



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

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

# **"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"**

15-16 травня 2019 р.  
м. Київ, Україна

## **Збірник праць конференції**



КИЇВ 2019

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 124 статті 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-вимірвальна 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 ПФФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №4/19 від 22.04.2019 р.).

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

ISBN 978-611-01-1465-3

Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 15-16 травня 2019 р. — К.: ПФФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – 487 с.

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

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф., зав. кафедри ООЕП
3. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри ПСОН
4. Гераїмчук Михайло Дем'янович — д.т.н., проф., зав. кафедри ПБ
5. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф., зав. кафедри ПСНК
6. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри НАЕПС
7. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
8. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф., зав. кафедри АЕД

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

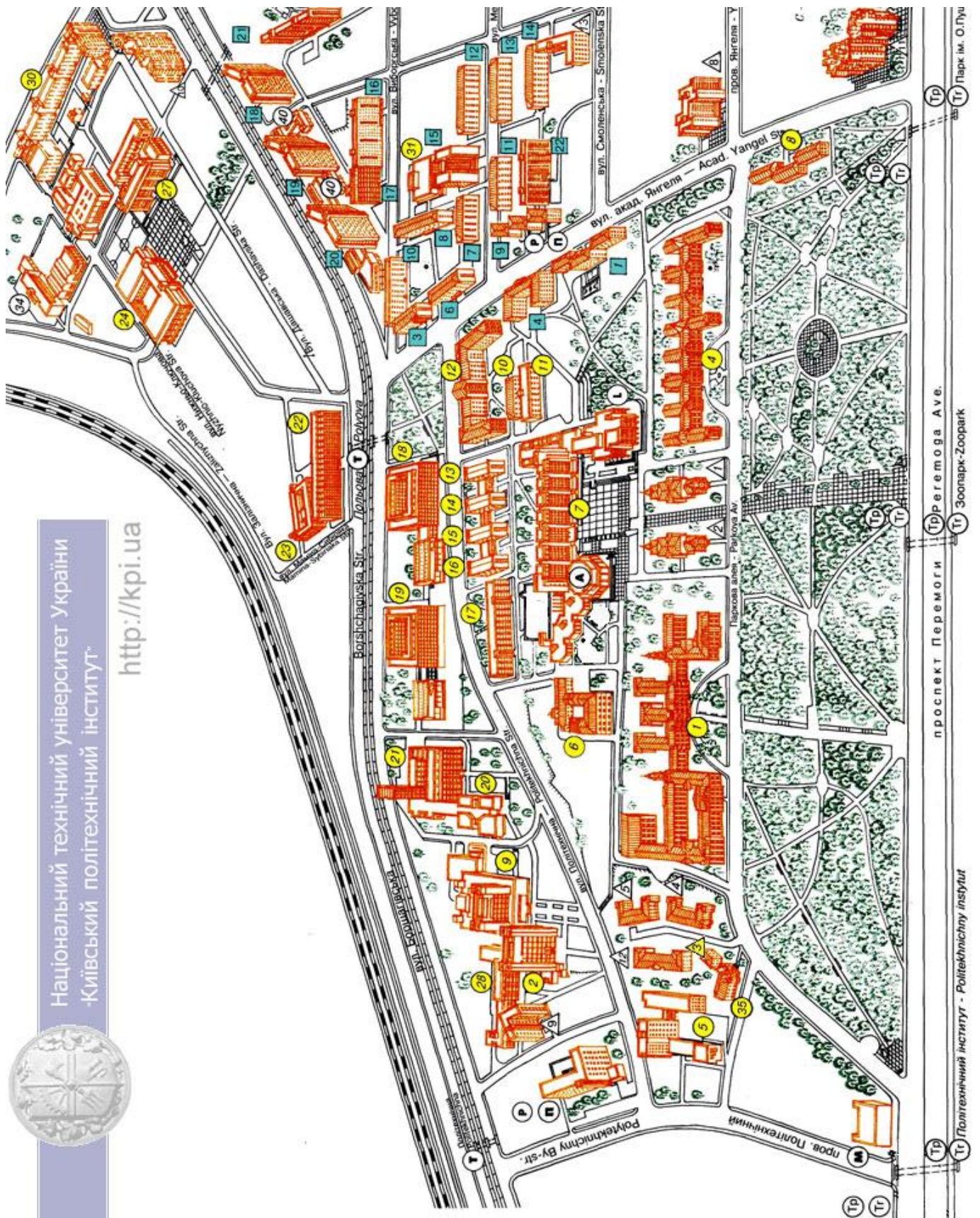
1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету
2. Якимчук А.Ю. — студентка ПБФ, заст. голови комітету, секція №7
3. Березанська М.С. — студентка ПБФ, секція №1
4. Пашков Р.А. — студент ПБФ, секція №2
5. Ковеня В.М. — студентка ПБФ, секція №3
6. Хазанович Ю.Ю. — студент ПБФ, секція №4
7. Мушкет К.Я. — студент ПБФ, секція №5
8. Затуленко А.С. — студентка ПБФ, секція №6
9. Павлов В.М. — студент ПБФ, секція №8
10. Булавко Н.О. — студент ПБФ, секція №9
11. Бурлака Д.А. — студентка ПБФ, секція №10





Національний технічний університет України  
-Київський політехнічний інститут-

<http://kpi.ua>





## З М І С Т

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

<i>С.С. Афзель, студентка гр. ПГп-61</i> РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО ДАТЧИКА РУХУ ОБ'ЄКТІВ.....	- 16 -
<i>І. М. Голубенко, студент гр. ПГ-61, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ДЕЛЬТА-РОБОТІВ .....	- 20 -
<i>М.О. Березанська, студентка гр. ПГ-п61</i> ОГЛЯД CONTROL SYSTEM TOOLBOX ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО РОЗВИТКУ .	- 24 -
<i>О.Ю. Мараховська, студентка гр. ПГ-71мп</i> ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СОНЯЧНИХ ДАТЧИКІВ.....	- 27 -
<i>Д.С. Музика, студент гр. ПГ-71, к.т.н., доцент Півторак Д.О.</i> ЕТАПИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ.....	- 31 -
<i>О.М. Палій, студент гр. ПГ - 81мп, к.т.н., доц. Мироненко П. С.,</i> ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМІЧНИХ РЕГІСТРАТОРІВ....	- 35 -
<i>Ю.О. Пархоменко, студент гр. ПГ-51</i> ДИНАМІЧНІ ВЛАСТІВОСТІ МАГНІТНОГО ПІДВІСУ .....	- 38 -
<i>І.М. Платов, студент гр. ПГ-п71, к.т.н., доц. О.М. Павловський</i> ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ РОБОТИ ФУНКЦІЙ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРАХ STM32F303VCT6, ATMEGA328P .....	- 42 -
<i>Г.Ю. Строчак, студент гр. ПГ-61, асистент Сапегін О.М.</i> КУТОМІР НА ОСНОВІ АКСЕЛЕРОМЕТРУ ADXL-335 .....	- 46 -

### **СЕКЦІЯ 2. ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ**

<i>V.A. Antonenko, Professor V.M. Borovytsky</i> CLASSIFICATION OF KNOWN BIOLOGICALLY-INSPIRED VISION SYSTEMS ..	- 50 -
<i>Ivan Antoniuk, student of group PO-82mp</i> USING OF SPECTRAL IMAGING IN FOOD QUALITY INSPECTION.....	- 54 -
<i>Avdieionok I., student; Borovytsky V., professor, DrSc</i> COMPACT INSTRUMENT FOR MTF MEASUREMENTS .....	- 57 -
<i>Averin D., student; Borovytsky V., professor, DrSc</i> NAVIGTAION SYSTEMS.....	- 60 -
<i>V.A Bortnik, student gr. PO-81mp, prof. Borovytsky V.M.</i> USING CORRELATION FILTERS TO SUPPORT THE UAV .....	- 64 -
<i>O.Hudz, student of "ПО-71мн" group, prof. V. Borovytsky.</i> THE ROLE OF COHERENCE IN IMAGE FORMATION .....	- 67 -

<i>А.А. Андреев, студент гр. ПО-82мп, старш. викладач Кравченко І.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ З ФАЗОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ.....	- 70 -
<i>Барановський М. Д., студент гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В. М.</i> РОЗРОБКА ПРОЕКЦІЙНОГО ОБ'ЄКТИВА З ТЕЛЕЦЕНТРИЧНИМ ХОДОМ ПРОМЕНІВ .....	- 75 -
<i>Г.П. Басюк, студентка гр. ПІ-51</i> СУЧАСНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ІНТРАОПЕРАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ .....	- 79 -
<i>Д.Р. Братова, студент гр. ПО-82мп</i> МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ГОЛОГРАМ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ .....	- 82 -
<i>Гайдук Н. В., студентка, к.ф.-м.н. доц. Якунов А. В.</i> ВИКОРИСТАННЯ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО СЕНСОРА ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРОЦЕСІ МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВАННЯ- .....	85 -
<i>О.В. Дерев'янку, студент гр. МНПм-18-1</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ .....	- 89 -
<i>Б. В. Киричук, студент гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Кучеренко О. К.</i> ЧИСЛОВІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ.....	- 93 -
<i>Ландік Б. В., студент гр. ПО-82мп</i> ДВОКАНАЛЬНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ .....	- 97 -
<i>В.К. Литвин, м.н.с.; А.М. Лопатинський, к.ф.-м.н.,с.н.с.; В.І. Чегель, д.ф.-м.н., пров.н.с.</i> КОМПАКТНИЙ ФЛЮОРИМЕТР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАЗМОН-РЕГУЛЬОВАНОЇ ФЛЮОРЕСЦЕНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МАСИВІВ ВИСОКОПРОВІДНИХ НАНОСТРУКТУР.....	- 101 -
<i>В.П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Балінський Є. Г.</i> ОПТИЧНИЙ ТРАНСПАРАНТ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА.....	- 105 -
<i>Ю.М. Павлюк, студент гр. ПО-82мп., доц. Богатирьова Г.В</i> ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНОСТІ ПАПЕРОВИХ ГРОШЕЙ .....	- 109 -
<i>Р.А. Пашков, студент гр. ПО-81мп</i> КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ (НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ТТР).....	- 113 -
<i>Р.А. Пашков, студент гр. ПО-81мп, к.ф.-м.н., ст. викл. Балахонова Н.О.</i> РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДІВ ТЕПЛОВІЗОРІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ ДЖОНСОНА .....	- 117 -
<i>Смажко І.О., студент гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.</i> ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ SWIR ОБ'ЄКТИВА .....	- 121 -
<i>В.С. Стаднічук, студент групи ПО-81мп, д.т.н., професор В.Г. Колобродов</i> ДЕТЕКТУВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ХАФА.....	- 125 -
<i>Тростянська О.В., студентка гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.</i> РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКУЛЯРА ДЛЯ МІКРОДИСПЛЕЯ.....	- 129 -
<i>О.В. Федорець, студент гр. ПІ-51-2, д.т.н., проф. Боровицький В.М.</i> ОГЛЯД ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ КАМЕР ТА СИСТЕМ.....	- 132 -

