В даній роботі проводиться аналітичний огляд сучасних засобів контролю вологості сипких матеріалів, заснованих на використанні надвисокочастотних методів вимірювання. Результати аналізу дозволяють обрати найбільш придатний метод, що забезпечує високі метрологічні характеристики підвищення точності вимірювань.

***Ключові слова:*** сипкі матеріали, вологість, вимірювання, надвисокочастотний метод.

## ВСТУП

Через різноманіття матеріалів та складності процесів, що в них протікають, особливо гостро постають питання розробки методів і засобів для оцінювання властивостей і складу об'єктів, зокрема, вологості.

Оцінювання вологості сипких матеріалів вважається особливо складним процесом. Це пояснюється різноманітністю сипких матеріалів, їх фізико-хімічними властивостями, формою зв’язку, а також їх нестаціонарним станом в процесі виміру вологості [1].

На сучасному ринку представлено велику кількість засобів вимірювання вологості. Проводячи аналіз цих засобів можна прийти до висновку, що найчастіше при розробці вологомірів використовують діелькометричні методи та їх різновиди – надвисокочастотні методи (НВЧ).

Найважливішими достоїнствами вологомірів НВЧ є:

- можливість безконтактних вимірювань (у вільному просторі);
- висока чутливість;
- необмежена верхня межа вимірювань;
- малий вплив на результати вимірювань хімічного складу матеріалу і деяких інших чинників [2].

## СТАН ПРОБЛЕМИ

Аналіз літератури дозволяє запропонувати таку класифікацію НВЧ методів вимірювання вологості:

1. Методи вільного простору: а) з використанням пройшовшої хвилі; б) з використанням відбитої хвилі. В обох модифікаціях вимірюваною характеристикою можуть бути ослаблення (модуль коефіцієнта передачі або коефіцієнта відбиття), зміна амплітуди або фази хвилі.

2. Резонаторні методи та їх різновид – хвилеводні метод.

В даній роботі розглядаються засоби побудовані з використанням НВЧ методів. Серед представлених на ринку НВЧ вологомірів, що реалізовані методами вільного простору, можна віднести такі:

- Вологомір «Копье»(ООО Аква Сенсор, Україна);
- Вологомір «Микрорадар-113»(Микрорадар, Білорусь);
- Вологоміри МА-500, МА-600, МА-700, МА-800 (Moistscan Calliban Instruments PtyLtd, Австралія).

Розглянемо дані вологоміри більш детально.

**Вологомір «Копье»** українського виробництва - пристрій для виміру вологості в гранульованих та порошкоподібних продуктах та матеріалах, таких як зерно, насіння, цемент, пісок та ін. В даному приладі використовується метод вільного простору (з використанням пройшовшої хвилі), що оснований на поглинанні електромагнітних хвиль високої частоти молекулами води. Аналізатор вологості складається з блоку індикації та щупа діаметром 30 міліметрів довжиною від 0,4 до 2 метрів, на кінці якого знаходиться вимірювальний радіочастотний датчик.

Відтворюваність і точність показів визначається, в першу чергу, змінами щільності вимірюваного об'єкта поблизу поверхні датчика. Високий ступінь точності вимірювань забезпечується при постійній щільності матеріалу [3].

Технічні характеристики даного приладу:

- Діапазон вимірюваної відносної вологості, 2-40 (50)%.
- Можливість виміру температури матеріалу, діапазон: -40 ... +120 ° С.
- Температура навколишнього середовища компенсується.
- Похибка вимірювання, ±3%.
- Неруйнівний вимір.

**Вологомір «Микрорадар-113»** призначений для безперервного автоматичного вимірювання вологості сипучих матеріалів безпосередньо в технологічному процесі методами мікрохвильової вологометрії, а саме методу з використанням пройшовшої хвилі.

Принцип дії вологоміра заснований на вимірюванні параметрів електромагнітної енергії НВЧ, що пройшла через шар вологого матеріалу. НВЧ коливання, що формуються блоком генератора, випромінюються антеною, поглинаються вологим матеріалом, приймаються приймальною антеною та надходять на детектор НВЧ. Величина ослаблення НВЧ коливань, яка вимірюється в децибелах (дБ) пропорційна вологості контрольованого матеріалу [4].

Технічні характеристики приладу:

- Діапазон вимірюваної вологості (за сукупністю, приладами всіх модифікацій), від 0 до 90%.
- Основна відносна похибка, не більше 5%.
- Температура контрольованого матеріалу, від +5 до + 95° С.
- Стандарт струмового виходу (за вибором) , 0-5; 0-20; 4-20 мА.
- Здатність навантаження струмового виходу, не більше 500 Ом.
- Діапазон вихідної напруги (в залежності від обраного стандарту струму), (0-5) мА - 0 ... 0,625В, (0-20) мА - 0 ... 2,5В, (4-20) мА - 0,5 ... 2,5В.
- Режим роботи – безперервний.
- Неруйнівний вимір.

**Аналізатори вологості Moistscan** серій МА-500, МА-600, МА-700, МА-800 є автоматизованими приладами для вимірювання вологості матеріалів в реальному масштабі часу.

Конструктивно аналізатор складається з блоку управління і блоку антен, що включає передавальну і приймальну антени, а також ультразвуковий

компенсатор рівня. Залежно від модифікації передавальна та приймальна антени можуть бути рознесені в просторі, або знаходитися всередині приладу. Вимірювання вмісту вологи речовини аналізатором засноване на поглинанні водою НВЧ сигналу. При підвищенні вмісту вологи речовини, відбувається ослаблення НВЧ-сигналу по потужності, а також його фазовий зсув. Низькочастотний сигнал, пропорційний цим параметрам, передається в блок керування. У блоці керування за допомогою вбудованого мікропроцесора сигнал перетвориться в значення масової частки вологи та видається на дисплей пульта управління і зовнішні пристрої реєстрації даних.

Технічні характеристики:

- Діапазон виміру масової долі вологи від 0 до 90%.
- Межа допустимої абсолютної похибки аналізатора в діапазоні від 0 до 65% - ±3%, в діапазоні вище 65 до 90% - ±0,36%.
- Напруга живлення, при частоті (50±1)Гц – 110/240 В.
- Потужність не більше 300 Вт.
- Діапазон температури оточуючого повітря від -5 до +40℃, атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа, відносної вологості від 0 до 90 % [5].

Серед представлених на ринку НВЧ вологомірів, що реалізовані резонаторними методами, можна виділити такі:

- Вологомір LMA 310SA (Sartorius, Німеччина);
- Вологомір Микрорадар-101 (Микрорадар, Білорусь)

Розглянемо вологоміри більш детально.

**Вологомір LMA 310SA.** Метод мікрохвильового резонансу, який використовується у в даному вологомірі, має перевагу, що полягає в гранично швидких вимірах, які тривають менше секунди. Зміни кольору або структури поверхні проби, що зустрічаються в сировинних матеріалах натурального походження, не впливають на результат вимірювання. Завдяки методу мікрохвильового резонансу визначається як поверхнева, так і глибинна вологість матеріалу. Процедура вимірювання дозволяє проводити аналіз незалежний від щільності, а калібрування стабільне протягом тривалого проміжку часу. Технічні характеристики:

- Час вимірювання <1 секунди.
- Діапазон вимірювання вологості: 0,5-60%.
- Автоматична температурна компенсація.
- Похибка вимірювання від ±0,01 до ±0,1%.

**Вологомір Микрорадар-101** призначений для експрес-виміру вологості сипких матеріалів. Принцип дії вологоміра базується на вимірі частоти та амплітуді НВЧ сигналу в резонаторі та перетворення цих параметрів в цифровий код, що відповідає вологості матеріалу. Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання вологості від 0 до 20%.
- Похибка вимірювання від ±0,05до ±0,5%
- Температура оточуючого середовища від 10 до 35℃.
- Час вимірювання до 40 секунд.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результатами даного аналізу є порівняння характеристик вологомірів, реалізованих відомими НВЧ методами. Найсуттєвіші параметри представлені в табл.1.

Таблиця 1.Порівняння параметрів вологомірів, реалізованих НВЧ методами

| *№ п/п* | *Параметр* | *Методи вільного простору* | *Резонаторні методи* |
|---|---|---|---|
| 1 | Діапазон вимірюваної вологи,% | Від 0 до 90(в залежності від модифікації приладу) | Від 0 до 90(в залежності від модифікації приладу) |
| 2 | Діапазон температури оточуючого середовища | Від +5 до +95 або не має значення для вимірювання | Від -5 до +40 (в залежності від модифікації приладу) |
| 3 | Похибка вимірювання | ±3…±5% | ±0,01…±5% |

Порівнянна даних параметрів дає змогу визначити оптимальний метод для максимально точного виміру вологості.

## ВИСНОВКИ

Можна зробити висновок, що точність та похибки виміру вологості НВЧ вологомірів суттєво залежить від щільності матеріалів та показників середовища виміру. Приведені в огляді вологоміри мають високу похибку вимірювань, що не задовольняє потреб деяких виробництв. Тобто, завдання підвищення точності виміру вологості є достатньо актуальним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. — Изд. 2-е, перераб-е и доп-е. — М.: Энергия, 1968. — 472 с.
2. Берлинер, М. А. Измерения влажности / М. А. Берлинер. — Изд. 2-е, перераб-е и доп-е. — М.: Энергия, 1973. — 400 с.
3. Влагомер сельхоз продуктов Копье. Режим доступу: https://chemtest.com.ua/vlagomer-s-h-produktov-kope
4. Влагомер поточный «Микрорадао-113». Руководство по эксплуатации / ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС». Режим доступа: https://ugov.com.ua/upload/iblock/e39/mr125_113_re.pdf
5. Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений. Госреестр средств измерений, регистрационный номер №43963-10. Режим доступа: http://www.all-pribors.ru/docs/43963-10.pdf
6. Информационно-технический центр «Сарториус». Режим доступа: http://www.sartoros.ru/promcontrol/promyshlennye-analizatory-vlazhnosti/moisture-meter-lma310
7. Влагомер поточный «Микрорадао-101». Руководство по эксплуатации / ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС». Режим доступа: https://ugov.com.ua/upload/iblock/5be/mr-101.2re.pdf

***Наук. керівник – доц., д.т.н., проф. Шевченко К. Л.***

**УДК 621.317**

*В. В. Мокляков, студент групи ВА-71мп, Стаценко О.В.*
КПІ Ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

***Анотація.*** Стаття присвячена розробці автоматизованої системи для тестування параметрів джерел безперебійного живлення.. В статті проаналізовані основні параметри якими характеризуються джерела безперебійного живлення. Запропонована структура автоматичної системи для визначення характеристик.Розроблений алгоритм, що реалізує тестову процедуру для визначення вказаних характеристик.
***Ключові слова:*** джерело безперебійного живлення, автоматизоване тестування.

## ВСТУП

В даний час спостерігається збільшення потреби у високошвидкісних центрах обробки даних, системах телекомунікаційного зв'язку в реальному масштабі часу і застосуванні систем з безперервним автоматичним технологічним процесом. Зростання потреби в такому устаткуванні поряд із забезпеченням великою кількістю різноманітних можливостей висуває підвищені вимоги до джерел електроживлення. Для забезпечення надійного електроживлення в таких системах використовують джерела безперебійного живлення (ДБЖ) [1].

Це автоматичні пристрої, що дозволяють підключеному обладнанню деякий час працювати від акумуляторів ДБЖ, при зникненні електричного струму або при відхиленні його параметрів від допустимих норм. Цього часу зазвичай вистачає для підключення резервного джерела живлення.

ДБЖ також використовуються разом із персональними комп’ютерами. В цьому випадку наявність ДБЖ дозволяє захистити персональний комп’ютер від перевищення напруги в мережі живлення, а при зникненні живлення надає можливість зберегти необхідні документи та коректно завершити роботу.

На ринку сьогодні існує велика кількість ДБЖ. За топологією їх поділяють на три типи: ДБЖ резервного типу, лінійно-інтерактивні ДБЖ та ДБЖ з подвійним перетворенням енергії .

Враховуючи призначення ДБЖ значна увага приділяється визначенню та контролю їх характеристик. Цю процедуру необхідно проводити не лише на завершальному етапі виробництва, але й періодично повторювати на робочому місці. До основних характеристик ДБЖ, які вказують у технічній документації на конкретний прилад [2], відносять такі параметри:

- вихідна потужність – вказують повну та активну потужність;
- вихідна напруга – вказують величину вихідної напруги та максимальне відхилення;
- час переходу – час необхідний для переходу на живлення від акумулятора;
- час автономної роботи – час роботи ДБЖ від акумулятора, зазвичай вказують при максимальному вхідному навантаженні;
- діапазон вхідної напруги – діапазон напруги мережі живлення при якому не відбувається переключення на батарею, а вихідна напруга

підтримується на вказаному рівні за рахунок внутрішнього регулятора напруги;

- форма вихідної напруги – залежить від типу ДБЖ та характеризується коефіцієнтом нелінійних спотворень (КНС);
- коефіцієнт корисної дії (ККД) – вказують для різних рівнів навантаження.

На даний момент таке комплексне тестування ДБЖ потребує спеціалізованого обладнання та залучення висококваліфікованих спеціалістів. Крім того, час необхідний для його проведення є досить тривалим. Тому роботи, направлені на розвиток систем автоматичного визначення характеристик таких агрегатів є актуальними.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Відомі процедури тестування ДБЖ, які стандартизовані та використовуються виробниками та спеціалізованими лабораторіями [3]. Ці процедури орієнтовані на визначення активної потужності ДБЖ та ефективності його роботи, яка характеризується коефіцієнтом корисної дії. В них визначені вимоги до умов проведення тестування, обладнання, яке повинно бути використане, та порядок опрацювання результатів дослідів для визначення досліджуваних параметрів.

Відомі і інші підходи для визначення характеристик та тестування ДБЖ [], але їх загальним недоліком є відсутність автоматичного режиму роботи, що ускладнює весь процес. Тому метою даної роботи є розробка системи автоматизованого визначення основних характеристик джерел безперебійного живлення.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис.1. наведена структура запропонованої системи автоматичного визначення характеристик ДБЖ.