## **СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ**

- О.С. Голодний, студент гр. ПБ-51*  
ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ..... - 138 -
- Л.П. Давидюк, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНО -ДЕФОРМОВАНОГО  
СТАНУ ДЕТАЛІ..... - 141 -
- Доценко О.К., студент гр. ПБ-81мп, Рижук Я.О. студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., Стельмах Н.В.*  
РОЗРОБКА САПР ДЛЯ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА ..... - 145 -
- Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В.В.*  
СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК  
..... - 148 -
- А. С. Затуленко, студентка гр. ПБ-51, асистент Заєць С. С.*  
ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ТОЧНІСТЬ  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ..... - 152 -
- П.І. Карасьов, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.*  
ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ГВИНТОВОГО РУШІЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ  
БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ..... - 155 -
- О.В. Кириєнко, студент, гр. ПБ-51, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент*  
КОНТРОЛЬ ЯКІСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО  
МЕТОДУ ..... - 159 -
- В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, асистент Заєць С. С.*  
КОНТРОЛЬ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ОСНОВІ ВІБРОАКУСТИЧНОГО  
МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ МЕТАЛОБРОБКИ..... - 163 -
- А.Г. Козловський, студент гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*  
ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СФЕРИЧНОГО  
РЕФЛЕКТОРА ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ..... - 167 -
- А.М. Лантух, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доцент Шевченко В.В.*  
ВИКОРИСТАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ В ПРОЦЕСАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ПАКЕТІВ ..... - 171 -
- О.С. Лапіга, аспірант, асистент Волошко О.В., к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
ОБ'ЄКТНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЕТАЛІ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЦЕСУ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ..... - 175 -
- Морсков А.С., Чорна О. Д., Фіщук О. А. студент групи А-41, Волобуєва Г.В., викладач*  
ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ ..... - 179 -
- Д.В. Прихожа, магістрант гр. ПБ-81мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,  
к.т.н. Рутковский А.В.*  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМУ ПІД  
ЧАС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЙОННО-ПЛАЗМОВОГО  
ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ ..... - 183 -
- Д.Р. Смольніков, магістрант гр.ПБ-81мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.*  
ОСОБЛИВОСТІ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПРОСТОРОВО-СКЛАДНИМИ  
ПОВЕРХНЯМИ..... - 186 -



- О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕВРИСТИЧНОЇ САМООРГАНІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ ..... - 190 -
- Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-51, ас. Сорока С.О.*  
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ. ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ ..... - 193 -
- А.В. Сувала, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ- 197 -
- Р.Р. Хайретдінов, студент групи ПБ-382, С.П.Вислоух, к.т.н., доцент*  
УЛЬТРАЗВУКОВА ХІРУРГІЯ В СТОМАТОЛОГІЇ ..... - 201 -
- О. В.Третьяк, студент гр. ПБ-61, к.т.н., ст. викл. Барандич К. С.*  
ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ПВП-КЛЕЮ ПРИ 3D-ДРУКУ ДЕТАЛЕЙ З PLA-ПЛАСТИКУ ..... - 204 -
- Т.Є. Циба, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.*  
СИСТЕМА РОЗМІРНОГО НАЛАШТУВАННЯ ..... - 207 -
- В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ 3D ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ..... - 211 -

## **СЕКЦІЯ №4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕОРІЯ І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН, МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ. МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ.**

- О. М. Галузінський, студент гр. ПМ-81мп, старший викладач Зайцев В. М.*  
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРІВ МАСИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ..... - 216 -
- Є.В. Левченко, студент гр. ЕППМ-18-1*  
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЕЛЬТА РОБОТОМ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ ..... - 220 -
- М.І. Літовко, студентка гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Нікітін О.К.*  
ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ БОРОШНА В ЄМНОСТІ. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА ..... - 224 -
- Д.О. Романчук, студент гр. ПІ-81мп*  
РОЗРАХУНОК ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ВАГОВИМІРЮВАЛЬНОГО ДАТЧИКА- 228 -
- О.І. Фасоля, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*  
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЕЛЬТА РОБОТА ..... - 232 -
- Д.В. Федорчук, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*  
ПРОБЛЕМА ПОШУКУ ОБ'ЄКТІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯЗНАХОДЖЕННЯ У ВЕЛИКИХ ПРИМІЩЕННЯХ ..... - 236 -
- Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., професор. Гераймчук М.Д.*  
РОБОТИЗОВАНА КІНЦІВКА..... - 240 -

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, старший викладач Толочко Т.О.  
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB. - 243 -

## **СЕКЦІЯ 5. ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**

O.V. Yablunivsky, student gr. PN-51, Ph.D., Associate Professor, M.O. Markin  
MULTISPECTRAL PYROMETER ..... - 248 -

Г.А. Бусигіна, студент гр. ПН-81мн, к.т.н., асист. Івасенко В.М.

А.Р. Гармаш, студент гр. ПН-81мн,  
МЕТРОЛОГІЧНІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ППР-ПРИЛАДІВ ..... - 255 -

О.В. Коляда, студент групи ПН-81мн, к.т.н. Маркін О.М.  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО  
МОНІТОРИНГУ З ПОПІКСЕЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ ЗОБРАЖЕНЬ ..... - 259 -

Коченовська О. П., студентка гр. ПН-351, к.т.н., доц. Маркіна О.М.  
ВИМІРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАДНОГО ГАЗУ В ВИКИДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ  
БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ ..... - 263 -

К.А. Морозов, студент гр. ПН-п81, к.т.н., доц., О.М. Маркіна  
АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОДВИГУНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ  
СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ..... - 266 -

К.Я. Мушкет, студент гр. ПН-61-1, Д.С. Мельниченко студент гр. ПН-61-1,

Оверчук А.Я. студент гр. ПНз-61,  
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ..... - 269 -

М.М. Тарасюк, студент гр. ПН-71мн, В. В. Старовіт, студент гр. ПН-71мн  
РОЛЬ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ В СТАЛОМУ РОЗВИТКУ  
СУСПІЛЬСТВА ТА НЕОБХІДНІСТЬ МОНІТОРИНГУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ.. - 273 -

В.В. Тризна, студент гр. ПН-81мн  
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБ'ЄДНАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА ВИДИМОГО  
ЗОБРАЖЕНЬ ..... - 277 -

В.В.Трохимець, студент групи ПН-81мн  
ОЦІНКА ТА ВИБІР МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПИЛУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ..... - 280 -

К.І. Кузьменко, студент гр. ПН-61-1, М.І. Харченко, студент гр. ПН-71мн,

Потебенко О.С. студент гр. ПНз-61,  
ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОНЯШНИКОВОЇ  
ОЛІЇ..... - 283 -

## **СЕКЦІЯ 6. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

І.А. Prylypa, student of PB-z82mp gr., Nataliia Stelmakh  
INVERSE LINK UNIT FOR PARAMETERS CONTROL OF ELECTROSLEEP  
THERAPY DEVICE..... - 290 -

<i>О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент,</i>	
<i>С.М. Матвієнко, асистент</i>	
СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ГОЛОВНОГО МОЗКУ .....	- 294 -
<i>О.Т. Грузинська, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент</i>	
МЕТОД ЕЛЕКТРОКАРДІОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗШИРЕНИМИ ФУНКЦІЯМИ .....	- 298 -
<i>Т.О.Гурова, студентка гр. ПБз-82мп, В.В.Шевченко, к.т.н., доцент</i>	
СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ .....	- 302 -
<i>Дорожук І. А., студент гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент</i>	
СИСТЕМА СТИМУЛЯЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН З ДІАГНОСТИКОЮ.....	- 305 -
<i>Клепач М.М., студентка гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент</i>	
ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ.....	- 309 -
<i>В.В. Копищик, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент</i>	
ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН.....	- 313 -
<i>Лоєнко А.А., Лоєнко Є.О., студенти гр. ПБ-з82мп</i>	
ВПЛИВ ОПРОМІНЮВАННЯ КРОВІ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ОПТИЧНОГО ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ НА ОКСИГЕНАЦІЮ КРОВІ ТА ЧАСТОТУ ПУЛЬСУ-	317 -
<i>А.І. Нагорний, студент гр. БП - 51, М.О. Безуглий к.т.н., доцент</i>	
КОНТРОЛЬ ДОЗИ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИВЕДЕННІ ТАТУЮВАНЬ .....	- 322 -
<i>Нагорянський Р.С. студент групи ПБз-51, С.С. Заєць, асистент</i>	
ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЛІКУВАННІ ЗАХВОРЮВАНЬ КРОВІ .....	- 326 -
<i>О.В. Руцька, студентка гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент</i>	
ПАРАМЕТРИ ГЛИБИНИ ТА ЯКОСТІ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНІ РАН СИСТЕМОЮ ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА САНАЦІЇ РАН .....	- 329 -
<i>В. В. Цапенко, аспірант гр. ПБ-72ф, к.т.н., доц., Терещенко М. Ф.</i>	
КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОПИ ЛЮДИНИ.....	- 333 -
<i>О. Г. Шмендель, аспірант гр. ПБ-82ф, І.А. Данилюк, студент гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент</i>	
ПРОЦЕСИ ЗМІН ГРАДІЄНТІВ ТЕМПЕРАТУР В БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИНАХ ПРИ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	- 337 -

## **СЕКЦІЯ 7. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА**

<i>В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71</i>	
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЕСТЕСВЕННОГО УПРАВЛЕННЯ БІОНІЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ.....	- 342 -
<i>Д.В. Барановський, студент гр. ПК-51</i>	
БЕЗДРОТОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП.....	- 346 -
<i>М.В. Герасимчук, студент гр. ПК-61</i>	
МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА ПАРАМЕТРІВ КОЛІРНОГО ЗОРУ ЛЮДИНИ.....	- 350 -



<i>Дакус С.В., студент гр. ПБ-15-1, к.т.н., доц. Криницький О.С.</i> ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ .....	- 354 -
<i>В.І. Завальський, студент гр. ПБ-15-1, к.т.н., асис. Чуйко М.М.</i> КОНТРОЛЬ ДИНАМІЧНОГО КРАЙОВОГО КУТА ЗМОЧУВАННЯ ПРИПОЯМИ ОСНОВНИХ МАТЕРІАЛІВ ПАЯННЯ .....	- 358 -
<i>Р.В.Каньоса, студент гр. ПК-81мп</i> АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КРУГОВИХ СТАТИСТИК СИГНАЛІВ ВИХРОСТРУМОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІІ .....	- 361 -
<i>С.Є. Клепач, студент гр. ПК-81мп</i> УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ БУРИЛЬНИХ ТРУБ .....	- 364 -
<i>І.Г. Котов, студент гр. ПК-81мп</i> КОНТРОЛЬ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.....	- 368 -
<i>Є.В. Лагутін, студент гр. ПК-51</i> ВИКОРИСТАННЯ КАТКОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ДІЛЯНОК КОРПУСА СУДНА.....	- 371 -
<i>О.В. Ладигенський, студент гр. ПК-81мп</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСТНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	- 375 -
<i>М.М. Мерецький, студент гр. ПК-51, к.т.н., доц. Галаган Р.М.</i> ОНЛАЙН-СЕРВІС ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛЕГЕНЬ ЗА РЕНТГЕНІВСЬКИМИ ЗНІМКАМИ.....	- 378 -
<i>Н.В. Мороз, студент гр. ПК-81мп</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНОЇ ФАЗОМЕТРІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ .....	- 381 -
<i>С.П. Ноценко, студент гр. ПК-51</i> АНАЛІЗ КЛЕПАНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ .....	- 385 -
<i>О.А. Повшенко, студент гр. ПК-81мп</i> ПІДВИЩЕННЯ ККД П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ ЗОНДУЮЧОГО ІМПУЛЬСУ-	389 -
<i>Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51</i> АНАЛІЗ ЛОПАТОК ТУРБІНИ.....	- 393 -
<i>О. В. Стасишин, студент гр. ПК-81мп, к.т.н. О. В. Муравйов</i> ТЕРМОГРАФІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ В МЕДИЧНІЙ ПРАКТИЦІ .....	- 396 -
<i>Д.В. Сторожик, студент гр. ПК-51</i> КОНТРОЛЬ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ .....	- 400 -
<i>д.т.н. проф. Г.М. Сучков, д.т.н., проф. Петрищев О.Н, к.т.н. Плєснецов С.Ю.</i> ВИЯВЛЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ МЕТАЛОВИРОБІВ БЕЗКОНТАКТНИМ ЕКСПРЕС-МЕТОДОМ .....	- 403 -
<i>Тасаж В.С., студент гр. ПК-51</i> КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТІ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ .....	- 407 -

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ..... - 410 -

*Р.Б. Ферко, студент гр. ПК-81мп*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ..... - 414 -

*В.Є. Цимбал, студент гр. ПК-81мп*

РУКА-МАНІПУЛЯТОР ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГАЛЬМІВНИХ ДИСКІВ ..... - 418 -

*Якимчук А.Ю., студентка гр. ПК-61*

СУЧАСНА ТЕРМОГРАФІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В ОБЛАСТІ МЕДИЦИНИ..... - 421 -