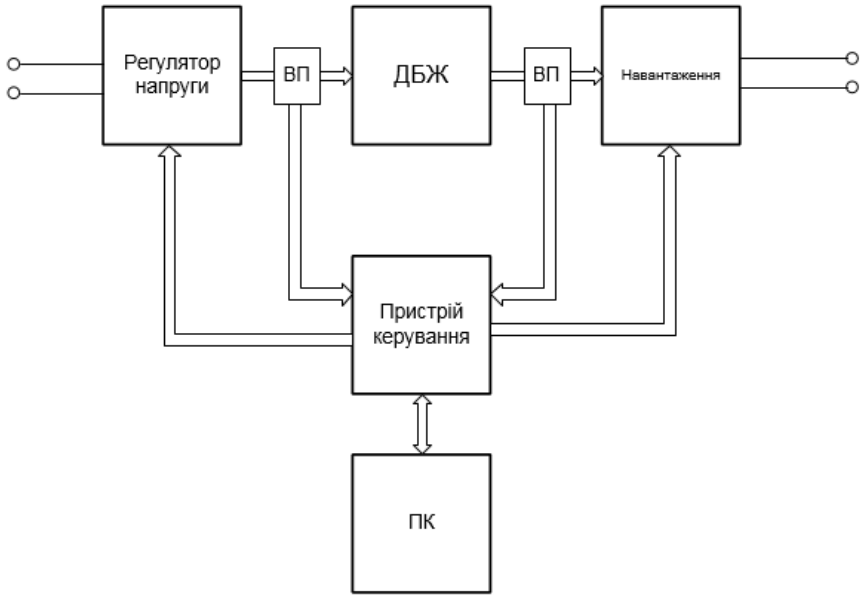



Рис. 1. Структура автоматизованої системи визначення характеристик ДБЖ

До складу цієї системи входить: регульоване джерело напруги, регульоване рекуперативне навантаження, вимірювальні прилади, пристрій керування та персональний комп'ютер.

Загальний принцип роботи полягає в тому, що відповідно до процедури визначення характеристик, що реалізується алгоритмічно пристроєм керування, регульоване джерело напруги та регульоване навантаження формують тестові впливи на досліджуване ДБЖ. Одночасно з цим за допомогою вимірювальних приладів знімаються основні показники струмів, напруг та потужностей, які передаються до пристрою керування, а від нього до персонального комп'ютера.

Особливістю цієї структури є використання рекуперативного навантаження, що дозволить електричну енергію повертати до мережі живлення. В якості такого навантаження може бути використаний перетворювач електричної енергії [4], який складається з активного випрямляча з примусовим формуванням вхідного струму та керованого мережею інвертора.

Алгоритм тестування включає такі етапи:

1. Дослідження усталених режимів роботи. При цьому регулятор вхідної напруги встановлює рівень незмінної напруги 220 В, частотою 50 Гц. Навантаження змінюється почергово, таким чином, щоб споживана потужність від ДБЖ складала 0, 25,50, 75, 100 % від максимальної. В цих дослідах вимірюєть ся вихідна напруга, вихідна напруга та вхідний струм. Крім того визначається форма вихідної напруги. Виміряні дані передаються до персонального комп. На підставі цих значень розраховуємо величини вхідної та вихідної по тужності, ККД, КНС вихідної напруги.
2. Дослідження впливу зміни вхідної напруги. Вхідна напруга регулятором змін від номінального значення до максимального а потім мінімального. Навантаження складає 100% при цьому вимір зміна вихідної напруги , а також фіксується момент переходу на батарею. Визначається час який потрібно для переходу на батарею і назад. При роботі від батареї вимірюється форма вихідної напруги. Виміряні дані перед на ПК та визнач діапазон вхідної напруги, час перемикання та КНС вихідної напруги.
3. Дослідження режиму роботи ДБЖ від батареї. При цьому відключається регулятор вхідної напруги, навантаження становимо на рівні 100% та вимірюється час роботи доки батарея не буде повністю розряджена.

## ВИСНОВКИ.

У результаті проведених досліджень запропонована структура системи автоматичного визначення характеристик ДБЖ та розроблений алгоритм її роботи. Особливістю розробленої системи є використання рекуперативного електронного навантаження, що суттєво підвищує енергетичну ефективність всієї системи.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Що потрібно знати про джерела безперебійного живлення (ДБЖ) http://www.sven.fi/ua/support/techsupport/service-article.php?id=16806

2. ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИБП - 6 - 220 - 24 ПАСПОРТ ИТР.418114.001 ПС Режим доступа:www.URL: http://www.liotech.ru/UserFiles/UPS/Attachment_3_data_sheet_UPS-6-220-24.pdf

3. Об основных результатах испытания линейно-интерактивных ИБП мощностью от 2,0–2,2 кВА в тестовой лаборатории журнала «Сети и бизнес». Владимир СКЛЯР, Юрий ВЕЛЬДЯСКИН. \ Режим доступа:www.URL: http://www.sib.com.ua/arhiv_2009/2009_4/statia%204_3%202009/4_3_2009.htm

4. How to Maintain and Test UPS Systems. John E. Diamond, Cushman & Wakefield | Mar 01, 2001. Режим доступа:www.URL: https://www.ecmweb.com/content/how-maintain-and-test-ups-systems

***Наук. Керівник – к.т.н., доц. Стаценко О. В.***

**УДК 621.317**

*Д.С. Недашківський, студент групи ВА-71мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.*
КПІ Ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ

***Анотація.*** Стаття присвячена вирішенню питань побудови системи для тестування комп'ютерних блоків живлення. Запропоновано структуру автоматизованої системи, яка здійснює перевірку основних параметрів та характеристик блоків живлення. Особливістю даної системи є можливість рекуперації енергії, яка споживається блоком живлення під час тестування. Також розроблено алгоритм роботи системи, який реалізує процедуру тестування.

***Ключові слова:*** блок живлення, тестування, рекуперація енергії.

## ВСТУП

Комп'ютерний блок живлення – вторинне джерело живлення, призначене для забезпечення вузлів комп'ютера електричною енергією постійного струму. До його завдання входить перетворення мережевої напруги до заданих значень напруги живлення, її стабілізація і захист від незначних перешкод з боку електричних джерел живлення. Загальне призначення блоку живлення – формування напруг живлення, які необхідні для функціонування всіх вузлів ПК. Основні напруги живлення цих вузлів складають +12 В, +5 В, +3,3 В, які організовані окремими лініями. Також блок живлення здійснює гальванічну розв'язку між мережею 220 В та компонентами комп'ютера [1].

Проведення тестування блоків живлення є необхідним на завершальному етапі виробництва та у сервісних центрах, що здійснюють обслуговування та ремонт таких пристроїв. Основні параметри, які заявляються виробником це: потужність, максимальне навантаження струмом по лініям напруги, ККД (стандартом є значення не менше 80%),тип корегування вхідного струму та допустиме відхилення напруги[2].

При оцінці та тестуванні блоків живлення варто вимірювати саме ці види характеристик, для того, щоб порівняти їх із заявленими значеннями у паспорті приладу.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Існують певні підходи до тестування блоків живлення. На ринку присутні такі рішення:

- Тестери. Це невеликого розміру пристрої, які зчитують основні показники блоків живлення. Прикладом такого тестера є ThermalTake Dr.Power 2 [3]. Ці прилади призначені відбракування завідомо непрацездатних блоків живлення, оскільки перевірка здійснюється за відсутності навантаження. Окрім того, в більшості випадків, такі тестери мають доволі невисоку точність.
- Автоматичні модульні системи. Подібні системи націлені на комплексне тестування блоків живлення як в експлуатації так і безпосередньо на виробництві. Завдяки подібним системам виконується повна перевірка блоків живлення, перед тим, як випустити серію в продаж. Прикладом

подібного рішення може слугувати система, розроблена на приладах виробництва компанії Chroma [4, 5].

Прикладом такої системи може бути система, яка складається з: високочастотного модуля живлення Chroma AC Source 6530, зі змінною напругою та точною частотою 50 або 60 Гц; комплексного вимірювального прилад Yokogawa WT210 для вимірювання струму та напруги з похибкою 0,1 %; 8 модулів Chroma DC 6330 для створення навантажень на окремих лініях; осцилографу Tektronix Scope DPO3034 в комплекті з вимірювальним зондом Tektronix TCP150 для відображення виміряних значень. Такі системи є найбільш точними, але і найбільш дорогими.

Структура подібної системи наведена на рис.1

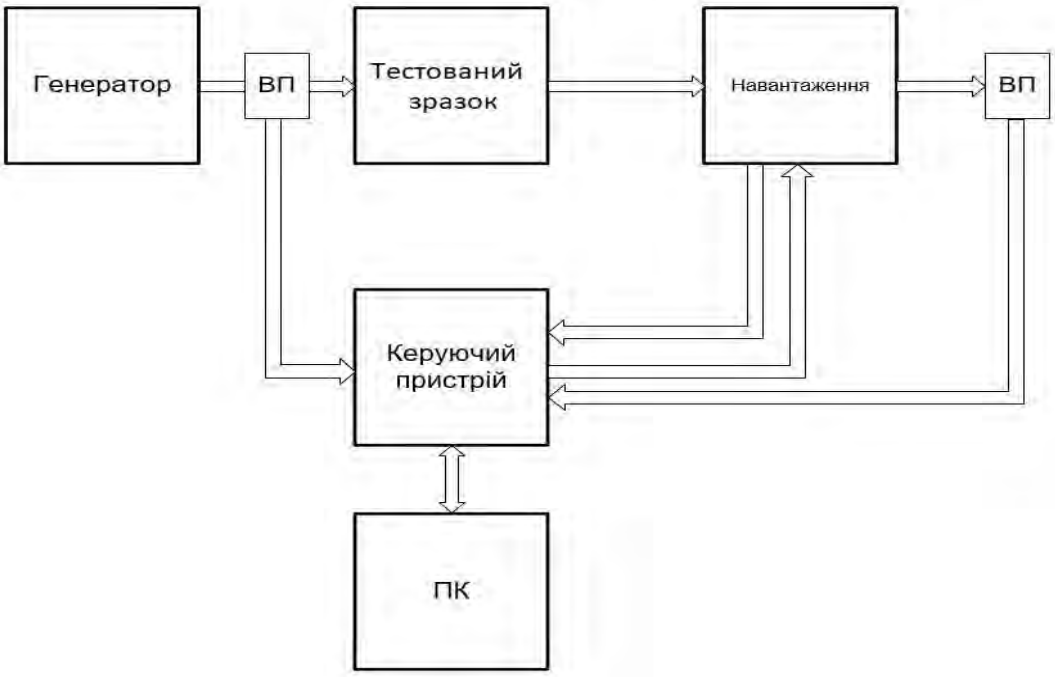



Рисунок 1. Структура автоматичної модульної системи

Також відомі і інші системи для тестування комп'ютерних блоків живлення. Наприклад в [6] наведений опис стенду для тестування. Але недоліками цього рішення є відсутність автоматичного режиму роботи.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тому метою даної статті є розробка автоматизованої системи тестування комп'ютерних блоків живлення з реалізацією повернення зайвої енергії в мережу.

В якості основи реалізації такої системи, доцільно використати регулятори струму, а рекуперацію енергії здійснювати з допомогою мережевого інвертора. В такому випадку, майже вся енергія, яка буде споживатися блоком живлення, за винятком втрат, буде повернена назад в мережу.

Серед переваг такого підходу можна виділити те, що подібна система дає змогу регулювати навантаження в кожному каналі окремо, що дозволить більш точно визначити відповідність характеристик тестованого зразку до заявлених.

До складу розроблюваної системи доцільно включити: блок керованого навантаження, підсистему вимірювання параметрів електричної напруги та модуль для зв'язку з персональним комп'ютером.

Структура такої схеми наведена на рис.2

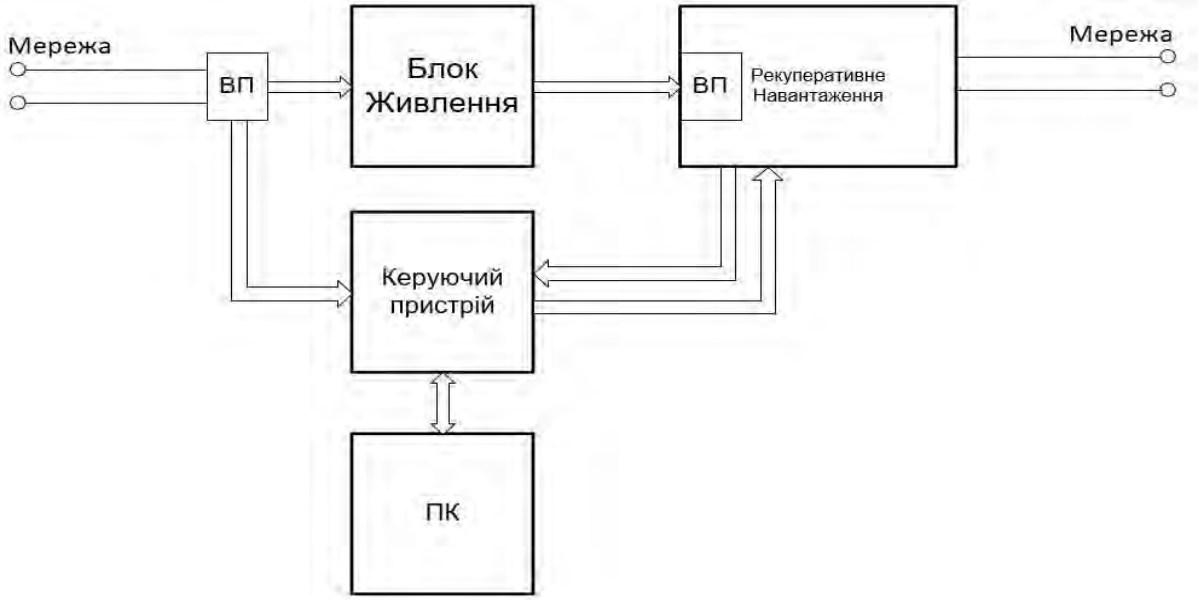



Рисунок 2. Структура пропонованої системи.

Вимірювальні прилади на вході та виході використовуються для визначення струмів та напруг, що дозволить оцінити відповідність фактичного ККД до заявленого виробником. Рекуперативне навантаження окрім власне формування навантаження у лініях живлення дає змогу повертати енергію в мережу, за винятком втрат. Керування навантаженням та прийом даних виконується керуючим пристроєм, який в свою чергу передає отриману інформацію на персональний комп'ютер оператора.

Алгоритм тестування передбачає виконання декількох етапів. На першому етапі вимірюється чергове живлення в режимі холостого ходу, яке має складати 5 В. Далі підключається статичне навантаження, та порівнюються значення напруги. Якщо відхилення не перевищує 5% система переходить на другий етап.