## **СЕКЦІЯ 9. МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

*І.О. Симоненко, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Синиця В.І.*

ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ..... - 426 -

*Ю.Д. Васильєва, студент гр. ВВ-71 мн, к.т.н. Морозова М.М.*

НЕЙРОМЕРЕЖА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ- 429 -

*Б.С. Ганчев, студент гр. ПН-81мп, к.т.н., ас. В.М. Івасенко*

КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ПИЛУ В ПОВІТРІ ЖИТЛОВИХ РАЙОНІВ КИЄВА ..... - 433 -

*Гольдич О.О., студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.*

ДИНАМІЧНІ КОНВЕЄРНІ ВАГИ ..... - 437 -

*К. А Коваль, студентка гр. ВВ-81мп*

СПОСОБИ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕРМ-МНОЖИНИ ШКАЛИ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ..... - 440 -

*Я.В. Лукаш, студент гр. МТПм-18-1, к.т.н., доц. Витвицька Л. А.*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ХРОМАТОГРАФІЧНОГО КОНТРОЛЮ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ..... - 444 -

*І. Б. Мацюк, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.*

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПОВІРКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ..... - 448 -

*Ю.І.Моголівець, студентка гр. ВВ-81мп*

СПОСОБИ ВРАХУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ЗСТОСУВАННІ ШКАЛИ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ..... - 454 -

*З.В.Міхова, студент гр. ВВ-71мп*

МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ..... - 458 -

*О. В Учкін, студент гр. ВВ-81мп*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ ..... - 462 -

*Б.М. Шуба, студент гр. ВВ-81мп, д.т.н., проф. Єременко В.С.*  
СИСТЕМА АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ..... - 465 -

## **СЕКЦІЯ 10. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

*В.А. Володарський, студент гр. ВМ-51-а, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.*  
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ БАТАРЕЄЮ НА БАЗІ  
ОДНОКООРДИНАТНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРУ ..... - 470 -

*Лівадіна А.Ю., студент гр. ВА-71-мн*  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ЗА  
ЗОБРАЖЕННЯМ НА ОСНОВІ МЕТОДУ EIGENFACE ..... - 474 -

*Д.М. Семенко, студент гр. ВМ-51-1, О.В. Стаценко, к.т.н., доц.*  
АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ ... - 478 -

*О.В. Токаренко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков*  
ПОХИБКА ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ІМІТАНСУ ..... - 481 -

*В.О. Хомич, студент гр. ВМ-51-1*  
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ GPS-МОНІТОРИНГУ ..... - 485 -





## **Секція 1.**

# **КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ.**

УДК 681.200

*С.С. Афзель, студентка гр. ППн-61*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО ДАТЧИКА РУХУ ОБ'ЄКТІВ.**

**Анотація.** В роботі було розроблено комбінований датчик руху, який складається з інфрачервоного та ультразвукового датчику. Наведено недоліки та переваги даного датчика руху. За рахунок поєднання двох видів датчиків підвищується точність показань та компенсуються недоліки один одного. Визначено та запропоновано області застосування комбінованого датчика.

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

### **ВСТУП**

Датчик руху – сигналізатор, який фіксує переміщення об'єктів і використовується для контролю за визначеною територією. Також використовуються для автоматичного запуску необхідних дій у відповідь на переміщення об'єктів

Датчик руху використовується найчастіше в охоронних системах, системах сигналізації та системах освітлення. При використанні даних пристроїв, в охоронній системі, основною ціллю є – повідомлення про дії, відповідно до програми на спеціальний пульт керування. Датчик руху використовується у системах сигналізації, для виявлення небажаних проникнень на територію. У системах освітлення датчики використовуються в цілях автоматичного увімкнення світла. Також нерідко датчики руху можна зустріти на виробництвах для автоматизації процесу виконання технологічних задач.

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

### **ТИПИ ДАТЧИКІВ РУХУ**

Датчики руху розрізняють за принципом дії. Від цього залежить їх робота, точність спрацювання та особливості використання. У кожного з них є недоліки та переваги.

**Контактні датчики.** Найпростіший тип датчика руху, Геркон (герметичний контакт) – перемикач, який спрацьовує, коли з'являється магнітне поле. Перевагами є: низька вартість, простота конструкції та монтажу. Недоліками є: низька точність та можливість неправди ваз спрацювань[1].

**Інфрачервоні датчики.** Спрацьовують від теплового випромінювання, реагують на зміну температури у спектрі його роботи. Коли об'єкт потрапляє у поле зору такого датчика, він спрацьовує на теплове випромінювання тіла людини. Перевагами датчика є: проста конструкції, невисока ціна, широкий спектр виявлення. Недоліками ж є можливість хибних спрацювань[1-3].

**Ультразвукові.** Випромінювач працює на високих частотах від 20 кГц до 60 кГц, ультразвуковий датчик працює на ефекті Доплера. Випромінюються хвилі, які відбиваються від об'єкта та повертається на приймач. При цьому довжина хвилі змінюється, це розпізнається та датчик генерує сигнал, який



використовуються для подальшого управління. Недоліками є те, що датчик може не спрацювати, якщо рухи повільні та може створювати дискомфорт домашнім тваринам. Перевагою такого датчика є те, що він не реагує на зміни навколишнього середовища [2-4].

Радіохвильові датчики. Радіохвильові датчики працюють за принципом схожим на принцип роботи ультразвукових датчиків. Відмінність полягає в тому, що радіохвильовий датчик приймає відбиття СВЧ хвиль. Радіохвильові датчики виявляють об'єкти за тонкими стінами, дверима та склом, реагує навіть на незначні переміщення, що є перевагами. Недоліками є: висока вартість, випадки хибних спрацювань[2-5].

Мікрохвильові. Датчик складається з випромінювача та приймача. Випромінювач генерує сигнал з високими частотами, а приймач, відповідно їх приймає. Приймач працює таким чином, при зміні частоти, сигнал посилюється і передається на виконавчий прилад. До переваг датчика можна віднести те, що датчики дуже чутливі і можуть виявляти об'єкти за дверима та стінами. Недоліками є те, що можливі випадки хибного спрацювання, коли об'єкт знаходиться не у полі роботи датчика[3].

Комбіновані датчики. Дані датчики створені шляхом синтезу сенсорів різних типів. Вони є досить точними при виявленні об'єктів, надійні і відсутні хибні спрацювання. Конструкція таких датчиків досить складна та висока ціна на них робить їх менш доступними ніж інші типи датчиків[4].

## **ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКІВ РУХУ**

На сьогоднішній день, датчики руху знайшли застосування у багатьох сферах, але найбільш використовуються в охоронних системах, системах безпеки та світлових системах.

Для охоронних систем використовуються усі типи датчиків руху в залежності від потреб. Якщо це житлове приміщення, то більш за всі використовуються інфрачервоні датчики та контактні. Якщо необхідна підвищена безпека, то використовуються мікрохвильові та комбіновані датчики. В складських приміщеннях, великої площі використовуються мікрохвильові датчики [4-5]. Принцип роботи такої системи полягає у тому, що при появі стороннього об'єкта датчик руху виявляє його відповідно до типу конструкції та передає сигнал на пристрій, що проковує налаштований попередньо вид сповіщення про порушення системи безпеки. Наприклад: спрацювання сирени, виклик патрулю, увімкнення відеоспостереження, сповіщення на смартфон та ін [5].

У системах освітлення використовуються в основному інфрачервоні датчики та контактні датчики. Принцип роботи системи виглядає наступним чином: датчик руху виявляє зміну світлового потоку або присутність об'єкта, сигнал напруги на виході підвищується та передається на керуючий пристрій за допомогою якого автоматично вмикається або вимикається світло[6].

## РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО ДАТЧИКІВ РУХУ

Розглянемо структурну схему комбінованого датчика руху для охоронної системи, яка зображена на рис. 1. Комбінований датчик складається з двох датчиків: інфрачервоного і ультразвукового, з керуючого ядра, usb-конвертора, wi-fi модуля та дисплею, також у схеми присутні: блок елементів живлення та блок стабілізаторів.

Принцип роботи комбінованого датчика виглядає наступним чином: керуюче ядро одночасно сприймає та надає інформацію іншим пристроям. На нього потрапляють дані з інфрачервоного датчика та ультразвукового датчика, які після цього конвертуються за допомогою конвертора та потрапляють до ПК, де вони вже отримують кінцеву обробку користувачем. Дані з керуючого ядра потрапляють на дисплей та навпаки. Так само з модулем Wi-Fi, дані передаються з керуючого пристрою та знімаються ним. Також присутній зворотній зв'язок в ультразвукового датчика, це означає, що користувач має змогу керувати датчиком за допомогою ядра, коли з інфрачервоного датчика інформація тільки надходить.

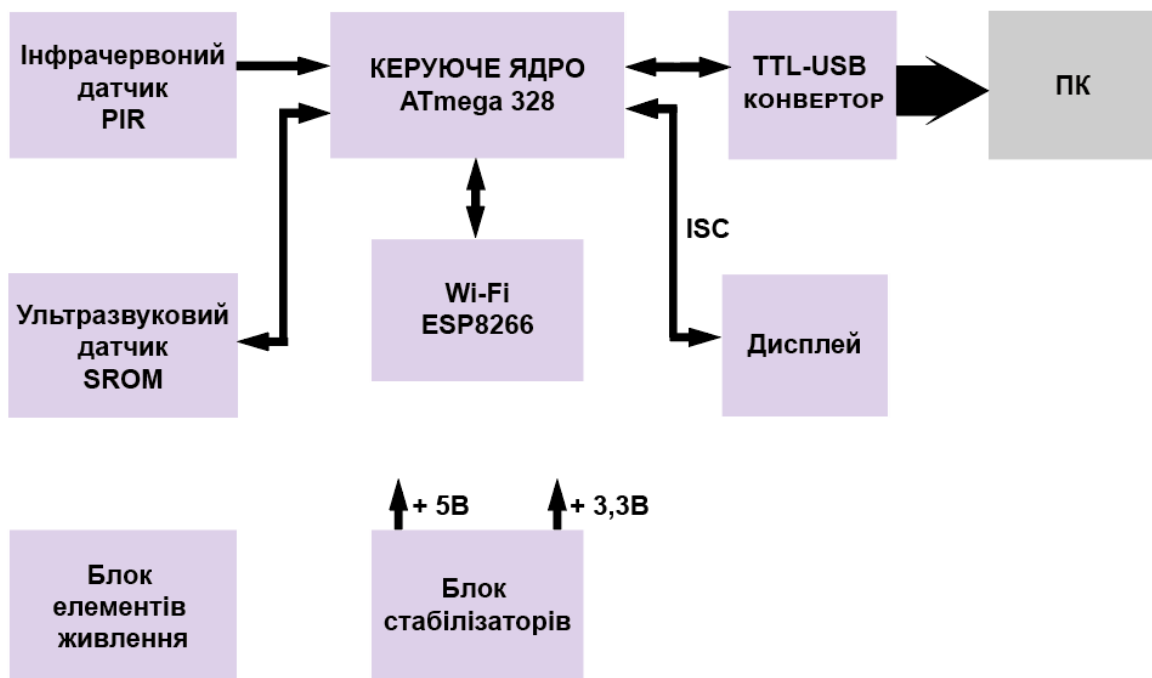


Рисунок 1. Структурна схема комбінованого датчика руху

Поєднанням двох типів датчиків руху, компенсуються недоліки одного датчика іншим. У даному випадку компенсується те, що інфрачервоний датчик має низьку точність роботи на вулиці та не виявляє об'єкти, що вкриті матеріалами, які не пропускають випромінювання, коли ж ультразвуковий датчик відпрацьовує дані аспекти дуже добре. Відносно точності – точність такого датчика буде висока, оскільки обидва датчика одночасно аналізують територію, кожен своїм методом. На виході датчиків, значення їх будуть порівнюватися і таким шляхом буде отримано більш достовірні значення, ніж за використанням одного з них. Застосовувати даний датчик можна, як в приміщенні, так і на вулиці.

## **ВИСНОВКИ**

В роботі був розроблений датчик руху, комбінованого типу, шляхом поєднання інфрачервоного та ультразвукового датчика. Таким чином було компенсовано недоліки одного датчика перевагами іншого.

Також в роботі наведена структурна схема датчику та принцип роботи. З яких видно, що датчик має досить просту та зручну конструкцію та простий у використанні. З чого можна зробити висновок, що вартість приладу не буде високою, а навпаки – доступною, що може збільшити його використання.

Даний датчик може бути застосований у системах охорони, безпеки та системах освітлення. Він безпечний для життя та простий у використанні та монтажу, що робить спектр його застосування значно ширшим за інші.

Аналізуючи дані про датчики руху, можна сказати, що датчики руху будуть використовуватись активніше в наступні кілька років, особливо у країнах Європи. Яскравим прикладом є поява так званих «Розумних будинків», системи таких будинків неможливо створити без використання датчиків руху. Це означає, що розробка даного приладу є дуже актуальною у наш час.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Устройство датчика движения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rutlib5.com/book/18999/p/6>
- [2] Кашкаров, А.П. Датчики в электронных схемах: от простого к сложному: навч. посіб. / А. П. Кашкаров — К. : ДМК, 2017. — 200 с.
- [3] Принцип работы датчиков движения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://progress.online/tehnologii/694-princip-raboty-datchikov-dvizheniya>
- [4] Афзель, С.С. Обзор современного состояния и перспективы развития датчиков движения / С.С. Афзель, М.О. Березанська // Эффективность инженерных решений в приборостроении : материалы доповідей XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 2018 – С. 16–18.
- [5] Кашкаров, А.П. Справочное пособие по системам охраны с пирозлектрическими датчиками : навч. посіб. / А. П. Кашкаров — К. : ДМК, 2016. — 200 с.
- [6] Крошкин, В.А. Использование датчиков движения и освещенности как способ энергосбережения в жилом доме / В. А. Крошкин, А. Т. Робертівна // Общественные и экономические науки : материалы XXIX Студенческой международной заочной научно-практической конференции», 2015 – С. 128–133.

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

УДК 621.865.8, 007.52

*І. М. Голубенко, студент гр. ПГ-61, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ДЕЛЬТА-РОБОТІВ

**Анотація.** Дельта-робот є одним з видів паралельних роботів, що широко використовується у промисловості на автоматизованих лініях. Описано основні області застосування розгляданого механізму. У статті приведено конструктивну схему механізму, розглянуто його кінематику. Розглянуто питання прямої та оберненої кінематичної задачі дельта-роботів. Приведено формули, що дозволяють отримати для них розв'язок.

**Ключові слова:** пряма кінематика, обернена кінематика, робот

### ВСТУП

Дельта-робот – пристрій, що розташований на нерухомій основі, де відбувається рух трьох важелів та нижньої платформи. Важелі прикріплені до основи за допомогою універсальних (карданових) шарнірів. Дельта-робот (рис.1) був винайдений на початку 80-х років ХХ століття Реймондом Клавелем [1].

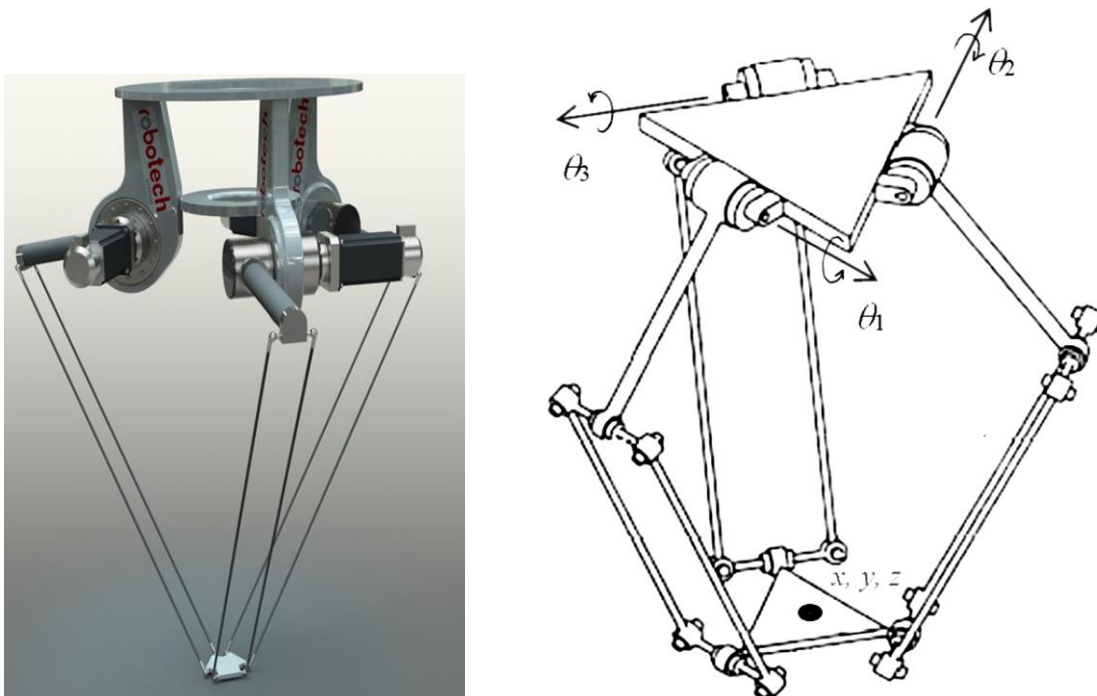


Рис. 1. Зовнішній вигляд та конструктивна схема дельта-робота

Він складається з закріпленої(нерухомої) основи та рухомої основи, яка з'єднана трьома важелями, де кожний з важелів складається з верхнього плеча, що з'єднано з двигуном та нижнього плеча, яке представляє собою паралелограм. Двигун знаходиться на нерухомій верхній основі. В кожному куті паралелограма встановлені універсальні шарніри. Особливістю даного механізму є те, що кожний з паралелограмів встановлений так, щоб його верхня сторона завжди була паралельна до верхньої основи та утворювала прямий кут зі своїм важелем.

Швидкість –головна перевага у характеристиках дельта-робота, оскільки його важкі двигуни розташовані на нерухомій верхній основі, а переміщення виконується тільки важелями і нижньою платформою. Для зменшення інерційності важелі та нижня платформа виготовляються з легких матеріалів.

Застосування дельта-роботів:

- Подача деталі з різних боків робочої зони.
- Харчова промисловість (миття під низьким тиском, створення спец. покриття для захисту від зовнішнього впливу).
- Збір деталей.
- Пакування і загортання в пластик.
- Дуже часто можна побачити як дельта-робота використовують у сортуванні: сортування печива, фармацевтичних засобів. Тобто у випадках, коли дуже важлива швидкість обробки поставлених завдань.

## ОСНОВНІ ЕТАПИ РОБОТИ ДЕЛЬТА-РОБОТА

У роботі дельта-робота використовуються два основні великі кроки:

1. Визначення величини кутів, на які потрібно повернути вали двигунів, які зв'язані з важелями робота.

2. Розрахунок та знаходження положення платформи робота у просторі.

Для реалізації описаних кроків необхідно розглянути опис та математичну модель для прямої та оберненої задачі кінематики дельта-робота.

Перша задача полягає у визначенні величини кутів, на які необхідно повернути двигуни, пов'язані з важелями робота, щоб перемістити маніпулятор дельта-робота у відому позицію. Наприклад, нам необхідно схопити деталь, яка на конвеєрі в точці з відомими координатами  $(x, y, z)$ . Процедура визначення цих кутів називається оберненою кінематичною задачею.

У другій задачі є відомим кути, на які потрібно повернути вали двигунів дельта-робота, і нам необхідно розрахувати положення платформи робота у просторі (наприклад, щоб скорегувати його позицію). Дану задачу прийнято називати прямою кінематичною задачею.

На рис.2 зображена кінематична схема, яку будемо надалі використовувати для математичного опису вище перелічених задач.

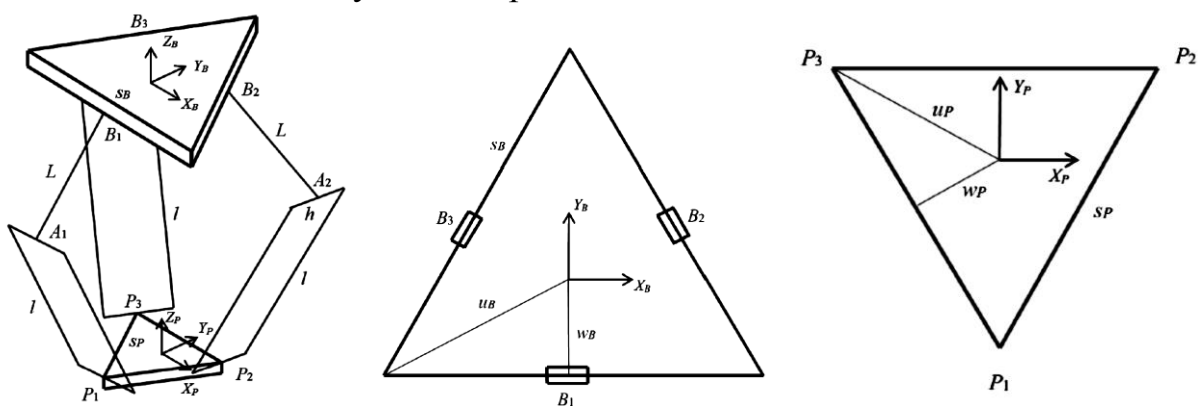


Рис. 2. Кінематична схема дельта-робота

Для кінематичної схеми на рис.2 векторні рівняння, що описують рух робота мають вигляд

$$\{ {}^B \mathbf{B}_i \} + \{ {}^B \mathbf{L}_i \} + \{ {}^B \mathbf{l}_i \} = \{ {}^B \mathbf{P}_P \} + [ {}^B_P \mathbf{R} ] \{ {}^P \mathbf{P}_i \} = \{ {}^B \mathbf{P}_P \} + \{ {}^P \mathbf{P}_i \} \quad i=1,2,3$$

Дельта-робот має три обмеження, які полягають у підборі правильних довжини нижніх ніжок, що мають мати постійну постійну довжина  $l$  (віртуальна

довжина через центр кожного паралелограми):

$$l_i = \left\| \{ {}^B \mathbf{l}_i \} \right\| = \left\| \{ {}^B \mathbf{P}_P \} + \{ {}^P \mathbf{P}_i \} - \{ {}^B \mathbf{B}_i \} - \{ {}^B \mathbf{L}_i \} \right\| \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

Відповідні сталі складові векторів  ${}^P P$  та  ${}^B B$  мають вигляд

$${}^B \mathbf{B}_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ -w_B \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B \mathbf{B}_2 = \begin{Bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} w_B \\ \frac{1}{2} w_B \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^B \mathbf{B}_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} w_B \\ \frac{1}{2} w_B \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$${}^P \mathbf{P}_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ -u_P \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^P \mathbf{P}_2 = \begin{Bmatrix} \frac{s_P}{2} \\ w_P \\ 0 \end{Bmatrix} \quad {}^P \mathbf{P}_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{s_P}{2} \\ w_P \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Змінні величини  $\{ {}^B \mathbf{L}_i \}$  залежать від суглобових кутів  $\Theta = \{ \theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \}^T$

$${}^B \mathbf{L}_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ -L \cos \theta_1 \\ -L \sin \theta_1 \end{Bmatrix} \quad {}^B \mathbf{L}_2 = \begin{Bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} L \cos \theta_2 \\ \frac{1}{2} L \cos \theta_2 \\ -L \sin \theta_2 \end{Bmatrix} \quad {}^B \mathbf{L}_3 = \begin{Bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} L \cos \theta_3 \\ \frac{1}{2} L \cos \theta_3 \\ -L \sin \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Підстановка знайдених виразів у векторні рівняння, що описують рух замкненого контуру, дає наступний результат

$$\{ {}^B \mathbf{l}_1 \} = \begin{Bmatrix} x \\ y + L \cos \theta_1 + a \\ z + L \sin \theta_1 \end{Bmatrix} \quad \{ {}^B \mathbf{l}_2 \} = \begin{Bmatrix} x - \frac{\sqrt{3}}{2} L \cos \theta_2 + b \\ y - \frac{1}{2} L \cos \theta_2 + c \\ z + L \sin \theta_2 \end{Bmatrix} \quad \{ {}^B \mathbf{l}_3 \} = \begin{Bmatrix} x + \frac{\sqrt{3}}{2} L \cos \theta_3 - b \\ y - \frac{1}{2} L \cos \theta_3 + c \\ z + L \sin \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