На другому етапі системою створюється сигнал PS-ON і блок живлення запускається. Система вимірює покази напруги по каналам 12 В, 5 В, 3.3 В при встановленні струму навантаження у розмірі 100 % від заявленого виробником; загальну потужність, вхідну напругу та струм. Також перевіряється форма вхідного струму.

На третьому етапі змінюючи навантаження почергово встановлюються 20%, 50% та 100% потужності заявленої виробником. Знімаються покази з ліній 12 В, 5В, 3.3 В.

Четвертим етапом є передача даних отриманих на попередніх етапах до персонального комп'ютеру, розрахунок значень ККД та порівняння фактичних характеристик із заявленими в паспорті приладу.

## ВИСНОВКИ

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що запропонована система зберігає весь функціонал існуючих автоматизованих модульних систем, але при цьому має переваги у вигляді реалізації рекуперації енергії, значно меншої ціни, повної автоматизації процесу тестування та відсутності необхідності у наявності глибоких технічних знань оператором, який буде проводити тестування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шевчук, В. Сучасні блоки живлення АТХ та їх характеристики / В. Шевчук // Режим доступу: https://ua.gecid.com/power/ sovremennyee_bloki_pitaniya_atx_i_ih_harakteristiki/?s=all – 28.07.2009
2. Power Supply Design Guide for Desktop Form Factors / Intel – June 2018
3. ThermalTake Dr.Power 2 User Guide / ThermalTake Technology Co., Ltd., 2011. Режим доступу: www.URL:https://www.thermaltake.com/products-model.aspx?id=C_00001777
4. Електронний ресурс віддаленого доступу: Тести блоків живлення: методика Tom’s Hardware / Редакція THG. Режим доступу: www.URL: http://www.thg.ru/howto/psu_testing_metodika/print.html - 20.07.2010
5. Павлов, А. Системы тестирования LED-ламп и источников питания для промышленной светотехники производства Chroma ATE / А. Павлов // Полупроводниковая светотехника. — 2016. — № 12. — С. 6-10.
6. Патент 2548577 RU, МПК G01R1/00 Стенд для проверки, тестирования и анализа компьютерных блоков питания / Хамитов Л.Р., Давлетшин И.А.; заявник Публичное Акционерное Общество "Нижнекамскнефтехим". Режим доступу: www.URL:https://www.findpatent.ru/patent/254/2548577.htm.

***Наук. Керівник – к.т.н., доц. Стаценко О. В.***

**УДК 004.002**

*І.О. Нерозна, студентка гр. ВА-81мп*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЯ СТАБІЛЬНОСТІ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В СЕРЕДИНІ БДЖОЛИННОГО ВУЛИКА

***Анотація.*** У статті описана структура системи для вимірювання і регулювання показників мікроклімата завдяки вбудованому власному класифікатору невідповідностей.

***Ключові слова:*** дистанційне управління, статистичне регулювання, класифікатор, карти Шухарта.

## ВСТУП

Процес глобалізації світової економіки є новим поштовхом для прогресивного розвитку такої сфери сільського господарства, як рослинництво, з якою тісно пов'язаний бджолиний промисел, оскільки існує гостра потреба у якісному опиленні культурних рослин. Завдяки природному опиленню рослин бджолою, збільшує врожайність сільськогосподарських культур та усувається необхідність застосування пестицидів і створення гібридних рослин, здатних до самозапилення [1].

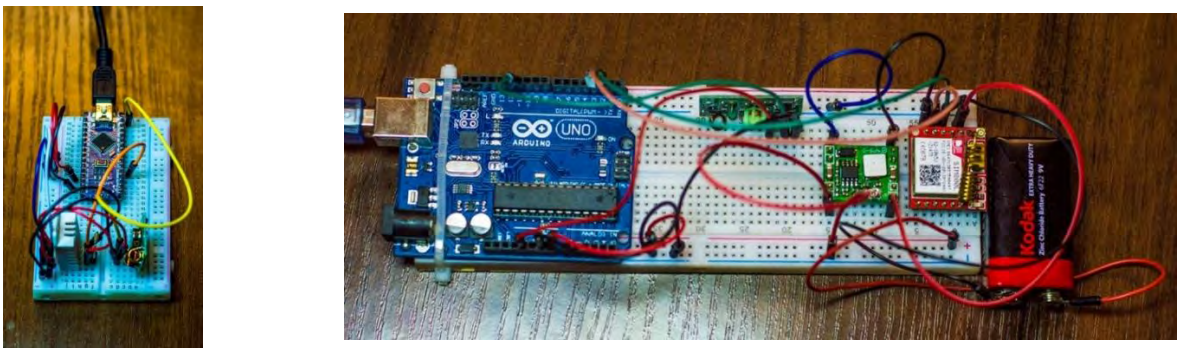
Через брак сучасних автоматизованих систем і комплексів, які застосовуються в бджильництві було прийняте рішення про створення системи дистанційного управління мікрокліматом всередині вулика. Отже, розроблена система дозволяє об’єднати регулювання основних параметрів для забезпечення нормальної життєдіяльності бджолиної сім'ї з діагностикою її життєвого циклу і надає можливість впливати на підвищення продуктивності. Процес регулювання полягає у визначенні невідповідності значень досліджуваних параметрів нормованими та у автоматичному вмиканні нагрівального елементу або вентиляції в середині бджолиного вулика.

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Життєвий аналіз нормальної життєдіяльності бджолиних сімей складається з наступних параметрів: температура, вологість, рівень вуглекислого газу та рівень шумів. У багатьох бджолиних ферм з орієнтацією на якісну продукцію та на збереження бджолиних сімей гостро постає питання використання системи, за допомогою якої на основі точної та швидко отримуваної інформації вирішуються питання контролю, підвищення продуктивності бджолиної сім’ї по медозбору, швидкодії та якості розплоду. Дана система має бути встановлена для діагностики стану комах протягом всього року та підтримувати нормальні умови існування бджоли [2].

Кожен вулик має бути обладнаний автономною частиною системи для вимірювання всіх необхідних показників та підсистемою для регулювання основних параметрів. Інша частина системи – ретранслятор, що може бути розміщений довільно, виконує функцію передачі даних через GSM модуль.

Розроблена система моніторингу та управління мікрокліматом в середині бджолинного вулика складається з двох підсистем, апаратні частини яких зображені на рисунках 2, 3 відповідно [3].



а) б)

Рисунок 2. Апаратна частина підсистеми моніторингу параметрів мікроклімату:

а) автономна частина вимірювання параметрів мікроклімату; б) блок ретранслятора

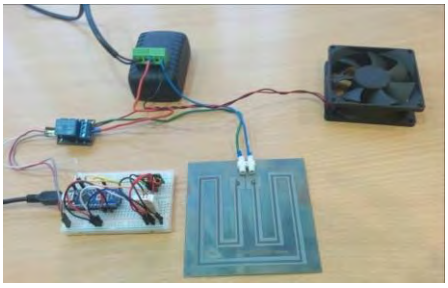


Рисунок 3. Апаратна частина підсистеми регулювання параметрів мікроклімату

Для вимірювання температури та вологості використовується цифровий датчик підвищеної точності DHT 22 типу AM2303. DHT 22 складається з двох датчиків в одному корпусі, результати вимірювання яких передаються через асинхронний послідовний інтерфейс SPI. Система працює на платі Arduino Uno на базі мікроконтролера ATmega 328p. Після зчитування мікроконтролером вимірювальних значень, параметри мікроклімату та порядковий номер вулика формуються в так званий пакет, що передається через радіопередавач частотою 433 МГц. Після опитування кожного вулика дані консолідуються у флеш-пам’яті Arduino Uno, що становить 32 Кб. Кожен інформаційний пакет сягає 6 байт в об’ємі пам’яті. Під час кожної ітерації опитування для пакету з даними встановлюється час опитування. Після п'ятої ітерації данні з мікроконтролера передаються на сервер через GSM модуль сигналом GPRS, що здійснює пакетну передачу даних через мобільний зв’язок.

GSM модуль на основі компонента SIM800L дає доступ до сервісів мереж GSM/GPRSB. В якості спеціального протоколу передачі данних обраний MQTT, відповідно до концепції IoT. В якості нагрівального елемента для підтримки нормальних температурних показників обраний електронагрівач вулика потужністю 10 Вт ТК «Пасіка». Живлення подається від зовнішнього блоку живлення, напруга якого становить 12 В. Для автоматичного вмикання обігрівача до плати Arduino Uno під’єднано одноканальний модуль-реле.

Вентеляційна система реалізована за допомогою вентилятора фірми Jamicon серії JF0625-00. Його продуктивність не менше 0,5 м3/хв, робоча напруга – 12 В, струм споживання – 0,23 А.

Головна задача полягає у забезпеченні саморегулювання системи, при цьому засобами регулювання мікрокліматом є електронагрівач та вентилятор.

Для її вирішення в основу програмного забезпечення підсистеми регулювання параметрів мікроклімату покладений найбільш ефективний метод статистичного регулювання – метод використання контрольних карт (карт Шухарта), на яких позначають границю регулювання, що обмежує область допустимих значень, обчислених на підставі статистичних даних [4]. Отже, у разі виникнення невідповідності показників температури або вологості від номінальних значень (наприклад, протягом 2 годин – в залежності від налаштування) автоматично вмикається нагрівач або вентиляційна система. При цьому забезпечується створення бази даних з результатами моніторингу параметрів мікроклімату.

Статистичне регулювання показників мікроклімату в середині вулика проводиться за допомогою 8 тестів, які розроблені та запрограмовані у ПЗ.

При цьому для вбудовування статистичного контролю в процес моніторингу показників мікроклімату і розподілення функції людей і машин (автономізації) застосовано японський підхід Дзидока [5], який забезпечує автономність устаткування, його здатність відрізняти стабільність показників без участі оператора, за допомогою контрольних карт.

Ідея програмного забезпечення підсистеми регулювання параметрів мікроклімату полягає в тому, що необхідно побудувати власний класифікатор, за допомогою якого можна було б з високою ймовірністю класифікувати вихід показників температури або вологості за межі норми [6]. Після побудови такого класифікатору стало можливим отримання з високою ймовірністю сигналу про те, що при даному конкретному спостереженні має місце невідповідність. Це дозволяє удосконалити роботу системи Дзидока, а також зменшити кількість хибних спрацювань системи.

Для побудови класифікатора спочатку був вибраний один із найпростіших методів класифікації – логістична регресія. Це дає змогу, використовуючи сігмоїдну функцію як гіпотезу, передбачити можливість того, що екземпляр даних, поданий на вхід регресії, належить або до класу «1», або ж до класу «0». В підсистемі регулювання параметрів мікроклімату для мінімізації функції витрат використовується ітеративний алгоритм градієнтного спуску. Для цього, необхідно розраховувати функцію витрат, а також градієнт від функції витрат для кожного вибраного значення $\theta$. Завдяки таким розрахункам, просто і легко натренувати класифікатор на задачу класифікації присутності або відсутності невідповідності. Але такий підхід виявляється недостатнім, щоб класифікувати всі виявлені в процесі моніторингу невідповідності. Тому, було використано так звану Softmax регресію або поліноміальну логістичну регресію, яка є нічим іншим, як загальним випадком логістичної регресії.

Для вимірювання показників температури та вологості є чотири різні класи: 1 – невідповідність температурного показника відсутня; 2 – спостерігається вихід за нормований показник температури протягом тривалого часу; 3 – невідповідність температурного показника відсутня; 4 – спостерігається вихід за нормований показник вологості протягом тривалого часу. Подаючи тестове значення $x$, потрібно, щоб гіпотеза оцінювала

ймовірність $P(y=k\,|\,x)$, для кожного значення $k = 1,\ldots K$, де $K$ для даної системи дорівнює 4. Припустимо, що необхідно оцінити ймовірність, з якою вхідний параметр належить до кожного *k-го* класу. Виходячи з цього, гіпотеза має повертати *K-мірний* вектор (сума елементів якого дорівнює одиниці), надаючи $K$ оцінок ймовірності. Таким чином, для розробленої підсистеми функція гіпотези прийме вигляд

$$h_\theta(x)=\begin{bmatrix} P(y=1\,|\,x;\theta) \\ P(y=2\,|\,x;\theta) \\ P(y=3\,|\,x;\theta) \\ P(y=4\,|\,x;\theta) \end{bmatrix}=\frac{1}{\sum_{j=1}^{4} e^{\left(\theta^{(j)T}x\right)}}\begin{bmatrix} e^{\theta^{(1)T}x} \\ e^{\theta^{(2)T}x} \\ e^{\theta^{(3)T}x} \\ e^{\theta^{(4)T}x} \end{bmatrix}.$$

Таким чином, застосування описаного вище математичного апарату дало змогу створити класифікатор, який з високою ймовірністю дає відповідь, чи присутня тривала невідповідність номінальному значенню показників температури або вологості, а якщо присутня, то конкретно яка. Це надає можливість більш точно визначати причину виникнення невідповідності та швидше з’ясувати шляхи для запобігання проблеми в майбутньому.

## ВИСНОВОК

Завдяки розробленій системі з’явилась можливість постійного вимірювання та запису показників мікроклімату протягом доби, контролю границь цих показників і автоматичного їх регулювання, що сприяє якісному природному опиленню культурних рослин, підвищує рентабельність продукції та економічну ефективність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція управління пасікою через інтернет. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://doroshenkoaa.ru/computer/kontseptsiya-upravleniya-pasekoi-po-internetu-zaglyanem-v-budushchee-pchelovodstva – Дата доступу: 20.10.17.
2. Мікроклімат в бджолинному гнізді. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://hyuuj09.narod.ru/index/0-4 -– Дата доступу: 05.10.18.
3. Підсистема моніторингу параметрів мікроклімату бджолиного вулика / І.О. Нерозна, М.В. Добролюбова // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018»: збірник тез доповідей учасників (ел.), 13-18 лютого 2018 р., м. Славське, 2018. – С. 26-27.
4. ДСТУ ISO 8258-2001 Контрольні карти Шухарта (ISO 8258-1991 IDT).
5. Управление производством [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.up-pro.ru/encyclopedia/dzidoka.html – Дата доступу: 20.10.18 – Энциклопедия производственного менеджмента.
6. UFLDL Tutorial. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ufldl.stanford.edu/tutorial/ – Дата доступу 09.05.17 – Deep Learning Tutorial.