Три рівняння (1) та (3), що обмежують степені свободи розглядуваного механізму, дозволяють отримати три скалярні кінематичні рівняння для дельта-робота:

$$\begin{aligned} 2L(y+a)\cos\theta_1 + 2zL\sin\theta_1 + x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2 &= 0 \\ -L(\sqrt{3}(x+b) + y+c)\cos\theta_2 + 2zL\sin\theta_2 + x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2xb + 2yc - l^2 &= 0 \\ L(\sqrt{3}(x-b) - y-c)\cos\theta_3 + 2zL\sin\theta_3 + x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 - 2xb + 2yc - l^2 &= 0 \end{aligned}$$

Обернена кінематична задача полягає у визначенні кутів повороту  $\Theta = \{ \theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \}^T$  керуючих двигунів по відомим координатам контрольної точки  ${}^B \mathbf{P}_P = \{ x \quad y \quad z \}^T$  рухомої нижньої основи дельта-робота. Розрахунок даних кутів проводиться за формулами [2]:

$$\theta_i = 2 \tan^{-1}(t_i) \quad , \quad (4)$$



де  $t_{i,2} = \frac{-F_i \pm \sqrt{E_i^2 + F_i^2 - G_i^2}}{G_i - E_i}$ . Складові, що входять до рівнянь по визначенню допоміжних змінних, залежать від параметрів дельта-робота та необхідного положення контрольної точки

$$E_1 = 2L(y + a)$$

$$F_1 = 2zL$$

$$G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2$$

$$E_2 = -L(\sqrt{3}(x+b) + y + c)$$

$$F_2 = 2zL$$

$$G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(xb + yc) - l^2$$

$$E_3 = L(\sqrt{3}(x-b) - y - c)$$

$$F_3 = 2zL$$

$$G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(-xb + yc) - l^2$$

Як видно з формули для  $t_i$ , що входить у вираз (4), для обраної позиції існує два можливих розв'язки. Обидва є правильними, бо кожен із них описує можливий варіант руху колін – чи вліво, чи вправо. Це дає два рішення для задачі оберненої кінематики для кожної ноги робота дельта-робота. Це породжує 8 можливих розв'язків для приведення платформи у задане положення. Із цих розв'язків вибирається один, що забезпечує приведення робота в нове положення по найкоротшому маршруту.

## ВИСНОВКИ

У статті приведено основні області застосування дельта-роботів. Розглянуто теоретичні питання, що вирішують задачі функціонування роботів даного типу. У роботі приведені формули, що дають змогу розв'язати задачі прямої та оберненої кінематики дельта-робота.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]. Дельта-робот [Електронне видання]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82>
- [2]. Robot, A. F. D. The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions Robert L. Williams II, Ph. D., williar4@ohio.edu Mechanical Engineering, Ohio University, October 2016.

## УДК 681.200

*М.О. Березанська, студентка гр. ПГ-пб1*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ОГЛЯД CONTROL SYSTEM TOOLBOX ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО РОЗВИТКУ

**Анотація.** В роботі був проведений огляд Control System Toolbox, який показав, що він використовується для вирішення задач аналізу та синтезу лінійних систем автоматичного управління. Представлені області та особливості застосування Control System Toolbox. Також був приведений опис вимірювальних об'єктів даного пакету.

**Ключові слова:** Toolbox, системи автоматичного управління, передатна функція, амплітудно-фазо частотні характеристики.

#### ВСТУП

Toolbox є одним із основних засобів розширення систем, а також її підлаштування для вирішення певних типів завдань математичного, наукового або технічного характеру.

Toolbox – це спеціальний інструментальний набір, який застосовують для розширення функціональності MATLAB.

Control System Toolbox надає можливість маніпуляції та створення лінійних моделей об'єктів системи управління[1].

Використання Control System Toolbox допомагає вирішити різні арифметичні завдання в лінійних моделях, також побудова блок-схем шляхом поєднання моделей послідовно, паралельно чи зі зворотним зв'язком, дискретизація моделей котрі працюють в неперервному часі[2].

#### CONTROL SYSTEM TOOLBOX

Пакет Control System Toolbox містить в собі інструменти котрі дозволяють вирішувати різноманітні задачі, такі як аналіз та синтез лінійних систем автоматичного управління (САУ).

До цього пакету належать такі основні вимірювальні об'єкти[3]:

- Батьківський об'єкт (клас) LTI (Linear Time-Invariant System), лінійна стаціонарна система (ЛСС).

- Дочірні об'єкти (підклас), підкласи класу LTI, підходящий трьом різним представленням ЛСС: TF- об'єкт (Transfer Function – передавальна функція); ZRK- об'єкт (Zero-Pole-Gain – нулі-полюси-коефіцієнт передачі); SS- об'єкт (State Space – середовище стану) [2].

Об'єкт LTI, включає в себе інформацію, що не залежить від конкретного представлення ЛСС (безперервного або дискретного), а також від назв вхідних і вихідних параметрів. Дочірні об'єкти виокремлюються конкретною формою подачі ЛСС, тобто вони залежні від моделі представлення. Наприклад, об'єкт TF має таку характеристику як вектори коефіцієнтів чисельника і знаменника певних раціональних передавальних функцій.

Завдяки Control System Toolbox систему можна описати за допомогою передавальної функції або рівняння стану, за допомогою задання розташування нулів і полюсів або за допомогою задання деяких частотних характеристик. За допомогою командної стрічки чи графічного інтерфейсу користувача, можна

використовувати функції для зображення в часовій та частотній областях поведінку системи[3].

Є можливість налаштування параметрів пропорційно-інтегрально-диференціюючого (ПІД) регулятора і це виконується за допомогою інструмента автоматичного налаштування ПІД регуляторів, сформування логарифмічних частотних характеристик, розташовування нулів і полюсів, проектування лінійно-квадратичних регуляторів (LQR) або лінійно-квадратичних гаусових регуляторів (LQG) і застосовування інших інтерактивних та автоматизованих методів. Є можливість проводити контроль таких властивостей системи, як час перехідного процесу, переналаштування, час наростання, запас стійкості по амплітуді і фазі і так далі [4].

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ**

В основі для аналізу і проектування системи управління (СУ) лежать лінійні методи управління.

За допомогою Control System Toolbox, користувач може створити і змінити лінійну модель СУ. Також за допомогою інтерактивних інструментів зображення є можливість аналізу моделі системи, а також її обмеження. Можливість систематичного налаштування параметрів СУ з вживанням методів проектування single-input / single-output (SISO - єдиний вхід / єдиний вихід) і multi-input / multi-output (MIMO - декілька входів / декілька виходів) [5-7].

Аналіз моделей. Control System Toolbox – це надання зручного графічного інтерфейсу користувачеві і велику кількість функцій командної рядки для аналізу лінійних моделей.

За допомогою графічного інтерфейсу користувача LTI Viewer (використовується для дослідження лінійних систем) є можливість перегляду часових і частотних характеристик одночасно кількох лінійних моделей. Також можлива оцінка ключових параметрів роботи системи, таких як час наростання, час перехідного процесу, переналаштування і границі стійкості.

До списку доступних нам графіків можна віднести наступні: відгук на одиничний поетапний вплив, відгук на імпульс, логарифмічні частотні характеристики, залежність амплітуди від фази (Nichols), амплітудно-фазова частотна характеристика (Nyquist), особливі точки (Singular value), а також нулі і полюси[3-6].

Головні особливості:

- Сумісний в роботі з передатними функціями, рівняннями стану, нулями і полюсами систем, частотними характеристиками;
- Спроможність послідовного та паралельного поєднання або поєднання зі зворотним зв'язком блок-схем лінійної системи;
- Одержання відгуку на одиничний поетапний вплив, побудова амплітудно-фазових частотних характеристик (АФЧХ), можливість використання інструментів для часового і частотного аналізу стійкості системи та характеристика якості систем;

- Визначення положення нулів та полюсів, побудова логарифмічних частотних характеристик, LQR, LQG та багато інших класичних методів і методи оцінки простору станів для проектування СУ;
- Автоматичне наладження ПІД регуляторів;
- Зміна зображення моделі, можливість дискретизації моделі, яка працює в неперервному часі і можливість апроксимації;
- LAPACK (бібліотека з відкритим вихідним кодом, що включає в себе вирішення основних завдань лінійної алгебри) і SLICOT (бібліотека, яка містить алгоритми теорії СУ) алгоритми оптимізації точності роботи і часу виконання; [3-7]

## **ВИСНОВОК**

Використання Control System Toolbox значно спрощує вирішення задач систем автоматичного управління, так як в ньому містяться уже влаштовані алгоритми вирішення задач такого типу. Так як в даний час системи автоматичного управління все більше використовуються, то можна сказати, що Control System Toolbox буде й надалі все більше використовуватися і збільшиться перспектива розширення цього пакету.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Березанская М. А. Применение библиотек Toolbox для решения инженерных задач/ М. А. Березанская// Новые направления развития приборостроения: 12-я международная научно-техническая конференция молодых учёных и студентов, 17-19 апреля 2019 г. Республика Беларусь, г. Минск, БНТУ.
- [2] Control System Toolbox – анализ и синтез систем управления [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://matlab.ru/products/control-system-toolbox>
- [3] Исследование линейных стационарных систем(пакет Control) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
- [4] [https://kafpson.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/lazarev\\_matlab\\_model.pdf](https://kafpson.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/lazarev_matlab_model.pdf)
- [5] Control System Toolbox - Проектирование систем управления [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/controlsystem/index.php>
- [6] Проектирование систем управления\Control System Toolbox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://matlab.exponenta.ru/controlsystem/book1/3\\_2.php](http://matlab.exponenta.ru/controlsystem/book1/3_2.php)
- [7] Перельмутер В.М. Пакеты расширения MATLAB. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox. - М.: Солон-Пресс, 2008. — 222 с.
- [8] Control System Toolbox - Design and analyze control systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/products/control.html>

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

УДК 551.5

О.Ю. Мараховська, студентка гр. ПГ-71мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СОНЯЧНИХ ДАТЧИКІВ

**Анотація.** У даній роботі приведені основні типи сонячних датчиків. Датчик сонячної орієнтації (ДСО) призначений для визначення напрямку на центр видимого диска Сонця в приладовій системі координат.

**Ключові слова:** датчик сонячної орієнтації, Сонце, механізм стеження, датчик-обігрівач, поглинальний елемент, датчик щільного типу, оптичний датчик, наносупутник, фасетковий датчик, інтелектуальні здібності.

### ВСТУП

Сонце є основним навігаційним орієнтиром, а тому всі супутники обов'язково оснащуються приладами, які отримали назву сонячних датчиків (СД) або ще їх називають датчиками сонячної орієнтації. Датчики сонячної орієнтації (ДСО) широко використовуються в навігаційній апаратурі літальних космічних апаратів і планетоходів. Прилади орієнтації за Сонцем в історії космонавтики згадуються з часів перших запусків штучних супутників Землі [1].

Направлення на Сонце як точка відліку, використовується в системах орієнтації космічних апаратів з самого початку їх існування. Оскільки більшість обладнання супутників використовує сонячну енергію, важливо щоб сонячні панелі були правильно орієнтовані щодо Сонця. Крім того, деякі космічні апарати можуть мати інструменти, чутливі до світла, які не повинні підлягати прямому сонячному випромінюванню. Існує чимало відомих пристроїв сонячного стеження, які досягли більшого чи меншого успіху у застосуванні [2].

### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СОНЯЧНИХ ДАТЧИКІВ

На світовому ринку космічного приладобудування, представлений широкий спектр приладів орієнтації за Сонцем, де можна знайти приклад реалізації сонячного датчика, що відноситься до одного або кількох із наведених типів [1].