***Наук. керівник – к.т.н., доц., Добролюбова М.В.***

**УДК 681.518.3**

*Д. М. Семенко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Стаценко О. В.*
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

# СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ

***Анотація.*** Дана стаття присвячена вирішенню питань побудови системи енергоефективного керування вентиляцією офісних приміщень. В роботі запропонована структура системи керування вентиляцією, яка забезпечує підтримання концентрації вуглекислого газу в допустимих межах. Розглянуті основні способи вимірювання концентрацій газів та показано, що для вимірювання концентрації вуглекислого газу найбільш доцільно використовувати не дисперсні інфрачервоні датчики.

***Ключові слова:*** енергоефективне керування, системи вентиляції, не дисперсні інфрачервоні датчики.

## ВСТУП

Системи вентиляції забезпечують обмін повітря в приміщенні для видалення надлишків теплоти, вологи, шкідливих та інших речовин з метою забезпечення допустимих параметрів мікроклімату [1]. В залежності від призначення приміщення вимоги до організації вентиляції суттєво відрізняються [2]. Одним з основних параметрів мікроклімату, який визначає вимоги до систем вентиляції, є якість повітря в приміщенні. Відповідно до [3] цей параметр визначається вмістом в повітрі забруднюючих речовин. Для житлових та адміністративних приміщень одним з основних забруднювачів є вуглекислий газ.

Цей газ є четвертим найбільш поширеним газом в земній атмосфері. У великій концентрації в повітрі він шкідливий для організму людини, так при концентрації 100000 ppm (10 %) людина втрачає свідомість, а при концентрації 250000 ppm (25 %) наступає смерть. Відповідно до [3] в залежності від концентрації $CO_2$ якість повітря в приміщені поділяється на чотири класи, при цьому граничні допустимі межі концентрації складають 800 ppm для першого класу, і 1600 ppm для четвертого класу. Одночасно з цим останні медичні дослідження [4] вказують на те, що і при концентрації $CO_2$ на рівні 1000 ppm у людини зменшується зосередженість, погіршується здатність виконання певних видів робіт і продуктивність праці знижується. Таке зниження, особливо на етапі прийняття стратегічних рішень, може призвести до негативних наслідків, економічний ефект від яких буде гіршим, ніж від додаткових витрат на підвищення продуктивності вентиляційних систем.

При цьому слід враховувати, що для офісних приміщень характерним є різна швидкість зміни концентрації $CO_2$ для різних приміщень у різний час. В цьому випадку доцільним є регулювання продуктивності вентиляційних систем в залежності від поточної концентрації. Зниження продуктивності вентиляції за малої кількості людей в приміщенні, а відтак, низької швидкості зміни концентрації $CO_2$, призведе до зменшення енерговитрат і, відповідно, підвищення енергетичної ефективності всієї системи. Тому вирішення задачі побудови автоматизованих вентиляційних систем є актуальним.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Відомі роботи присвячені побудові автоматизованих вентиляційних систем

[5,6]. Розглянуті системи дозволяють: підтримувати температуру повітря, яке надходить до приміщення у холодний та теплий період, на заданому рівні, проводити захист системи від замерзання, здійснювати аварійне відключення вентиляції під час пожежі, контролювати стан обладнання та здійснювати диспетчеризацію всієї системи.

Такі системи, окрім безпосередньо вентилювання приміщень, виконують функції опалення та кондиціювання. Недоліком їх роботи є відсутність врахування концентрації $CO_2$. Тому метою даної роботи є розробка структури системи енергоефективного керування вентиляцією, що забезпечуватиме підтримування концентрації вуглекислого газу в допустимих межах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Системи примусової вентиляції зазвичай реалізують з використанням двох підходів: перший підхід передбачає забезпечення питомих норм обміну повітря, другий підхід передбачає підтримання у приміщенні заданого рівня концентрації забруднюючих речовин. В першому випадку обсяг повітря, який повинен бути прокачаний вентиляційною системою розраховується в залежності від призначення приміщення, кількості працюючих, технічних умов та інше. В другому випадку розрахунок обсягу повітря здійснюється в залежності від характеристики та обсягу забруднюючих речовин в приміщенні. Динамічне переміщення та постійна зміна кількості осіб у офісних приміщеннях потребує гнучкої зміни режиму роботи вентиляційної системи, що й визначає витрати енергії. На рис. 1 наведена спрощена схема автоматизованої вентиляції, що реалізує підпорядковане регулювання приводу вентилятора.

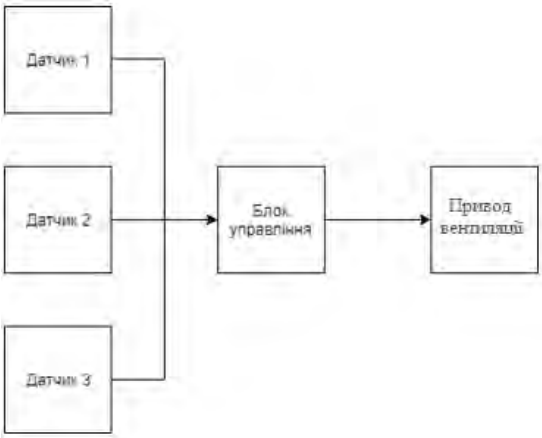



Рис.1. Спрощена схема автоматизованої вентиляції

Принцип роботи системи передбачає початкове вимірювання рівня концентрації вуглекислого газу в повітрі з використанням датчиків. Потім з них інформація передається на блок управління, де вираховується середнє значення. На підставі цього розраховується сигнал керування приводом вентилятора який подається на контролер приводу вентиляції.

Для побудови такої системи необхідно вирішити ряд задач таких як: вибір системи вентиляції, канали передачі сигналу, єдина система контролю та спосіб вимірювання концентрації $CO_2$.

Основним питанням є вимірювання концентрації вуглекислого газу. На сьогоднішній день існує декілька способів вимірювання концентрації газу в повітрі [7]. Ці способи передбачають використання: датчиків зі структурою метал-оксид-напівпровідник, електрохімічних газових сенсорів, не дисперсних інфрачервоних датчиків, пелісторів, фото-іонізаційних детекторів. Для вимірювання концентрації саме $CO_2$ найбільш розповсюджені перші два типи.

Перший тип базується на відстеженні зміни провідності внаслідок реакції чутливого елементу з газом. Недоліками датчиків такого типу є суттєва залежність від відносної вологості повітря, слабка вибірковість для визначення концентрації конкретного газу, суттєва температурна залежність.

Другий підхід до вимірювання базується на властивості молекул газу поглинати світло, довжина хвилі яких дорівнюють розміру молекули газу. Для газів, що присутні у повітряній суміші можна навести залежність ефективності поглинання від довжини хвилі (рис.2.).

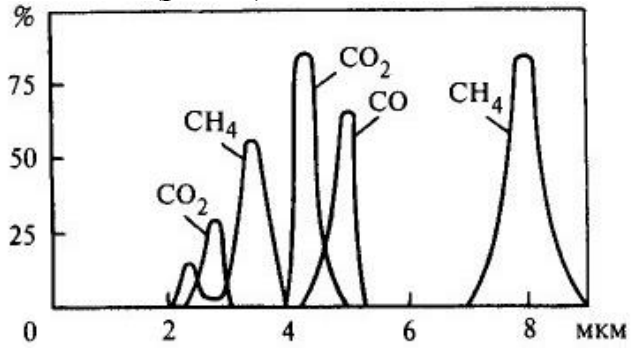



Рис.2. Залежності ефективності поглинання світла молекулами газів від довжини хвилі

Відповідно для вуглекислого газу найбільший рівень поглинання відповідатиме довжині хвилі 4.3 мкм. Структура, що відображає принцип дії такого датчика зображена на рисунку 3.

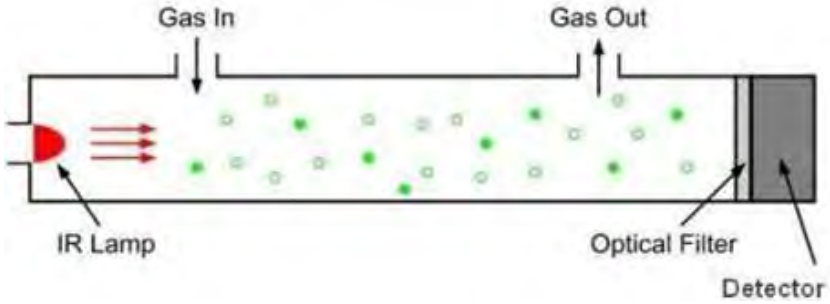



Рис. 3.Структура ІЧ датчика

Інфрачервона (ІЧ) лампа направляє хвилі світла через трубу, наповнену повітрям, до інфрачервоного детектора, який вимірює кількість інфрачервоного світла, що потрапляє на нього. Частина хвиль світла поглинається молекулами газу, а решта потрапляє на оптичний фільтр, який поглинає кожну довжину хвилі світла, за винятком точної довжини хвилі, поглиненої $CO_2$. Нарешті, ІЧ-детектор зчитує кількість світла, яке не поглинається молекулами $CO_2$ або оптичним фільтром. Вимірюється різниця між кількістю світла, випромінюваного ІЧ-лампою, і кількістю ІЧ-випромінювання, що приймається

детектором. Різниця пропорційна кількості молекул $CO_2$ в повітрі усередині трубки.

Прикладами датчика з реалізацією за допомогою інфрачервоного випромінювання є MH-Z19B та SC2 IXP4-32P-LZ-S4. Діапазон вимірювання таких датчиків складає від 0 до 10000 ppm, точність складає ±50 ppm. Вихідний сигнал про поточну концентрацію $CO_2$ може бути представлений аналоговим сигналом, за допомогою ШІМ або цифровим сигналом. Час спрацьовування складає до 30 с.

## ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано структура системи для забезпечення енергоефективного керування вентиляцією з підтриманням концентрації вуглекислого газу в повітрі в заданих межах. Показано, що використання недисперсних інфрачервоних датчиків є найбільш доцільним в такій системі. Подальші дослідження доцільно присвятити дослідженню особливостей керування електроприводами вентиляції, що забезпечуватиме мінімізацію споживаної енергії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системи вентиляції. Терміни та визначення: ДСТУ 2388-94. — [Введ. в дію 17.04.1995]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 49 с. — (Національний стандарт України)

2. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. — [Введ. в дію 25.01.2013]. — К. : Державні будівельні норми України, 2013, — 24 — (Міністерства регіонального розвитку)

3. Здания Жилые и Общественные. Параметры микроклимата в помещениях: ГОСТ 30494-2011 — [Введ. в дію 01.01.2013]. — Межгосударственный стандарт, 1994. — 191 с. — (национальный стандарт Российской Федерации)

4. Is $CO_2$ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate $CO_2$ Concentrations on Human Decision-Making Performance / Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert and William J. Fisk // Environmental Health Perspectives, 2012. – Vol. 120, № 12, pp. 1671-1677.

5. Мозговой А. В. Автоматизированная система управления вентиляцией с использованием коэффициента комфортности / А. В. Мозговой // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика, 2011. — Т - № 1/2011 (1) – С. 148-149.

6. Ягьяева Л. Т., А. А. Ахметханов: Автоматизированная система управления приточно-вытяжной вентиляции / Л. Т. Ягьяева, А. А. Ахметханов — К Вестник Казанского технологического университет, 2013. – № 22, том 16, с.264-266.

7. Thompson J. E. Crowd-sourced air quality studies: A review of the literature & portable sensors / Jonathan E. Thompson — К Trends in Environmental Analytical Chemistry, 2016. - № 11 (2016), pp. 23–34.

**УДК 629.7**

*М. Г. Скрипковська, студентка, гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. М. Г. Черняк, к.т.н., доц. М. В. Добролюбова*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МОДЕЛЬ ПОХИБОК ТА АЛГОРИТМИ ЇХ КОРЕКЦІЇ У МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ СИСТЕМІ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ НАХИЛУ НЕРУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

***Анотація.*** В статті представлені матеріали щодо розробки моделі сумарної похибки та алгоритмів корекції похибок з використанням кусково-лінійної апроксимації, які застосовуються у створеній мікропроцесорній системі вимірювання кутів нахилу нерухомого об’єкта або в аналогічних системах з метою підвищення точності.

***Ключові слова:*** кут нахилу, похибки, корекція, кусково-лінійна апроксимація.

## ВСТУП

В багатьох галузях техніки, промисловості, будівництва існує потреба у вимірюванні з високою точність кутів нахилу об’єктів відносно площини місцевого горизонту. Такі об’єкти – платформи, радари, телескопи, будівельні крани, опори мостів, архітектурні споруди, транспортні магістралі тощо [1].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета статті – розробити модель сумарної похибки та алгоритми корекції похибок, застосовані при створенні мікропроцесорної системи вимірювання кутів нахилу нерухомого об'єкту від площини горизонту (МСВКН), яка має наступні характеристики: абсолютна похибка менше однієї кутової мінути в діапазоні кутів ±10° в робочому діапазоні температур -40…+70°С [2-4].

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Первинні перетворювачі МСВКН – два акселерометри (АК) зі взаємно перпендикулярними вимірювальними осями. Біля АК встановлені термодатчики. Аналогові вимірювальні перетворювачі (АВП) забезпечують роботу АЧВ. Мікроконтролер (МК) включає в себе два високоточні АЦП [5] та виконує компенсацію похибок вимірювання і розрахунок кутів. Вихідні сигнали видаються на персональний комп’ютер (ПК) по інтерфейсу RS-422.

На рисунку 1 наведена структурна модель каналів кутів тангажу та крену МСВКН із джерелами похибок. Канали мають аналогічні джерела похибок.

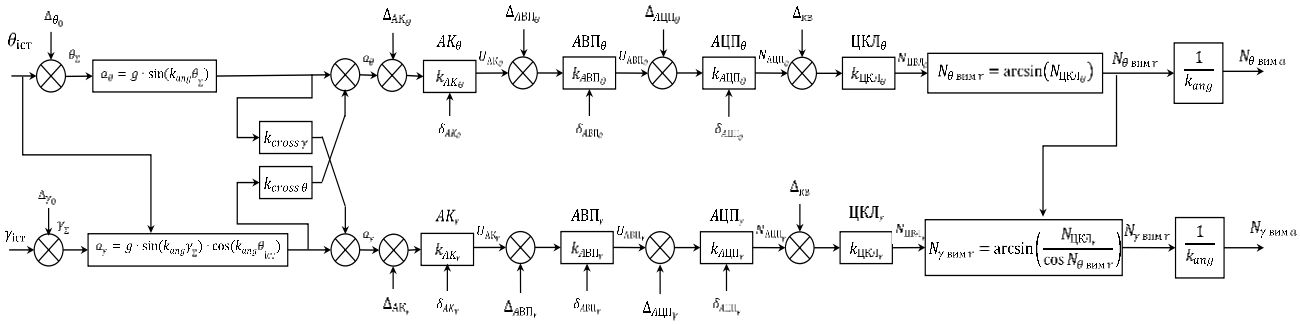



Рисунок 1. Структурна модель МСВКН із джерелами похибок

$\gamma_{icm}$, [asec] – вимірюваний кут крену; $\theta_{icm}$, [asec] – вимірюваний кут

тангажу; $k_{ang} = \frac{\pi}{180 \cdot 3600}$ – коефіцієнт перетворення (КП) величини кута з [asec] у [rad]; $\Delta_{\gamma_0}$, $\Delta_{\theta_0}$, [asec] – абсолютні систематичні адитивні похибки (АП) початкових кутів відхилення вимірювальних осей $AK_\gamma$, $AK_\theta$ від базової площини МСВКН; $g$, [$m/c^2$] – прискорення вільного падіння; $k_{cross\,\gamma}$, $k_{cross\,\theta}$, [1] – коефіцієнти перехресного зв'язку (КПЧ); $\alpha_\gamma$, $\alpha_\theta$, [$m/c^2$] – проекції прискорення на вісі чутливості $AK_\gamma$, $AK_\theta$; $\Delta_{AK_\gamma}$, $\Delta_{AK_\theta}$, [$m/c^2$] – зміщення нуля (ЗН) $AK_\gamma$, $AK_\theta$; $k_{AK_\gamma}$, $k_{AK_\theta}$, [$B/g$] – КП $AK_\gamma$, $AK_\theta$; $\delta_{AK_\gamma}$, $\delta_{AK_\theta}$, [1] – відносні мультиплікативні похибки (МП) КП $AK_\gamma$, $AK_\theta$; $U_{AK_\gamma}$, $U_{AK_\theta}$, [V] – вихідна напруга $AK_\gamma$, $AK_\theta$; $АВП_\gamma$, $АВП_\theta$, [V] – АВП; $\Delta_{АВП_\gamma}$, $\Delta_{АВП_\theta}$, [V] – ЗН $АВП_\gamma$, $АВП_\theta$; $k_{АВП_\gamma}$, $k_{АВП_\theta}$, [1] – КП $АВП_\gamma$, $АВП_\theta$; $\delta_{АВП_\gamma}$, $\delta_{АВП_\theta}$, [1] – МП КП $АВП_\gamma$, $АВП_\theta$; $U_{АВП_\gamma}$, $U_{АВП_\theta}$, [V] – вихідна напруга $АВП_\gamma$, $АВП_\theta$; $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$ – АЦП; $\Delta_{АЦП_\gamma}$, $\Delta_{АЦП_\theta}$, [V] – ЗН $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$; $k_{АЦП_\gamma}$, $k_{АЦП_\theta}$, [1/V] – КП $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$; $\delta_{АЦП_\gamma}$, $\delta_{АЦП_\theta}$, [1] – МП КП $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$; $N_{АЦП_\gamma}$, $N_{АЦП_\theta}$, [1] – вихідний код $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$; $\Delta_{кв_\gamma}$, $\Delta_{кв_\theta}$, [1] – похибки квантування $АЦП_\gamma$, $АЦП_\theta$; $ЦКЛ_\gamma$, $ЦКЛ_\theta$ – цифрові коригувальні ланки; $k_{ЦКЛ_\gamma}$, $k_{ЦКЛ_\theta}$, [1] – КП $ЦКЛ_\gamma$, $ЦКЛ_\theta$; $N_{ЦКЛ_\gamma}$, $N_{ЦКЛ_\theta}$, [1] – вихідні коди $ЦКЛ_\gamma$, $ЦКЛ_\theta$; $N_{\gamma\,вим\,r}$, $N_{\theta\,вим\,r}$, [1] –коди, чисельно рівні виміряним кутам у [rad]; $N_{\gamma\,вим\,\alpha}$, $N_{\theta\,вим\,\alpha}$, [1] – вихідні коди, чисельно рівні виміряним кутам у [asec].

За відсутності похибок $k_{ЦКЛ_\gamma}$, $k_{ЦКЛ_\theta}$ мають бути обернено пропорційними добуткам прискорення на інші коефіцієнти відповідного каналу, тоді вихідний код чисельно дорівнюватиме істиному вимірюваному куту у [asec]. Рівняння вимірювання і за наявності похибок є подібними, що дозволяє розглянути узагальнений канал вимірювання з вхідним кутом $\beta$.

МП на виході ЦКЛ до алгоритмів корекції при 20 $^\circ$C [6]:

$$\delta_{N_{ЦКЛ}} = \pm\left(\left|\delta_{AK}\right| + \left|\delta_{АВП}\right| + \left|\delta_{АЦП}\right|\right) = \pm 0.23\%. \quad (1)$$

АП на виході ЦКЛ до алгоритмів корекції при 20 $^\circ$C [6]:

$$\gamma_{N_{ЦКЛ}} = \pm\left(\frac{k_{ang}\left|\Delta_{\beta_0}\right|}{x_N} + \frac{\left|\Delta_{\alpha_{cross}}\right|}{x_N g} + \frac{\left|\Delta_{AK}\right|}{x_N g} + \frac{\left|\Delta_{АВП}\right|}{x_N g k_{AK}} + \frac{\left|\Delta_{АЦП}\right|}{x_N g k_{AK} k_{АВП}} + \frac{\left|\Delta_{кв}\right|}{x_N g k_{AK} k_{АВП} k_{АЦП}}\right) = \pm 0.07. \quad (2)$$

де $\Delta_{\alpha\ cross}$ – АП, викликана наявністю перехресного зв'язку.

Сумарна АП на виході ЦКЛ до алгоритмів корекції при $20^{\circ}\mathrm{C}$ (основна) [7]:

$$\Delta_{\Sigma N_{ЦКЛ}} = \delta_{N_{ЦКЛ}} \cdot \sin\left(k_{ang}\beta_{icm}\right) + \Delta_{N_{ЦКЛ}} = 0.05 \quad (3)$$

Корекція здійснюється ЦКЛ, її константи визначаються за однократного калібрування для екземпляру МСВКН. МСВКН встановлюється на платформу, закріплену на валу оптичної ділильної головки (ОДГ) всередині термокамери. Систему тестують при 20°С, -35°С, -5°С, +60°С, з точністю 5 asec задають кути крену в діапазоні кутів ±10° при 0° по тангажу, потім – навпаки.

Під час калібрування на горизонтальній площині при 20°С для кожного каналу налаштовують такі коефіцієнти $k_{ЦКЛ}$ та поправки $C_{ЦКЛ}$ :$C_{ПКЛ}$

$$k_{ЦКЛ} = \frac{1}{g \cdot k_{AK}\left(1+\delta_{AK}\right)k_{AВП}\left(1+\delta_{AВП}\right)k_{AЦП}\left(1+\delta_{AЦП}\right)}, \quad (4)$$

$$C_{ЦКЛ} = -\left(k_{ang}\Delta_{\beta_0} + \frac{\Delta_{AK}}{g} + \frac{\Delta_{AВП}}{gk_{AK}} + \frac{\Delta_{AЦП}}{gk_{AK}k_{AВП}}\right). \quad (5)$$

Для компенсації похибки перехресного зв'язку у ЦКЛ додається складова:

$$C_{ЦКЛ\ cross\ \gamma} = -k_{cross\ \gamma} \cdot N_{AЦП_\theta}, \quad (6)$$

$$C_{ЦКЛ\ cross\ \theta} = -k_{cross\ \theta} \cdot N_{AЦП_\gamma}. \quad (7)$$

Якщо скомпенсувати основні систематичні АП кодів АЦП, то добуток $N_{AЦП} \cdot k_{ЦКЛ}$ дорівнюватиме істинному (дійсному, заданому ОДГ) значенню сінуса вимірюваного кута, з похибкою, яка не перевищуватиме допустиме значення $\Delta_{\Sigma N_{ЦКЛ}}$. Тоді при $20^{\circ}\mathrm{C}$ вимірюваний кут можна знайти за формулами

$$\gamma = \arcsin\left(\left(N_{AЦП_\gamma} + C_{ЦКЛ_\gamma} + C_{ЦКЛ_{\gamma\ cross\ \theta}}\right) \cdot k_{ЦКЛ_\gamma}\right), \quad (8)$$

$$\theta = \arcsin\left(\left(N_{AЦП_\theta} + C_{ЦКЛ_\theta} + C_{ЦКЛ_{\theta\ cross\ \gamma}}\right) \cdot k_{ЦКЛ_\theta}\right). \quad (9)$$

У реальних умовах, через вплив додаткових температурних похибок, максимальна сумарна АП може перевищувати допустиму. Залежності від температури є нелінійними, тому застосовано кусково-лінійну апроксимацію.

ЗН при будь-якій $t^{\circ}$ всередині деякого інтервалу, при яких $t_1^{\circ} < t^{\circ} < t_2^{\circ}$, для будь-якого каналу визначається як:

$$C_{ЦКЛ\ t^{\circ}} = k_{C\ ЦКЛ}\left(t^{\circ} - t_1^{\circ}\right) + C_{ЦКЛ\ t_1^{\circ}}, \quad (10)$$

де

$$k_{C\ ЦКЛ} = \frac{C_{ЦКЛ\ t_2^{\circ}} - C_{ЦКЛ\ t_1^{\circ}}}{t_2^{\circ} - t_1^{\circ}}, \quad (11)$$

де $C_{ЦКЛ\ t_2^{\circ}}$, $C_{ЦКЛ\ t_1^{\circ}}$ – ЗН при температурах $t_2^{\circ}$, $t_1^{\circ}$.

Величина МП коефіцієнтів $k_{ЦКЛ\,t^\circ}$ при будь-якій $t^\circ$ всередині деякого інтервалу температур, при яких $t^\circ_1 < t^\circ < t^\circ_2$, для будь – якого каналу визначається:

$$\delta_{ЦКЛ\,t^\circ} = k_{\delta\,ЦКЛ}\left(t^\circ - t_1^\circ\right) + \delta_{ЦКЛ\,t_1^\circ}, \quad k_{\delta\,ЦКЛ} = \frac{\delta_{ЦКЛ\,t_2^\circ} - \delta_{ЦКЛ\,t_1^\circ}}{t_2^\circ - t_1^\circ} \qquad (12)$$

де $\delta_{ЦКЛ\,t_2^\circ}$, $\delta_{ЦКЛ\,t_1^\circ}$ –константи, величини МП коефіцієнтів $k_{ЦКЛ\,t^\circ}$ $k_{ЦКЛ_\gamma\,t^\circ}$ та при температурах $t_2^\circ$, $t_1^\circ$.

Після застосування алгоритмів корекції експериментально перевірено, що в межах всього діапазону кутів та температур, АП не перевищує допустиму.

## ВИСНОВКИ

Надані основні результати, отримані при розробці моделі сумарної похибки та алгоритмів корекції похибок МСВКН. Застосування наведених алгоритмів дозволяє здійснювати вимірювання кутів нахилу з високою точністю – сумарна абсолютна похибка не більше однієї кутової мінути.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інклінометр // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інклінометер – Дата доступу: 05.11.18 – Інклінометр.

2. Розробка пристрою вимірювання кутів крену та тангажу нахилу нерухомого об'єкту від площини місцевого горизонту / М.Г. Скрипковська // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018»: збірник тез доповідей учасників (ел.), 13-18 лютого 2018 р., м. Славське, 2018. – С. 37-38.

3. The device for measure the inclination angles of a motionless object relative to the local horizon plane / M.Skrypkovska // XI international students and young scientists conference «Intelligence. Integration. Reliability»: abstracts, 12 April 2018. – Kyiv/Warsawa, 2018. – С. 27-28.

4. Скрипковська, М. Г. Розробка мікропроцесорної системи вимірювання кутів нахилу нерухомого об’єкту від площини горизонту / М. Г. Скрипковська, М. Г. Черняк, М. В. Добролюбова // науково-технічний збірник «Механіка гіроскопічних систем». — 2018. Вип. 35. — С. 49-67.

5. Datasheet ADuCM360 Analog Devices // Analog Devices – Режим доступу: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ ADuCM360_361.pdf – Дата доступу: 10.11.18 – ADuCM360/ADuCM361 (Rev. D).

6. Ціделко В.Д. Основи метрології та вимірювальної техніки: навч. посіб.: у 2 т. Т. 2 / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук, С.А. Затока. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015 – 268 с.

7. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П.П. Орнатский. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1976 – 432 с.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Добролюбова М.В.***

**УДК 004.415.53**

*Р.А. Токар, студентка гр. МгЯС-17*
Київський національний університет технологій та дизайну

# ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

***Анотація.*** Розглянуто особливості процесу оцінювання відповідності програмного забезпечення. Визначено основні характеристики, що впливають на якість програмного забезпечення. Здійснено порівняльну оцінку методів функціонального тестування.

***Ключові слова:*** програмне забезпечення, оцінка відповідності, характеристики, функціональність, тестування.

## ВСТУП

На даному етапі розвитку еволюції, відбувається великий прогрес нових технологій, відповідно ростуть вимоги до якості програмного забезпечення (далі - ПЗ). Складність процесу розробки та супроводу ПЗ багато в чому обумовлюється особливими вимогами, що пред'являються до його якості. Цей фактор обґрунтовує важливість розробки формалізованих методів управління якістю ПЗ. Вичерпна специфікація й оцінювання якості програмного продукту (далі – ПП) – ключовий чинник у забезпеченні відповідної якості. Її можна досягти за допомогою визначення адекватних характеристик якості, звертаючи увагу на призначеність використання ПП.

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

На даний момент в Україні не існує Технічного регламенту про програмне забезпечення. Тому в цьому випадку залишається проводити оцінку відповідності тільки шляхом сертифікації продукції. Сертифікація ПЗ – це визначення третьою стороною якісних характеристик продукту. Третьою стороною виступає орган з сертифікації, який уповноважений на проведення даних робіт відповідно акредитації. Оцінка відповідності ПЗ здійснюється шляхом підтвердження показників якості ПЗ відповідним стандартам.