а) Сонячні датчики для механізмів стеження. Датчик відноситься до пристрою для збору сонячної енергії і до механізмів відстеження для сфокусованих збирачів сонячної енергії, і зокрема, до ланцюгів управління. Сонячний датчик являє собою просту концепцію управління електродвигуном змінного струму і є досить недорогим в реалізації через доступність пристроїв датчиків, логічних схем і елементів управління симістором [3].

б) Сонячний датчик-обігрівач. Сонячний нагрівач з датчиком температури служить для контролю потоку рідини через нагрівальні котушки. Сонячний датчик-нагрівач містить автономний ізольований блок, до складу якого входить контейнер або кожух. Контейнер включає в себе безліч шарів ізоляційного матеріалу, що принаймні частково утворюють основу. Сторони контейнера також досить ізольовані, щоб регулювати або контролювати температуру всередині контейнера [4].

в) Сонячний датчик, забезпечений елементом, що поглинає сонячну енергію, і панель з такими датчиками. Пристрій відноситься до сонячних датчиків, які використовують поглинаючий елемент, який в свою чергу має високу поглинаючу здатність в діапазоні довжин хвиль, відповідному сонячному світлу, і низьку випромінюючу потужність в діапазоні довжин хвиль,

Відповідному інфрачервоному випромінюванню. Це може бути застосовано незалежно від форми або типу теплообмінника.

Більш конкретно, сонячний датчик використовує елемент, який вибірково поглинає сонячну енергію, і який повинен бути введений між двома трубчастими скляними оболонками. Одна з оболонок зовнішня і прозора, а інша внутрішня і утворює між ними прошарок, які знаходяться у вакуумі. Внутрішня оболонка, що служить стіною для поглиблення, сама по собі призначена для отримання теплообмінника. Таким чином, зазначений елемент містить два листа металу. Кожен з листів встановлений під таким кутом, що після їх збірки, поглинальний елемент має ромбоподібний поперечний переріз, оточивши внутрішню оболонку і пружно стикається з нею в чотирьох контактних зонах таким чином, щоб забезпечити хорошу ефективність теплопередачі між поглиначем і теплообмінником [5].

г) Сонячний датчик щілинного типу. Датчик Сонця представляє собою оптико-електронний прилад щілинного типу з чотирма зонами огляду. У кожній зоні чутливим елементом є кремнієві фотодіоди ФД-10К. Фотодіоди виробляють електричний струм, величина якого залежить від кутового положення Сонця [6].

д) Оптичний сонячний датчик. Прилад являє собою моноблок, в якому на основі розташовані електронні модулі та оптична головка. Оптична головка – частина фотоприймального пристрою, що складається з ПЗЗ-лінійки (прилад із зарядним зв'язком) і кодуючої маски, об'єднаних в корпусі. Датчик визначає напрямок на центр видимого диска Сонця з подальшим описом вихідної інформації у вигляді напрямних косинусів в системі координат приладу. Принцип роботи приладу простіше викласти, опираючись на модель датчика з кодуючою маскою, що складається з трьох щілин. В оптичному елементі є три щілини, при цьому крайні щілини утворюють з центральною щілиною кут  $45^\circ$  [7].

е) Мініатюрний двовісний сонячний датчик для контролю орієнтації наносупутників. Датчик складається з двох пар фотодіодів, монолітно виготовлених на одній підкладці з кристалічного кремнію і розташованих ортогонально для вимірювання двох кутів сонячного вектора. У цьому пристрої використовуються монолітно інтегровані чотири кремнієвих фотодіода, в тому числі прозоре покривне скло на тому ж кремнієвому кристалізаторі, що служить екраном для запобігання пошкодження космічним випромінюванням.

Виготовлення пристрою поєднує в собі технологію мікроелектроніки з високоефективним процесом виготовлення сонячних елементів, що дозволяє створювати пристрої невеликого розміру (3 см × 3 см) і невеликої ваги (24 г). Послідовність виготовлення пристрою складається з трьох основних етапів: виготовлення кремнієвої матриці, металізація покривного скла, яка визначає два світлових вікна, і приклеювання покривного скла до кремнієвої матриці [8].

є) Фасеткові датчики сонячної орієнтації. Початково такі датчики статичного типу представляли собою фасетку – набір з простих фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), розміщених на куполі, – і давали можливість приладу орієнтації на Сонце (ПОС) бачити ледь не у всіх напрямках

одночасно. Існують такі важливі переваги фасеткових конструкцій перед системами «проекційного» типу, що використовують обмеження світлового потоку діафрагмами різного виду: дуже малі маса і енергоспоживання; одночасний аналіз результатів вимірювань і автономний контроль функціонування; відсутність принципових обмежень по реалізації двокоординатних ширококутних і автономних ПОС.

Базовим елементом будь-якого фасеточного датчика сонячної орієнтації є пара фотоелектричних перетворювачів планарного типу, які розміщені по боках рівнобічної трапеції під однаковим нахилом до базової площини симетрично один одному. Зміна кутів нахилу фотоелектричних перетворювачів дозволяє змінювати кут огляду датчика в певних межах, одночасно змінюючи при цьому і його чутливість [9].

ж) Сонячний датчик з інтелектуальними здібностями. Датчики сонячної орієнтації, принцип дії яких заснований на використанні залежності вихідного сигналу від кута падіння випромінювання на площину фотоприймача, дозволяють забезпечити великий кут огляду, але мають порівняно низьку точність визначення кутового положення. Вони найбільш прості за конструкцією і можуть використовуватися на малих супутниках або в якості резервних систем. Точність цих приладів в значній мірі залежить від лінійності перетворення сигналів, впливу засвічень і температурного впливу.

Датчик автоматично припиняє видачу інформації при нерівномірному затінюванні, біках і виході з ладу окремих елементів. Він забезпечує безперервний самоконтроль правильності функціонування в процесі визначення кутового положення. Видача інформації щодо кутової орієнтації здійснюється в реальному часі. Можлива також реалізація конструкції датчика зі змінним полем зору зміною нахилу граней піраміди. Фотоприймальні елементи можуть служити одночасно і джерелом живлення датчика [2].

## **ВИСНОВОК**

Відмінними рисами нового покоління приладів сонячної орієнтації можна назвати широке впровадження останніх досягнень мікроелектроніки та обчислювальної техніки: мікропроцесорів, інших інтегральних мікросхем у великій мірі інтеграції, багатоелементних приймачів – матриці і лінійки ПЗЗ; широке використання в приладах програмних методів обробки інформації.

Завдяки реалізації перерахованих технічних рішень і заходів прилади нового покоління в порівнянні з попередніми переважають в декілька разів кращими показниками за такими основними характеристиками як точність, маса, термін служби.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Владов М. Датчики солнечной ориентации для микроспутника / М. Владов, Д. Украинцев, Р. Недков // Eighth Scientific Conference with International Participation / Space, Ecology, Safety. – Болгария, 2012. – С. 231-238.
- [2] Котцов В.А. Солнечный датчик с интеллектуальными способностями / В.А. Котцов, В.Д. Глазков // Координатно-временные системы с

- использованием космических технологий / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва, 2006. – С. 114-119.
- [3] Pat. 4107521 USA, МПК G01 1/20, CCL 250/203 R. Solar sensor and tracker apparatus / Gordon Robert Winders. – App. No. 05/732,463; printed 15.08.1978.
- [4] Pat. 3985117 USA, МПК F24J 3/02, CCL 126/271. Solar sensor-heater / Leroy H. Sallen. – App. No. 05/536,551; printed 12.10.1976.
- [5] Pat. 4397304 USA, МПК F24J 3/02, CCL 126/443. Solar sensor equipped with solar energy absorbing member and panel having such sensors / Jacques Villain ; Assignee: Compagnie des Lampes, France. – App. No. 06/340,020; printed 09.08.1983.
- [6] Караваева Е.С. Управление ориентацией космического аппарата при помощи датчика Солнца целевого типа / Е.С. Караваева // Журнал «Электромеханические вопросы. ВНИИЭМ учеба». – 2012. – Том 126. – С. 37-42.
- [7] Аванесов Г.А. Оптический солнечный датчик. Особенности конструкции и испытательного оборудования / Г.А. Аванесов, Я.Л. Зиман, Е.В. Зарецкая, М.И. Куделин, А.В. Никитин, А.А. Форш // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов» / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва, 2009. – С. 78-89.
- [8] Ortega P. A miniaturized two axis sun sensor for attitude control of nano-satellites / Pablo Ortega, Gema López-Rodríguez, Jordi Ricart, Manuel Domínguez, Luis M. Castañer, José M. Quero, Cristina L. Tarrida, Juan García, Manuel Reina, Ana Gras, and Manuel Angulo // IEEE Sensors journal. – 2010. – Vol. 10, № 10. – P. 1623-1632.
- [9] Глазков В.Д. Фасеточные датчики солнечной ориентации / В.Д. Глазков, В.А. Котцов // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов» / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва, 2009. – С. 136-145.

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



**УДК 681.518.52**

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

## **ЕТАПИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ**

**Анотація.** Розглядається історія виникнення та розвитку систем дистанційного управління, принцип їх роботи, частково комплектація. Зроблені висновки на основі проведених досліджень.

**Ключові слова:** механізм, система, радіохвилі, дистанційне керування, радіомодуль, транзистор, електрокуумний прилад, мікросхема.

### **Вступ**

З споконвіків людство завжди прагнуло зробити своє життя кращим. Найрізноманітніші механізми і пристрої з нечуваною регулярністю створювалися і створюються по цей день аби прийти на зміну людині у найрізноманітніших сферах її життєдіяльності.

З кожним новим етапом розвитку технологій, різноманітні механізми та пристрої відігравали все більшу роль в житті суспільства. Кожний, навіть найпростіший пристрій або механізм, отримав індивідуальну і цікаву історію свого виникнення та розвитку. Один з них відомий абсолютно кожному, як дорослій людині, так і малечі, адже без результатів його діяльності не буде можливим уявити наше життя. Цим пристроєм є система дистанційного управління.

## **ЕТАПИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ**

Перші механізми, завдяки яким відбувся подальший розвиток, були створені ще в період життя Ніколи Тесла. У 1898 році, на виставці електротехніки Тесла презентував людям невеличке судно на радіоуправлінні [1]. Контроль над судном відбувався за рахунок радіохвиль. Так Тесла намагався створити торпедне озброєння з безпроводним управлінням для ВМС США. В результаті судно отримало назву "devil automata" (автоматичний диявол).

Особливий внесок був зроблений відомим вченим Майклом Фарадеєм. У 1821 році, досліджуючи властивості провідника з напрямленим рухом електронів у магнітному полі постійного магніту, він помітив, що провідник виконує обертальний рух [2]. Це явище стало основою для створення електродвигунів та механізмів управління. Поступово, вони майже повністю витіснили парові двигуни і набули особливої популярності завдяки своїм габаритним розмірам, які могли бути в десятки разів меншими, ніж у парових двигунів, потужності, екологічності та простоті використання. В будь-яких схемах дистанційного управління, двигун є лише елементною частиною одного складного приладу керування, яким здійснюється за допомогою радіохвиль.

Одна з перших систем дистанційного управління була створена американським винахідником Джоном Хейс Хеммондом-молодшим, відомим серед радіолюбителів як "батько радіоуправління". Займаючись дослідженням радіохвиль в науковій школі при Університеті Єля Хеммонда (місто Нью Хейвен, штат Коннентікут, США) співробітничав з багатьма відомими винахідниками, за підтримкою яких, створив власну торпеду на радіоуправлінні. Такий винахід

зацікавив військових. Використання таких систем управління у військовій сфері або ракетобудуванні дозволяє створювати нові, суттєво кращі зразки озброєння. Так у 1910 році, учений Чарльз Кеттерінг створив перший безпілотний літальний апарат з часовим механізмом [3]. Досягаючи своєї цілі, через деякий час, апарат перетворювався на бомбу. Схожі безпілотні апарати використовувалися в якості розвідників, або мішеней для навчання зенітників. Перші прості системи дистанційного управління працювали по принципу “ввім.-вимк.”. Схожий принцип спостерігається у телевізора, коли при натисканні однієї кнопки відбувається його увімкнення або вимкнення. Склалися такі системи з двох окремих електронних приладів: передавача та приймача. Передавач, при певних діях, відправляє у повітря радіосигнал з власною частотою, а приймач отримував їх і виконував відповідну дію. Звісно, такі системи мали обмежені рамки використання через їх невеликий функціонал. Поступово удосконалюючись, в них почали використовуватись блоки, які цілком склалися з сукупності з'єднаних між собою певним чином реле. Такі системи, могли використовуватись в якості регуляторів швидкості на двигунах.

До початку епохи напівпровідників, будувалися з використанням електровакуумних приладів. Принцип роботи був оснований на явищі термоелектронної емісії. Це явище описується як процес руху вільних електронів чи іонів між двома пластинами (електродами) у безповітряному просторі в результаті нагрівання однієї із пластин (катода) покритої барієм або торієм всередині скляної, герметичної колби. Модифікуючи лампи шляхом впровадження різноманітних сіток та інших елементів створювалися абсолютно нові та унікальні за своїми властивостями прилади, які потім стали основою всіх радіо електричних пристроїв: діода, пентода, тріода, магнетрона, клістрона та інших. Незважаючи на їхні великі розміри та надмірне енергоспоживання, людство продовжувало їх використання до моменту виникнення напівпровідникових приладів [4].

З настанням епохи напівпровідників у 1960 році, широке застосування знайшли транзистори. Це були прилади з кількома р-п переходами, які створювалися шляхом впровадження певних домішок у кремній або германій. Використовувалися в якості генераторів різноманітних електричних сигналів або підсилювачів, а завдяки своїм малим розмірам та дешевизні здобули велику популярність серед радіолюбителів. Так, в комерційних цілях, вперше почали створюватися і продаватися різноманітні набори для самостійної збірки системи радіоуправління.

Досліджуючи можливості напівпровідників, вчені зрозуміли, що процес виготовлення електричних плат можливо суттєво спростити, якщо об'єднати відразу кілька транзисторів в один суцільний корпус, а контакти управління вивести зовні корпусу у вигляді металевих пластинок. На основі цієї ідеї були створені перші мікросхеми. В залежності від кількості транзисторів, мікросхеми діляться на: малі (від 1 до 10 одиниць), середні (від 10 до 500 одиниць), великі (від 500 до 20000 одиниць), надвеликі (від 20000 до 1000000), “ультравеликі”(від 1000000 і більше одиниць). Функціонал таких мікросхем є настільки великим,

що на їх основі можливо побудувати навіть однокристальний мікрокомп'ютер. В радіоуправлінні, мікросхеми почали використовуватися для створення багатоканальної системи управління. Така система дозволила відправляти певні радіосигнали по необхідним каналам зв'язку, і в результаті модель мала можливість виконувати відразу кілька вказаних радіосигналами операцій. Різноманітні автомобілі або судна можуть обмежуватися двома або трьома каналами, оскільки цього цілком достатньо для комфортного управління. У випадку використання систем дистанційного управління з більшою кількістю каналів, у користувача виникає можливість збільшити функціонал власної моделі.

На початку 2000 року, всі системи дистанційного управління почали будуватися по новому стандарті 2.4 ГГц [5]. До цього, як вже відомо, всі приймачі та передавачі працювали виключно на власних частотах. У випадку якщо дві системи працюватимуть на однакових частотах, радіосигнали двох передавачів можуть надходити в різні приймачі. Причиною цього є відсутність допоміжних каналів, по яких радіосигнал міг надходити саме в свій приймач.

У випадку використання стандарту 2.4 ГГц, використовується широкий спектр каналів для передачі радіосигналів. Це дає можливість працювати відразу кільком системам дистанційного управління не створюючи шуми, оскільки сигнали між ними передаються по різним каналам. В залежності від модулів, використаних в системі, можливе налаштування швидкості передачі даних між ними або потужності.

## **ВИСНОВОК**

Перші системи дистанційного управління почали використовувалися у військовій промисловості. В період Першої світової війни застосовувалися в торпедах та безпілотних літаках. В епоху напівпровідників з виникненням мікросхем використовувалися в 7-10 дюймових телевизорах, різноманітних приладах, моделюванні. Сьогодні активно застосовуються в електротехніці та робототехніці: замки, аудіосистеми, роботи, сигналізації та інше.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Patent US613809, 26,371. Tesla, N. July 1, [date applied for under Sec. 103 of Patents &c. Act, A.D. 1883]
- [2] Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Том 2 / Пер. с англ. А.В. Яковлевой под ред. Т.П. Кравца. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 538 с.
- [3] Laurence R. Newcome. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. — 172 p.
- [4] Батушев В. А. Электронные приборы: учебник для вузов. — 2-е, перераб. и доп. — М., 1980. — С. 9-10.
- [5] Закон України «Про зв'язок»: (офіц. текст: за станом на 13 січня 2000 р.) / Верховна Рада України. — К. : Відомості Верховної Ради України, 1995. — №20. — С. 143

- [6] Patent US613809, 26,371. Tesla, N. July 1, [date applied for under Sec. 103 of Patents &c. Act, A.D. 1883]
- [7] Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Том 2 / Пер. с англ. А.В. Яковлевой под ред. Т.П. Кравца.— М.: Изд-во АН СССР, 1951.— 538 с.
- [8] Laurence R. Newcome. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. — 172 p.
- [9] Батушев В. А. Электронные приборы: учебник для вузов. — 2-е, перераб. и доп. — М., 1980. — С. 9-10.
- [10] Закон України «Про зв'язок»: (офіц. текст: за станом на 13 січня 2000 р.) / Верховна Рада України. — К. : Відомості Верховної Ради України, 1995. — №20. — С. 143

УДК 550.341

О.М. Палій, студент гр. ПГ - 81мп, к.т.н., доц. Мироненко П. С.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМІЧНИХ РЕГІСТРАТОРІВ

**Анотація.** В роботі представлено комплекс автономного мобільного обладнання для перевірки функціонування, інженерного дослідження та вібраційного тестування різних типів сейсмоприймачів, а також мікромеханічних інерціальних датчиків і модулів, які використовуються в системах керування рухомими об'єктами. Пристрій може бути використаний в польових умовах для калібрування сейсмічного тракту приладів, як з вертикальною так і з горизонтальною осями чутливості, при відсутності мережевого живлення в місці установки датчиків. Проаналізовані особливості конструкції та напрямки подальшого розвитку.

**Ключові слова:** сейсмоприймачі, датчики, контроль, точність, перевірка, електромеханічний вібростенд

### ВСТУП

В багатьох сучасних системах не зменшується ( а подекуди і збільшується) інтерес до використання сейсмоприймачів та інших високочутливих вібровимірювальних перетворювачів. Вони використовуються при побудові охоронних систем на територіях великих периметрів, для моніторингу сейсмічної активності, для захисту нафтогазових комунікацій. Також сейсмоприймачі знайшли своє використання в системах діагностики і моніторингу технічного стану конструкцій, споруд, будівель і мостів [2],[3].

В сучасних системах вібраційних випробувань таких датчиків використовують як різні методики, так і різні пристрої ( універсальні , спеціальні). Як правило, часто змінюються при цьому і умови проведення досліджень (стаціонарні, польові). Використання універсальних високоточних стендів, які часто мають надлишкові для таких випробувань характеристики, в багатьох випадках недоцільно. В той же час спеціалізоване обладнання, спроектоване для виконання конкретних досліджень, для конкретних умов експлуатації, як правило, більш зручне, ніж універсальне, і економічно більш вигідніше.

Вибір кінематичної схеми стенда, проектування і дослідження характеристик його електромеханічної системи здійснювався на основі аналізу режимів роботи інерціальних датчиків та огляду існуючих засобів оцінки їх динамічних характеристик [4],[5].

На відміну від [1], в якій описано стенд, що функціонує в режимі згасаючих коливань, даний пристрій функціонує в режимі вимушених коливань.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пристрій контролю характеристик інерціальних вимірювачів (рис.1) представляє собою універсальний автономний переносний стенд, кінематична схема якого розроблена на основі пружно - деформованих елементів. Вібростенд відноситься до техніки випробувань об'єктів при дії як одновісної, так і при двовісній поступальній вібрації.

Для сталого управління стендом область робочих частот приводу системи збудження коливань обрана менше резонансної частоти підвісу робочого столу.

Система підвісу є симетричною конструкцією, зібрану на чотирьох плоских пружинах ( рис.1). Пружини утворюють рухливий пружний контур, який має істотно різні жорсткості у двох взаємно перпендикулярних напрямках, і який кріпиться спеціальними кріпильними елементами одними кінцями до зовнішньої

нерухомої основи (1), а іншими - до рухомої платформа (2). Змінюючи конфігурацію системи кріплення, можна змінювати власну частоту коливань рухомої платформи.

Збудження коливань робочого столу здійснюється двигуном з автономним живленням і регульованим числом обертів (частотою вібрації). Перетворення обертального руху в поступальний здійснюється за допомогою кулісного механізму (5).

За допомогою зміни положення стенду в просторі, можна проводити випробування і калібрування датчиків як з вертикальною так і з горизонтальною осями чутливості.

Основним типом датчиків, для контролю яких призначений стенд, - індукційні сейсмоприймачі інерційного типу, вихідний сигнал яких, пропорційний швидкості коливань його корпусу.

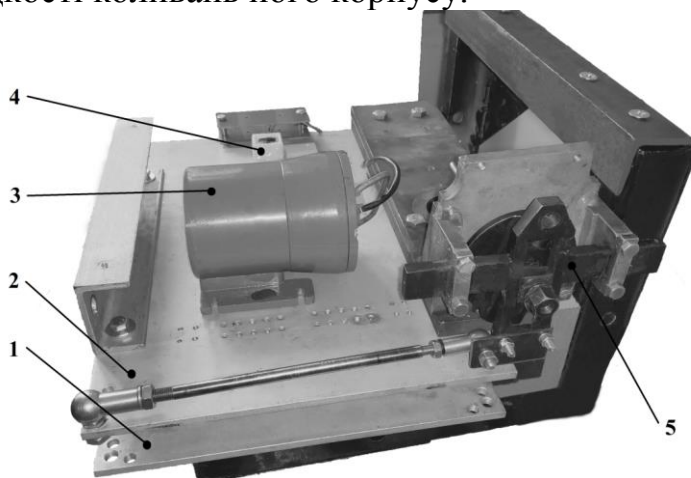


Рисунок 1. Загальний вид багатофункціонального автономного пристрою для дослідження інерціальних датчиків: 1 – нерухома основа; 2 – рухома платформа; 3 – досліджуваний сейсмоприймач, 4 – інформаційно – вимірювальний модуль; 5 – кулісний механізм

Інформаційно – вимірювальний модуль 3, рис.1, побудовано на основі блоку GY – 521 на базі мікросхеми MPU 6050 та Arduino Nano ATmega 328 P (old). В склад мікросхеми входять тривісні акселерометр і гіроскоп, що дозволяє визначати параметри руху стола стенду по трьом координатам.

Розробка алгоритмів програмно – апаратної реалізації вимірювального модуля реалізована в пакеті Matlab. Алгоритми забезпечують збір, візуалізацію і первинний аналіз отриманих даних та їх збереження на комп'ютері в файлі, що може бути адаптований у відповідному вимогам замовника шаблоні. В звіті про випробування можуть вноситись значення вимірювальних параметрів, умови випробування, таблиці та графіки.

На рис.2 наведені результати експериментального дослідження параметрів електромеханічної системи стенду: а – запис сигналу - відгуку сейсмодатчика ОСП – 2М при дії одновісної горизонтальної вібрації; б – той же сигнал після фільтрації; в – сигнал з акселерометрів інформаційно – вимірювального модуля при двовісній лінійній вібрації.