Відповідно до моделі якості, запропонованої в стандарті ISO/IEC 9126-1 [1], властивості (або атрибути) ПЗ, що характеризують її якість, складаються з шести категорій, кожна з яких асоціюється з однією з характеристик якості: функціональність, надійність, зручність використання, ефективність, супроводженість, мобільність.

Користувачі ПЗ відчувають потребу в створені моделей якості ПЗ для оцінки якості як якісного, так і кількісного. Моделі якості, які є в даний час, у більшості випадків є ієрархічними моделями на основі критеріїв якості та пов’язані з ними показників (метрик) [2].

Вимірювання потрібні на всіх рівнях моделей якості, оскільки задоволення критеріїв внутрішньої якості зазвичай не вистачає для забезпечення гарантії досягнення критеріїв зовнішньої якості, а задоволення критеріїв зовнішньої якості зазвичай не достатньо для забезпечення гарантії задоволення критеріїв експлуатаційної якості.

Метрики якості у використанні (метрики експлуатаційної якості) вимірюють ступінь, у якій ПП, встановлений і експлуатований в певному середовищі, задовольняє потреби користувачів в ефективному, продуктивному і безпечному рішенні задач [3].

Очевидно, що для правильного вимірювання експлуатаційної якості важливо враховувати контекст застосування ПЗ - особливості категорій її користувачів, специфіку розв'язуваних ними завдань, а також фізичні і соціальні чинники середовища їх роботи.

## ПРОЦЕДУРА ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для того, щоб оцінити якість ПЗ, спочатку необхідно встановити вимоги до оцінювання, а потім специфікувати, спроектувати та виконати оцінювання.

Оцінювання ПЗ може бути великою і складною роботою. Різні аспекти характеристик і підхарактеристик ПЗ можуть вимагати використання різних методологій оцінювання і збирання різних даних. Для того, щоб подолати цю складність, потрібно структурувати оцінювання на керовані частини. Кожна з цих частин може охоплювати один або більше аспектів якості. Проте, кожна частина повинна зосереджуватися на оцінюванні одного конкретного аспекту якості, застосовуючи для цього певну методологію оцінювання. Один із головних показників ПЗ – функціональність.

Модуль оцінювання використовують для визначення функціональності ПЗ, де функціональність потрібно розуміти як ступінь, в якому компонент ПЗ надає функції, які відповідають встановленим вимогам. Характеристику функціональності потрібно оцінювати за правилами які наведені у формулі:

$$\mathrm{V_C} = \sum V_{SC_i} / nsc \qquad (1)$$

$$\left|V_{SC_j}\right| = \sum m_i /(n - nd) \qquad (2)$$

$V_c$ – виміряне значення характеристики,

$V_{SC_i}$ – виміряне значення $i$-ї підхарактеристики,

$nsc$ – кількість підхарактеристик,

$m_i$ – 1, якщо $i$-відповідь позитивна, інакше – 0,

$n$ – загальна кількість вимірювань,

$nd$ – кількість відкинутих запитань.

Метрики функціональності вказують, чи відповідає програмний компонент певним вимогам. Програмний компонент повинен також задовольняти імовірні потреба користувача, іншими словами, вимоги, характерні для типології оцінюваного програмного компонента.

Існує 5 підхарактеристик функціональності ПЗ: придатність; точність; здатність до взаємодій; відповідність; захищеність.

Доцільніше буде використовувати такі назви чотирьох характеристик оцінювання: A, B, C і D. Рівні утворюють ієрархію, в якій A – найвищий рівень, а D – найнижчий. На рівні A застосовують найстрогішу методології оцінювання

(враховуючи розумну кількість зусиль і часу), щоб забезпечити найвищу довіру. Просування вниз до рівня D поступово знижує строгість використовуваних методів і, отже, менші зусилля, зазвичай, витрачають на оцінювання. Наступна таблиця показує методологію оцінювання, прийняту для оцінювання функціональності, починаючи з рядка, що стосується вибраного рівня, і далі вниз; тобто, якщо рівень оцінювання, який потрібно прийняти, - B, для оцінювання застосовують методології від рівня B до рівня D (табл. 1).

Таблиця 1. Методології оцінювання функціональності

| | |
|---|---|
| ***Рівень A*** | Формальне доведення коректності (не існує адекватних методологій для оцінювання функціональності на рівні A) |
| ***Рівень B*** | Компонентне тестування (тестування «білого ящика») |
| ***Рівень C*** | Огляд, інспекція коду |
| ***Рівень D*** | Функціональне тестування (тестування «чорного ящика») |

## МЕТОД ФУНКЦІОНАЛЬНО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Тестування ПЗ - це процес, що використовується для виміру якості розроблюваного ПЗ. Головна мета тестування – виявлення невідповідності моделей.

Функціональне тестування - це тестування функціональності і поведінки програми, для того щоб переконатися що поведінка програми та її функціонал відповідає вимогам функціональної специфікації. При даному підході код програми не доступний, і програма розглядається як «чорний ящик», подаючи на вхід якийсь набір даних і чекаючи чогось на виході.

Методи функціонального тестування застосовуються для тестування зовнішніх і внутрішніх функцій програми та припускають наявність специфікації (формальної або не формальною), використовуваної в якості еталону. До основних методів функціонального тестування відносяться: таблиці рішень; функціональні діаграми; еквівалентне розбиття; аналіз граничних значень; розбиття вхідного простору на категорії; тестування переходів між станами; тестування по формальним специфікаціям. Критерієм повноти тестування вважається перебір всіх можливих значень вхідних даних, що здійснити на практиці надзвичайно важко. Саме тому, найбільш ефективними видами функціонального тестування є методи, еквівалентного розбиття, й аналізу граничних значень.

**– <u>Тестування за класами еквівалентності</u>**

У зв’язку з даною методикою слід розбити множину значень вхідних даних на кінцеве число підмножин (які будуть називатися класами еквівалентності), щоб кожний тест, що є представником певного класу, був еквівалентним будь-якому іншому тесту цього класу. Два тести є еквівалентними, якщо вони виявляють однакові помилки.

Розроблення тестів за методом класів еквівалентності проводиться у два етапи:

- виділення за специфікацією класів еквівалентності;

- побудова множини тестів.

— **Метод аналізу граничних умов**

Під граничними умовами розуміється стан, що виникає безпосередньо на границі певної вхідної або вихідної умови, вище або нижче її. Різниця між методом аналізу граничних умов та методом класів еквівалентності полягає у наступному:

- вибір будь-якого представника класу еквівалентності здійснюється таким чином, щоб перевірити тестом кожну границю цього класу;
- при створені тестів розглядаються не тільки вхідні умови, але й вихідні (тобто певні специфіковані обмеження на значення вхідних даних).

## ВИСНОВКИ

1. В роботі визначено, за якими показниками відбувається процес підтвердження оцінки відповідності програмного забезпечення, так як оцінка відповідності програмного забезпечення здійснюється шляхом підтвердження показників якості програмного забезпечення відповідним стандартам.

2. Метрики якості у використанні допомагають оцінити не властивості самого програмного забезпечення, а видимі результати її експлуатації - експлуатаційну якість.

3. Методи еквівалентного розбиття і аналізу граничних значень вважаються базовими методами функціонального тестування та повинні використовуватися спільно при проектуванні набору тестів для кожного рівня тестування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 1. Модель якості (IS0/IEC 9126-1:2001, IDT) : ДСТУ IS0/IEC 9126-1:2013. — [Чинний від 2014-07-01]. — К. : Мінекономрозвитку України, 2014. — 20 с. — (Національний стандарт України)

2. Жарко, Е.Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход / Жарко, Е.Ф. // XII ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2014, 16-19 июня. – К. : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия, 2014. – С. 4585-4594.

3. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 4. Метрики якості під час використання (ISO/IEC TR 9126-4:2004, IDT) : ДСТУ ISO/IEC TR 9126-4:2012 — [Чинний - від 2013-05-01]. — К.: Мінекономрозвитку України, 2013. — 49 с. — (Національний стандарт України)

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Шевченко К.Л.***

**УДК 621.317**

*О.В. Токаренко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков*
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АНАЛІЗ ПОХИБКИ ДІСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ ДАТЧИКІВ ВІД ЄМНОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ПРОВОДІВ

***Анотація.*** Для визначення витрат палива в рухомих об'єктах, наприклад в літаках, використовуються ємнісні датчики, які розташовані в паливних баках. Електрична схема заміщення датчика на змінному струмі являє собою паралельний $R_X, C_X$ - двополюсник. Вимірювання, як правило, дистанційні. При цьому значний вплив на точність вимірювань надають ємності з'єднуючих проводів. Наведено аналіз похибки визначення параметрів комплексно опору ємнісного датчика із-за шунтуючого впливу ємності з'єднуючих проводів, що дозволяє мінімізувати похибку та підвищити точність під час дистанційних вимірювань.

***Ключові слова:*** ємнісний датчик, випробувальний сигнал, дистанційні вимірювання, амплітудна, фазова похибка перетворення.

## ВСТУП

Для визначення витрат палива в рухомих об'єктах, наприклад витрат палива в літаках, використовуються параметричні ємнісні датчики [1], які розташовані в паливних баках. Таки датчики виконуються у вигляді коаксіальної конструкції з двох спрофільованих відрізів труб, що враховують зміну обсягу палива від форми бака. Електрична схема заміщення датчика на змінному струмі являє собою паралельний $R_X, C_X$-двополюсник, де ємність $C_X$ є інформативним параметром, за яким визначається рівень палива в баках. Активний опір $R_X$ виступає як додатковий параметр, який впливає на результат вимірів параметру $C_X$.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Вимірювання проводять на гармонічному сигналі. Ємнісний датчик включено у вхідну вимірювальну схему на операційному підсилювачі (ОП) з від'ємним зворотним зв'язком. Така схема має нульовий вхідний опір, у точці включення датчика (інвертуючий вхід ОП) підтримується віртуальна земля. Тим самим забезпечується режим заданої напруги на досліджуваному двополюснику (ємнісний датчик). Струм, який тече через двополюсник, відтворює його повний комплексний опір. Цей струм далі тече через резистор зворотного зв'язку – тим самим здійснюється перетворення імпедансу датчика в активну величину (напругу), за якою вже можна визначити параметри імпедансу, використовуючи, наприклад, метод фазочутливого перетворення [2,3]. Використання цього методу забезпечує роздільне визначення дійсної і уявної складової повного комплексного опору, за якими можливо інваріантне визначення параметрів $R_X$, або $C_X$ [3]. Використання цього методу також забезпечує досить високі метрологічні характеристики.

Основною проблемою є то, що вимірювання, як правило, дистанційні. Довжина з'єднувальних проводів може досягати декілька метрів. При підключенні датчика до вимірювальної схеми виникає похибка перетворення імпедансу датчика в напругу, яка обумовлена не нульовим вхідним опором схеми перетворення «імпеданс-напруга» із-за кінцевого значення коефіцієнта

підсилення операційних підсилювачів (ОП) у діапазоні частот. При цьому порушується режим заданої напруги на досліджуваному двополюснику. При цьому значний вплив на точність перетворення імпедансу в напругу надають ємності з'єднуючих проводів.

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є аналіз похибки визначення параметрів комплексно опору ємнісного датчика із-за шунтуючого впливу ємності з'єднуючих проводів, що дозволяє підвищити точність під час дистанційних вимірювань.

## ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

На рис. 1 наведена спрощена схема перетворення імпедансу $\dot{Z}_X$ досліджуваного двополюсника (ємнісний датчик) в напругу $\dot{U}_X$.

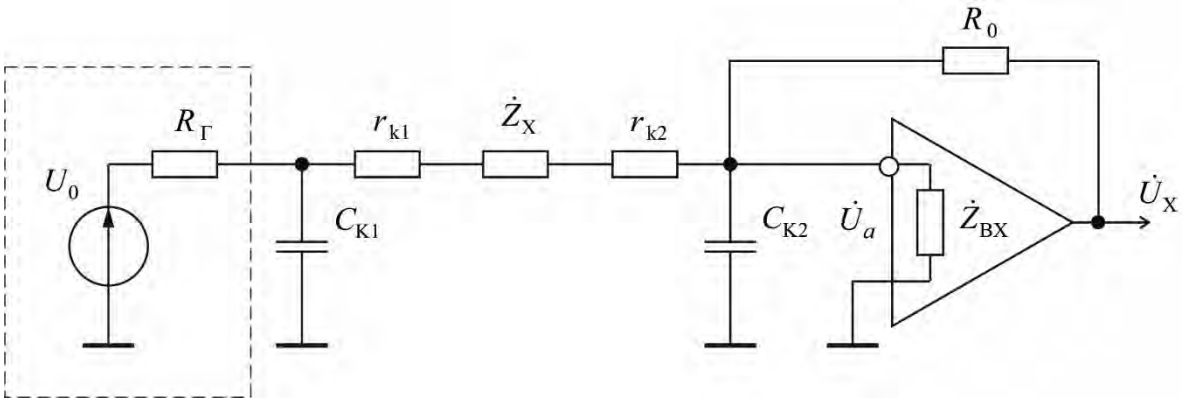



Рисунок 1. Спрощена схема перетворення імпедансу $\dot{Z}_X$ в напругу $\dot{U}_X$

На рисунку пунктиром виділено джерело синусоїдальної напруги $\dot{U}_0$ (джерело випробувального сигналу) з внутрішнім опором $R_Г$; $C_{k1,k2}$ – еквівалентні зосереджені ємності відрізків з'єднувальних проводів; $r_{k1}, r_{k2}$ – активні опори з'єднувальних проводів; $\dot{Z}_{BX}$ – внутрішній вхідний опір ОП; $R_0$ – опір у зворотному зв'язку ОП. В якості з'єднувальних ліній використовують коаксіальний кабель типу РК, що має параметри: $r_0 = 5{,}2 \cdot 10^{-3}$ Ом/м – погонний опір при постійному струмі; $C_0 = 1 \cdot 10^{-10}$ Ф/м - погонна ємність. Довжина проводів може складати до $l = 10$ м. При цьому еквівалентні ємності з'єднань можуть складати $C_{k1,k2} = C_0 \cdot l = 1 \cdot 10^{-9}$ Ф. Активні опори кожного з двох відрізків з'єднувальних проводів будуть $r_k = r_0 \cdot l = 5{,}2 \cdot 10^{-2}$ Ом.

Слід відмітити, що при дистанційних вимірюваннях модуль опору об'єкта вимірювання $|\dot{Z}_X|$, як правило, значно перебільшує опір проводів, що підводять до схеми вимірювання імпедансу. Лише в цьому випадку можливо отримання прийнятної точності вимірювань без використання спеціальних і при цьому складних пристроїв компенсації. Тобто вважаємо, що виконується умова $|\dot{Z}_X| \gg r_k$.

Ємність $C_{k1}$ практично не впливає, так як підключена безпосередньо до виходу джерела напруги $\dot{U}_0$ з малим внутрішнім опором $R_\Gamma = 0{,}1 \div 0{,}2$ Ом. Вплив ємності $C_{k2}$ зменшено за рахунок підключення до віртуальної землі на інвертуючому вході ОП. Але це відбувається на низьких частотах, де коефіцієнт підсилення ОП за значенням ще досить великий.

Вихідна напруга $\dot{U}_X$ схеми перетворення (рис. 1) знаходиться з виразу

$$\frac{1}{\dot{Z}_X}(\dot{U}_0 - \dot{U}_a) + \frac{1}{R_0}(\dot{U}_X - \dot{U}_a) - \frac{\dot{U}_a}{\dot{Z}_{BX}} - \dot{U}_a j\omega C_K = 0, \qquad (1)$$

де $\dot{U}_a$ – напруга на інвертуючому вході ОП, яку знаходимо з виразу $\dot{U}_a = -\frac{\dot{U}_X}{\dot{K}(j\omega)}$. Коефіцієнт підсилення ОП $\dot{K}(j\omega)$ має комплексний характер. Його залежність від частоти виявляється практично з низьких частот і може бути описана (для частотно-скоригованих ОП) інерційною ланкою першого порядку – $\dot{K}(\omega) = \frac{K_0}{1 + j\omega\tau_{ОП}}$, де $K_0$ – коефіцієнт підсилення ОП на постійному струмі, $\omega = 2\pi f$ – частота випробувального сигналу, $\tau_{ОП}$ – еквівалентна постійна часу ОП. Постійну часу приблизно можна оцінити за формулою $\tau_{ОП} \approx \frac{K_0}{2\pi f_1}$, де $f_1$ – частота одиничного підсилення [5]. Розв'язавши (1), отримаємо:

$$\dot{U}_X = -U_0 R_0 \dot{Y}_X \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}[1 + \frac{R_0}{\dot{Z}_X} + \frac{R_0}{\dot{Z}_{BX}} + j\omega C_K R_0]}, \qquad (2)$$

де $\dot{Y}_X = 1/\dot{Z}_X$ – провідність паралельного $R_X, C_X$-кола, $\omega_1 = 2\pi f_1$. Відносну похибку перетворення у вигляді комплексного числа знаходимо з виразу:

$$1 + \dot{\delta} \cong 1 - j\frac{\omega}{\omega_1}[1 + R_0\dot{Y}_X + \frac{R_0}{\dot{Z}_{BX}} + j\omega C_K R_0]$$

Представимо $\dot{Y}_X$ у більш зручному вигляді $\dot{Y}_X = A_X + jB_X$, де $A_X = 1/R_X$; $B_X = \omega C_X$. Тоді, за умовою $R_0/|\dot{Z}_{BX}| \to 0$, отримаємо:

$$\left[1 + \dot{\delta}\right] = 1 - j\frac{\omega}{\omega_1}\left[1 + (A_X + jB_X)R_0 + j\omega C_K R_0\right] =$$

$$= 1 + \frac{\omega}{\omega_1}\left[B_X R_0 + \omega C_K R_0\right] - j\frac{\omega}{\omega_1}\left[1 + A_X R_0\right] = 1 + x - j \cdot y,$$

де $x = \frac{\omega}{\omega_1}\left[B_X R_0 + \omega C_K R_0\right]$; $y = \frac{\omega}{\omega_1}\left[1 + A_X R_0\right]$. Використовуючи розклади функцій у степеневі ряди, за умовою, що $|x| \ll 1, |y| \ll 1$, а також знехтувавши членами ряду, що мають степінь 2 і вище, отримаємо:

$$\left[1+\dot{\delta}\right]=\sqrt{(1+x)^2+y^2}\cdot e^{-jarctg\frac{y}{1+x}}\cong\left[1+x+0,5(x^2+y^2)\right]\cdot e^{-j\frac{y}{1+x}}=[1+\gamma_{\text{k}}(\omega)]\cdot e^{j\Theta(\omega)},\quad (3)$$

де $\gamma_{\text{k}}(\omega)$ – амплітудна, $\Theta(\omega)$ – фазова похибки перетворення $\dot{Y}_X \to \dot{U}_X$. Отже,

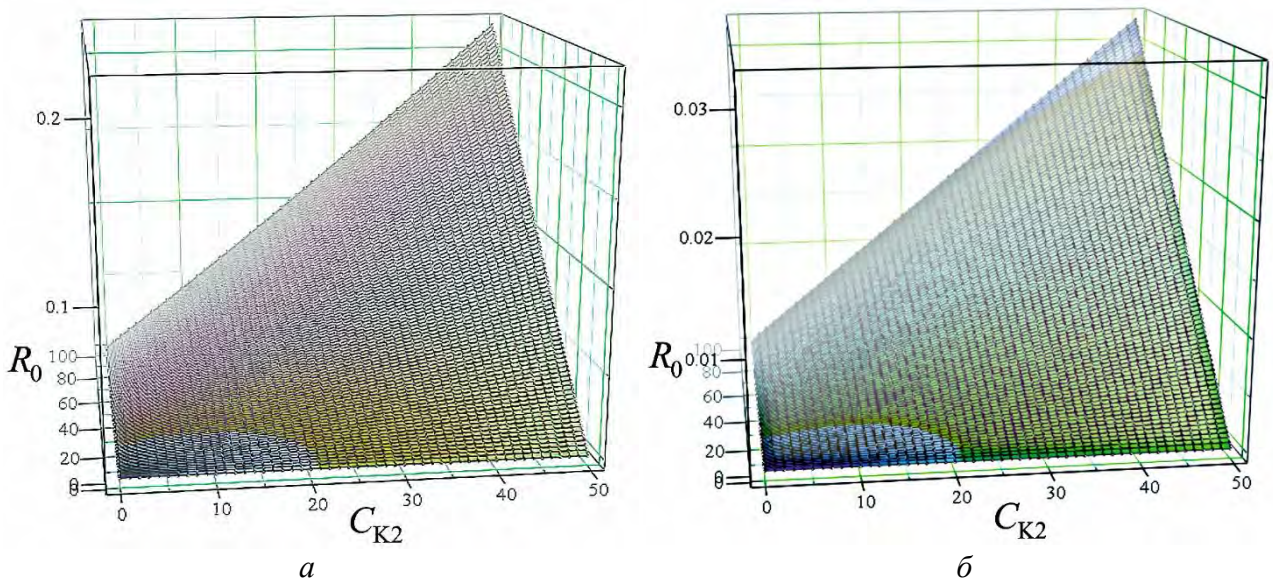
$$\gamma_{\text{k}}(\omega)=x+0,5(x^2+y^2)=$$

$$=\frac{\omega}{\omega_1}\left[B_{\text{X}}R_0+\omega C_{\text{K}}R_0\right]+0,5\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\left\{B_{\text{X}}{}^2R_0{}^2+\left[1+A_{\text{X}}R_0\right]^2+2\omega C_{\text{K}}R_0{}^2B_{\text{X}}+\omega^2\left[C_{\text{K}}R_0\right]^2\right\};\quad (4)$$

$$\Theta(\omega)=\frac{-y}{1+x}\cong-y(1-x)=-\frac{\omega}{\omega_1}\left\{1+A_{\text{X}}R_0-\frac{\omega}{\omega_1}B_{\text{X}}R_0\left[1+A_{\text{X}}R_0\right]-\frac{\omega^2}{\omega_1}C_{\text{K}}R_0\left[1+A_{\text{X}}R_0\right]\right\}.\quad (5)$$

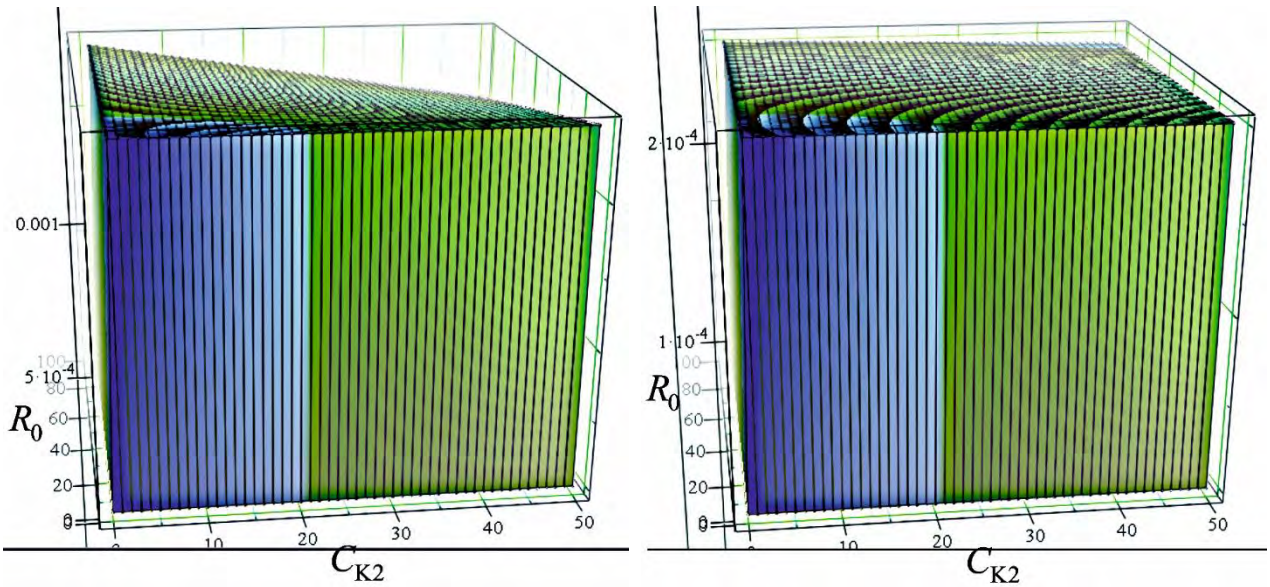
Знайдемо оцінки амплітудної $\gamma_{\text{k}}(\omega)$ (рис. 2) та фазової $\Theta(\omega)$ (рис. 3) похибок перетворення $\dot{Y}_X \to \dot{U}_X$. Ці похибки обумовлені не нульовим вхідним опором схеми перетворювання «імпеданс-напруга» із-за кінцевого за значенням коефіцієнта підсилення ОП в смузі частот. Похибки, в свою чергу, залежать від частоти випробувального сигналу, від співвідношення значень вимірюваних параметрів $R_{\text{X}}, C_{\text{X}}$ і резистору $R_0$ ($R_0$ задається піддіапазоном вимірювання), а також від величини $C_{\text{K}}R_0$, де $C_{\text{K}}$ – ємність з'єднань.

Розглянемо найгірший випадок, коли співвідношення значень вимірюваних параметрів $R_{\text{X}}, C_{\text{X}}$ і резистору $R_0$ вибирається таким, щоб завжди виконувалась умова $B_{\text{X}}R_0=1$ чи $A_{\text{X}}R_0=1$. Тобто параметр $R_{\text{X}}$ вимірюється на початку кожного з піддіапазонів по $R_{\text{X}}$, а параметр $C_{\text{X}}$ – наприкінці кожного з піддіапазонів по $C_{\text{X}}$. Розглянемо випадок, коли використовуються прецизійні ОП на польових транзисторах з високим вхідним опором, наприклад, типу AD845 з частотою одиничного підсилення $f_1=16\cdot10^6$ Гц і типу HA5160, у якого частота одиничного підсилення $f_1=100\cdot10^6$ Гц.




*а* *б*

Рисунок 2. Амплітудна похибка $\gamma_{\text{k}}(\omega)$ перетворення $\dot{Y}_{\text{X}} \to \dot{U}_{\text{X}}$ на частоті $f=10$ кГц: *а* – ОП типу AD845; *б* – ОП типу HA5160




*а* *б*

Рисунок 3. Фазова похибка $\Theta(\omega)$ перетворення $\dot{Y}_{\text{X}} \to \dot{U}_{\text{X}}$ на частоті $f = 10$ кГц: *а* – ОП типу AD845; *б* – ОП типу HA5160

Розрахунок амплітудної $\gamma_k(\omega)$ та фазової $\Theta(\omega)$ похибок виконано на частоті випробувального сигналу $f = 10$ кГц. Ємність $C_{\text{K}}$ змінюється у діапазоні $0{,}1 \div 5$ нФ, резистор $R_0$ зворотного зв'язку у діапазоні $10 \div 1000$ кОм. Отже, похибки набувають максимального значення, коли в коло від'ємного зворотного зв'язку ОП включений великий за значенням резистор $R_0$ – $R_0 = 1$ МОм (відчутний у значній мірі вплив ємності з'єднань). Вибір більш швидкодіючого підсилювача дозволяє зменшити похибку перетворення. Похибки значно зменшуються при вимірах на менших частотах, наприклад на частотах $f = 100$ Гц і $f = 1000$ Гц.

Отримаємо рівняння фазочутливого перетворення параметрів $R_{\text{X}}$ і $C_{\text{X}}$:

$$U_{R\text{x}} = \text{Re}\left\{U_0\left(\frac{R_0}{R_{\text{X}}} + j\omega C_{\text{X}} R_0\right)\left(1 + \gamma_k(\omega)\right)e^{j\Theta(\omega)}\right\},$$

$$U_{C\text{x}} = \text{Im}\left\{U_0\left(\frac{R_0}{R_{\text{X}}} + j\omega C_{\text{X}} R_0\right)\left(1 + \gamma_k(\omega)\right)e^{j\Theta(\omega)}\right\}.$$

Враховуючи $e^{j\Theta(\omega)} = \cos\Theta(\omega) + j\sin\Theta(\omega)$, також $\Theta(\omega) \ll 1$, отримаємо $e^{j\Theta(\omega)} \approx 1 + j\Theta(\omega)$. Тоді для паралельного $R_{\text{X}}, C_{\text{X}}$-двополюсника маємо:

$$\left[\frac{R_0}{R_{\text{X}}} + j\omega C_{\text{X}} R_0\right] \cdot \left[1 + j\Theta(\omega)\right] = \left[\frac{R_0}{R_{\text{X}}} - \Theta(\omega)\omega C_{\text{X}} R_0\right] + j\left[\omega C_{\text{X}} R_0 + \Theta(\omega)\frac{R_0}{R_{\text{X}}}\right] =$$

$$= \frac{R_0}{R_{\text{X}}}\left[1 - \frac{\Theta(\omega)}{tg\delta_{\text{X}}}\right] + j\omega C_{\text{X}} R_0\left[1 + \Theta(\omega) tg\delta_{\text{X}}\right], \text{ де } tg\delta_{\text{X}} = \frac{1}{\omega C_{\text{X}} R_{\text{X}}}$$

Тобто, фазова похибка $\Theta(\omega)$ дає додаткову дійсну активну (синфазну) $\gamma_{\text{ф.сф}} = -\Theta(\omega)/tg\delta_{\text{X}}$ і уявну реактивну (квадратурну) $\gamma_{\text{ф.кв.}} = \Theta(\omega)tg\delta_{\text{X}}$ складові. Звідки остаточно отримаємо:

$$U_{R_{\text{X}}} = U_0 \frac{R_0}{R_{\text{X}}}\left\{\left[1-\Theta(\omega)/tg\delta_{\text{X}}\right]\left[1+\gamma_k(\omega)\right]\right\} = U_0 \frac{R_0}{R_{\text{X}}}\left\{1-\Theta(\omega)/tg\delta_{\text{X}}+\gamma_k(\omega)+Q_1\right\}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} U_{\text{C}_{\text{X}}} &= U_0\omega C_{\text{X}} R_0 U_0 \left\{\left[1+\Theta(\omega)tg\delta_{\text{X}}\right]\left[1+\gamma_k(\omega)\right]\right\} = \\ &= U_0\omega C_{\text{X}} R_0 U_0 \left\{1+\Theta(\omega)tg\delta_{\text{X}}+\gamma_k(\omega)+Q_2\right\} \end{aligned}, \quad (7)$$

де $Q_1, Q_2$ – величини другого порядку малості (складаються з добутку відносних похибок), якими можна знехтувати.

## ВИСНОВКИ

Наведений аналіз дозволив одержати аналітичні вирази амплітудної та фазової складових похибки перетворення «імпеданс-напруга» з урахуванням ємності з’єднувальних проводів, зручні для подальшого використання. Отримано числові оцінки цих похибок в залежності від частоти випробувального сигналу, співвідношення значень вимірюваних параметрів і резистору у колі зворотного зв’язку підсилювача у вхідної схемі перетворювача «імпеданс-напруга», а також від ємності з’єднувальних проводів. Показано, що вибір широкосмугових операційних підсилювачів дозволяє зменшити похибку перетворення. Сформульовані вимоги до вибору цих підсилювачів за частотою одиничного підсилення. Одержані результати дають змогу врахувати складові похибки перетворення та реалізувати відомі алгоритми корекції впливу похибок на результат дистанційних вимірювань імпедансу. Доцільними є подальші дослідження у частині розробки методів корекції похибок під час дистанційних вимірювань.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем: в 2-х книгах / Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофон и др. – М.: Мир, 1992. – Кн. 1 – 480 с.

2. Кнеллер В.Ю. Определение параметров многоэлементных двухполюсников / В.Ю. Кнеллер – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.

3. 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.

4. Байда Н.П. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА / Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, В.Т. Шпилевой. – М.: Радио и Связь, 1987. – 256 с.

5. Туз Ю.М. Автоматизація аналізу вимірювальних пристроїв: монографія / Ю.М. Туз, Ю.С. Шумков, О.В. Козир // За заг. ред. Ю.М. Туза. – К.: "Корнійчук", 2014. – 172 с.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.***

**УДК 004.052**

*А.В. Трофімук, студентка гр. МгЯС-17*
Київський національний університет технологій та дизайну

# ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

***Анотація.*** Розглянуто особливості оцінки якості і надійності програмного забезпечення. Проведено експериментальну оцінку впливу обсягу оперативної пам'яті на надійність комп'ютерних систем. Наведено результати досліджень.

***Ключові слова:*** програмне забезпечення, оцінювання якості, надійність, тестування.

## ВСТУП

У сучасному модернізованому суспільстві вимоги до якості програмного забезпечення (ПЗ) стрімко зростають з кожним днем. Програми повинні бути зручними у користуванні, надійними та максимально простими для вивчення. Реалізація вимог безпеки при розробці програмного забезпечення (далі – ПЗ) є однією із складових частин загальної проблеми гарантування якості. Проблема якості ПЗ має два основні аспекти: забезпечення і оцінка (вимірювання) якості. Надійність – це якість, що тягнеться в часі. Звідси можна стверджувати, що поняття надійності близьке до поняття якості, а тому проблеми управління якістю безпосередньо відображаються в поданні про надійність [1].

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Надійність є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкта та умов його застосування здатна включати безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність і збереженість або ж конкретні поєднання цих властивостей.

Існуючі методики оцінки надійності програмного забезпечення в основному зосереджені на вирішенні проблем трьох напрямків:

- Прогнозування загальної кількості дефектів у продукті.
- Встановлення впливу організації процесу розробки і тестування на кількість дефектів і щільність збоїв.
- Оцінка надійності системи з використанням «часу до збою» (TTF, time to failure).

На сьогоднішній день опубліковано значну кількість робіт і прикладів експериментальних висновків, які як і підтверджують доцільність використання метрик розміру і складності (зокрема, метрик Маккейба і Холстеда) для оцінки надійності ПЗ, так і відкидають цю можливість повністю [2].

Розроблення методів і засобів інженерії надійності ПЗ є актуальною задачею в галузі комп'ютерної інженерії, програмної інженерії та суміжних дисциплін на даний момент та найближче десятиліття [3]. Слід зазначити, що у зв'язку з подальшим розвитком індустрії ПЗ та технологічної бази його розробки, основні причини проявів помилок у програмному забезпеченні виявляються на більш ранніх етапах життєвого циклу, звідси збільшується

попит щодо застосування та розроблення моделей надійності ПЗ на усіх етапах існування продукту.

Методи забезпечення та підвищення надійності програм представлені у наступних категоріях:

- Покращення технології програмування.
- Відбір лише тих алгоритмів, які не вразливі до різного роду проблем з обчислювальним процесом (використання, наприклад, алгоритмічної надмірності).
- Проведення резервування програм − двоїсте або N-версійне програмування та інші методи підключення структурної надлишковості.
- Тестування та контроль програм з подальшим коригуванням.

Залежність загальної надійності програми від оперативної пам'яті має складний характер, що ускладнює пряму оцінку швидкості пам'яті, тобто порівняння різних модулів. Наприклад, пам'ять з частотою 1600 МГц має вдвічі більшу пропускну здатність, ніж 800 МГц. Однак, якщо ми протестуємо цілу систему з цими двома видами пам'яті за допомогою популярних тестових додатків, на яких зазвичай тестують процесори, то і близько не отримаємо двократної різниці у продуктивності. Інтегральний індекс швидкодії буде відрізнятися максимум на кілька десятків відсотків.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБСЯГУ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ’ЯТІ НА НАДІЙНІСТЬ КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Розглянемо спробу дослідження залежності надійності комп’ютера від об’єму оперативної пам’яті. Під час тестування були використані, поширені на даний момент, конфігурації комп’ютерів. Продуктивність, як показник надійності, аналізувалась з 1 ГБ та 2 ГБ оперативної пам’яті при ідентичних характеристиках кожної. Для даної роботи, були підготовлені два майданчика для тестування на основі процесорів Інтел та AMD. Основними характеристиками процесора AMD були: процесор (AMD Athlon64 FX57), материнська плата (Asus A8NSLI Premium), жорсткий диск (Western Digital Caviar 250GB SATAII), відеокарта (Nvidia GeFORCE 6600GT).

Тестування, на заданому комп’ютері, проводилося при наступних конфігураціях пам’яті:

- 1 ГБ: були використані модулі TWINX1024-3200C2. А це пара модулів з 512 МБ кожен. Обидва мають 16 мікросхем 32Mx8 DDR. Встановлювалась частота пам’яті у розмірі 400 МГц, а латентність − 2-3-2-6-1T.
- 2 ГБ: ми задіяли для даного тесту TWINX2048-3200C2. Це представляє собою пару гігабайтних модулів, кожен з яких складається із 16 мікросхем 64Mx8 DDR. Латентність та частота пам’яті були аналогічні попередній конфігурації.

Далі представимо основні характеристики процесора Інтел. Для того, щоб створити платформу для тестування, яка б працювала з пам'яттю DDR2, довелось використати наступні складові: процесор (Інтел P4 540, 800 МГц FSB, 3.2 ГГц), материнська плата (Asus P5ND2-SLI), жорсткий диск (Western Digital Raptor 36 ГБ), відеокарта (Nvidia GeFORCE 6600GT).

Конфігураціями пам'яті для цієї платформи стали:

- 1 ГБ: Модулі TWIN2X1024-6400. Це пара модулів з 512 МБ кожен, які застосовують по 8 мікросхем 64Mx8 DDR2. Латентність була встановленою у розмірі 5-5-5-12-2T, а частота пам'яті – 800 МГц.
- 2 ГБ: Модулі TWIN2X2048-6400. Це ще одна пара модулів по 1 ГБ. Частота пам'яті та латентність залишились аналогічними як і у конфігурації з 1 ГБ.

Проведені тестування:

- SiSoft Sandra 2005 – даний засіб діагностики, який дає змогу проводити тестування із пропускною здатністю комп'ютера.
- Super Pi – це абсолютно елементарний додаток, який розраховує число Пі, з точністю до вказаного знаку.
- 3DMark 2001 – ігрове тестування для визначення рівня продуктивності у тих умовах, які дуже схожі на умови реальних ігор.
- Doom 3 timedemo, demo1 – ігровий тест, який входить у комплект Doom 3. У цьому тесті вимірюється швидкість зміни кадрів (fps).
- Battlefield 2 Flight Demo – дана гра потребує високої продуктивності.
- Adobe Premier Effects та кодування DVD – це тест, який створений з метою вимірювання часу, що пригодився у кодуванні DVD.

Результати тестування: тестування продемонструвало, що для більшої кількості додатків даний обсяг пам'яті залишається цілком достатнім і припустимим та не залежить від інших властивостей комп'ютерів. Зміну продуктивності, внаслідок збільшення обсягу пам'яті, можна спостерігати у наступному графіку (відмінність продуктивності при 2 ГБ і 1 ГБ пам'яті, виражена у відсотках представлена у вигляді табл. 1 та гістограми на рис. 1):

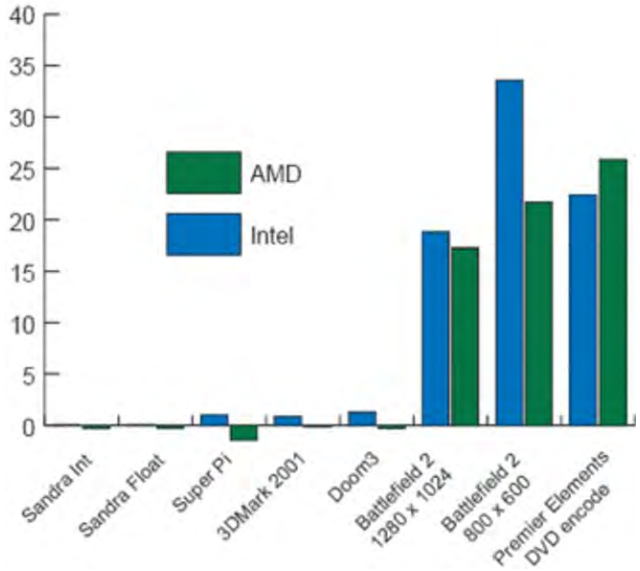



Рисунок 1. – Гістограма різниці продуктивності при 2 ГБ і 1 ГБ пам'яті, виражена у відсотках

Таблиця 1. Різниця продуктивності при 2 ГБ і 1 ГБ пам'яті, виражена у відсотках

| ***Test*** | ***Intel*** | | ***AMD*** | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 GB | 2 GB | 1 GB | 2 GB |
| Sisoft Sandra − Int | 4879 MB/s | 4905 MB/s | 5879 MB/s | 5862 MB/s |
| Sisoft Sandra − Float | 4881 MB/s | 4913 MB/s | 5944 MB/s | 5935 MB/s |
| Super Pi 1M digits | 41.8 sec | 41.4 sec | 48.8 sec | 48.1 sec |
| 3DMark 2001 SE | 17927 | 18087 | 21610 | 21578 |
| Doom3 timedemo 640×480 | 90.5 fps | 91.7 fps | 134.5 fps | 134.1 fps |
| Battlefield2 flight demo 1280×1024 | 30.8 fps | 36.6 fps | 31.2 fps | 36.6 fps |
| Battlefield2 flight demo 800×600 | 50.3 fps | 67.2 fps | 57.1 fps | 69.5 fps |
| Adobe Premier Effects | 737 sec | 572 sec | 673 sec | 499 sec |

Слід зазначити, що особливо помітне зростання продуктивності, спостерігається у тестах, які вимогливі до обсягу та швидкості пам'яті: Adobe Premier та Battlefield2 . Тому саме при використанні такого обсягу пам'яті, можна не мати сумнівів, продуктивність, як і надійність в цілому – зростає.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз «недоліків» існуючих моделей надійності ПЗ, а також наведені основні причини, що перешкоджають їх практичному застосування.

Розглянуто методи забезпечення та підвищення надійності програм та виявлено залежність надійності ПЗ від продуктивності комп’ютерної системи.

Досліджено вплив основних апаратних факторів на надійність ПЗ та проведена експериментальна оцінка впливу оперативної пам’яті на надійність програмного забезпечення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 1. Модель якості (IS0/IEC 9126-1:2001, IDT) : ДСТУ IS0/IEC 9126-1:2013. − [Чинний від 2014-07-01]. − К. : Мінекономрозвитку України 2014. − 20 с. − (Національний стандарт України). Міжнародний стандарт ISO/IEC 9126-1:2001 «Software engineering − Product quality − Part 1: Quality model».

2. Fenton N. E., Lawrence Pfleeger S. Software Metrics : A Rigorous and Practical Approach, №2, Int'l Thomson Computer Press, Boston, 1996.

3. Lyu M. R. Software Reliability Engineering: A Roadmap / Michael R. Lyu // Future of Software Engineering (FOSE'07), Minneapolis, USA, May 2007. − pp. 153-170.

***Наук. керівник – д.т.н., доц. Шевченко К. Л.***