## ВИСНОВКИ

В роботі представлена конструкція електромеханічного вібростенду, який

можна використовувати у польових умовах для перевірки функціонування,

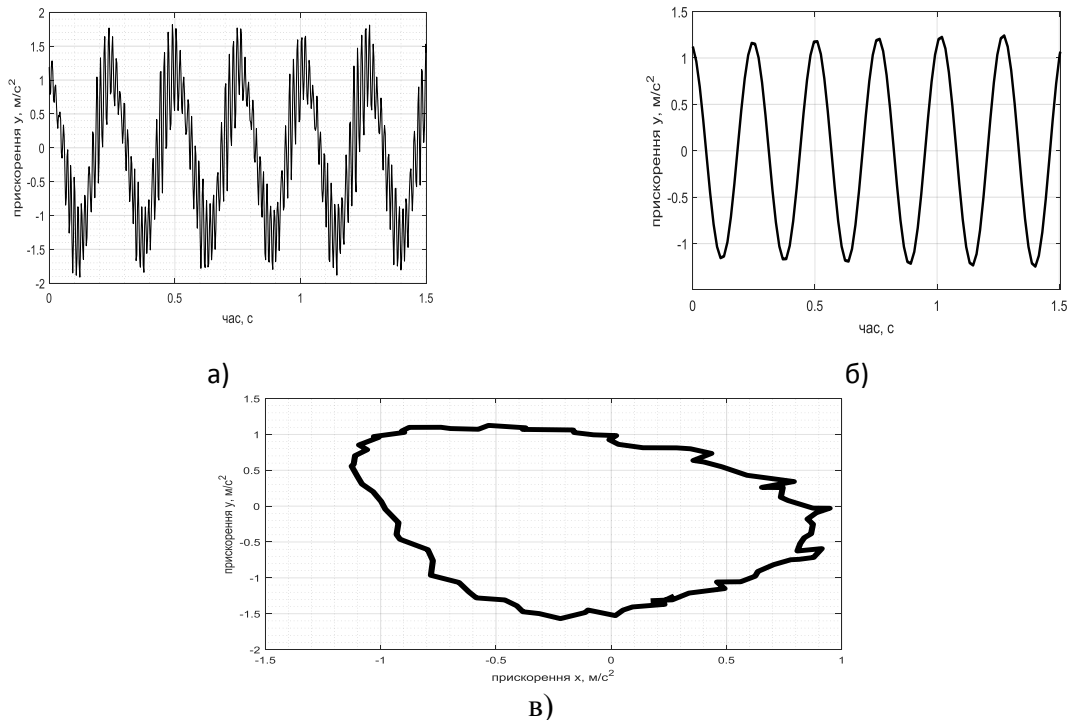


Рисунок 2. Сейсмограми ( а,б ) та осцилограма в) вихідних сигналів

інженерного дослідження та вібраційного тестування інерціальних чутливих елементів : сейсмоприймачів, акселерометрів та інерціальних модулів масою до 5 кг в частотному діапазоні до 10 Гц. Пристрій є універсальним засобом перевірки вимірювальних приладів, незалежно від напрямку осі чутливості вимірювачів, та задовольняє основним вимогам проведення подібних досліджень. Розробка подібного спеціалізованого обладнання є актуальною задачею. Такі пристрої можуть бути використані, у тому числі, і для комерційних проектів, наприклад, при необхідності дослідження сейсмостійкості сучасних будівель.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Мироненко П.С. Стенд для перевірки працездатності низькочастотних інерційних модулів / П.С.Мироненко, О.М.Павловський // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2018. – вип.56(2) – С. 5 – 9.
- [2] Грязин Д.Г. Метрологическое обеспечение испытаний микромеханических датчиков и модулей /Д.Г. Грязин, О.О.Величко, А.Б. Чекмарьев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – вып. 7 – С. 67 - 77.
- [3] Щербина С.В. Устройство для калибровки и метрологической поверки цифровых сейсмических регистраторов / С.В. Щербина // Географический журнал .- 2014. – №2. Т.36. – С.161 – 171.
- [4] Ивлев Л.Е. Особенности поверки сейсмоприемников /Л.Е. Ивлев, Т.Н.Коновалова // Датчики и системы .- 2012. - №2.- С. 44 – 51.
- [5] Тріщ Р.М. Аналіз вимог до калібрування засобів вимірювальної техніки на національному і міжнародному рівнях / Р.М.Тріщ, М.В. Москаленко, О.Є. Малецька // Метрологія та прилади.- 2011.- № 5. - С. 56-60.

УДК 531.383

*Ю.О. Пархоменко, студент гр. ПГ-51*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ДИНАМІЧНІ ВЛАСТІВОСТІ МАГНІТНОГО ПІДВІСУ**

**Анотація.** В представленій роботі розглянуто основні принципи побудови магнітних підвісів, які використовуються в системах орієнтації та навігації. Проведено аналіз попередніх досліджень з обраної тематики, які присвячені аналізу динаміки магнітних підвісів та синтезу систем керування, призначених для забезпечення необхідних показників якості. Обрано математичну модель магнітного підвісу та проведено аналіз умов стійкості. Проведено моделювання обраної системи керування та обрано параметри системи, при яких підвищується якість перехідного процесу в системі. В подальшому пропонується розглянути можливості використання інших законів керування магнітним підвісом.

**Ключові слова:** магнітний підвіс, система керування, стійкість.

### **ВСТУП**

Перші магнітні підвіси почали застосовувати наприкінці 70-х років. Вони засновані на використанні сили взаємодії постійних магнітів, але зі зростанням вимог перед нами постає проблема в поліпшенні якості опорних вузлів. На сьогоднішній день відомо безліч різних опор і підвісів, які в тій чи іншій мірі задовольняють технічні вимоги. Найбільш повне рішення проблем досягається в електромагнітних підвісах.

На даний момент магнітні підвіси застосовуються у цілому ряді пристроїв: витратомірів, в прецизійних стабілізаторах електричного струму, лічильниках електроенергії, вакуумних насосах, для підвіски ротора, ультрацентрифугах та інших приладах. Тому дуже важливим є правильний вибір параметрів при створенні магнітних підвісів.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Переглядаючи попередні роботи можна з впевненістю сказати, що було досягнуто чималого успіху у вирішенні проблем з втратою електричної енергії в магнітному підвісі, вибір матеріалів та самого магніту, а також проведено безліч досліджень, в яких проводилась оптимізація керування магнітного підвісу. В одній із робіт [1] було розглянуто як питання розробки простішого магнітного підвісу та досягнення мінімальних втрат електричної енергії в магнітному підвісі. В наступній роботі [2] розглядається оптимізація керування магнітним підвісом в датчиках. В даній роботі розглядалась математична модель керування періодом напруги живлення для зміни робочого зазору в магнітному підвісі. Для оптимізації керування руху магнітно-підвішеного елемента використовувався метод аналітичного конструювання регуляторів. Також досліджувалась пондеромоторна взаємодія двох постійних магнітів циліндричної форми. Розглянуто механіку взаємодії цих двох магнітів з осьовою намагніченістю. Було проведено та записано результати декількох експериментів [3]. В роботі [4] було проведено синтез системи стабілізації магнітного підвісу з урахуванням обмеженої керуючої напруги на електромагніті за критерієм якості регулювання нестійкої частини системи, що дозволяє отримати максимальну область тяжіння у фазовому просторі. Розглянуто особливості реалізації синтезованої системи і експериментально досліджується її динаміка.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Опис системи стабілізації магнітного підвісу без регулятора, лінеаризованого в області стану рівноваги задається диференціальними рівняннями [4].

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z}, \quad m \frac{d\dot{z}}{dt} = az - bI, \quad T_e \frac{dI}{dt} = -I + \frac{u}{R_e} \quad (1)$$

де  $z$  – переміщення,  $\dot{z}$  – швидкість переміщення вивішеного тіла по осі стабілізації,  $I$  – струм електромагніту,  $u$  – керуюча напруга на електромагніті,  $m$  – маса вивішеного тіла,  $a$  – крутизна силових характеристик підвісу по переміщенню тіла,  $b$  – крутизна силових характеристик підвісу по струму електромагніту,  $T_e$  – постійна часу електромагніту,  $R_e$  – активний опір електромагніту.

Розглянемо поведінку магнітного підвісу без системи керування. Рівняння руху підвішеного тіла мають вигляд:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 \delta}{dt^2} - a\delta(t) &= bI, \\ -b \frac{d\delta}{dt} + L \frac{dI}{dt} + RI &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидно, що коефіцієнти характеристичного рівняння будуть мати різні знаки, тому система буде нестійкою

Якщо додати систему керування, рівняння набувають вигляду:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 \delta}{dt^2} - a\delta(t) &= bI, \quad -b \frac{d\delta}{dt} + L \frac{dI}{dt} + RI = 0 \\ u &= \alpha(\delta + \tau \frac{d\delta}{dt}) - rI \end{aligned} \quad (3)$$

В операторній формі:

$$\begin{aligned} (mp^2 - a)z(p) + bI(p), \quad -\alpha(1 + \tau p)z(p) + (T_e p + 1)z(p) \\ (mp^2 - a)(T_e p + 1) + \alpha b(1 + \tau p)mT_e p^3 + mp^2 - T_e a p - a + b\alpha + b\alpha\tau p = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Характеристичне рівняння:

$$mT_e p^3 + mp^2 - T_e a p - a + b\alpha + b\alpha\tau p = 0 \quad (5)$$

Отже, щоб система магнітного підвісу була стійкою, необхідне виконання наступних умов:

$$\begin{aligned} b\alpha &> a \\ b\alpha &> T_e a \\ m(b\alpha\tau - T_e a) &> mT_e (b\alpha - a) \end{aligned} \quad (6)$$

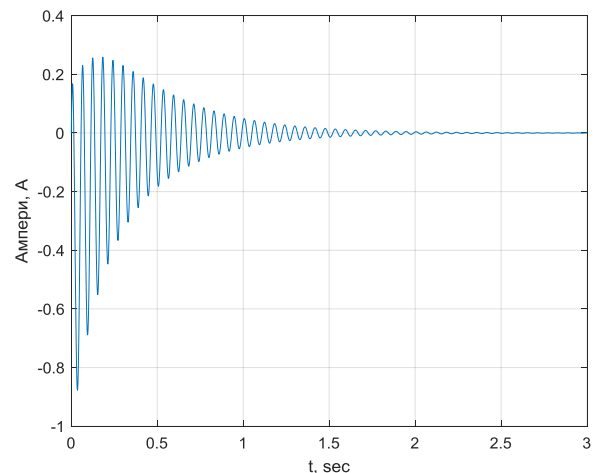
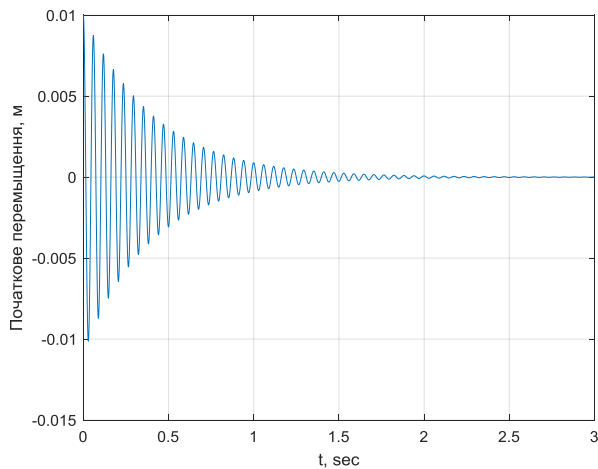
При значеннях параметрів системи керування магнітного підвісу заданих в табл. 1 вона буде стійкою.

Для моделювання роботи системи керування магнітного підвісу, була розроблена програма, яка відповідала рівнянням (1), в середовищі MATLAB. Параметри приладу обрані на основі вже відомого магнітного підвісу [4], значення представлені в табл.1.

Таблиця 1. Параметри магнітного підвісу

Крутизна силових характеристик підвісу по переміщенню тіла	$a = 18 \times 10^3 \text{ Н/м}$
Крутизна силових характеристик підвісу по струму електромагніту	$b = 21 \text{ Н/А}$
Маса вивішеного тіла	$m = 1.5 \text{ кг}$
Постійна часу електромагніту	$T_e = 6 \times 10^{-3} \text{ с}$
Активний опір електромагніту	$R_e = 10 \text{ Ом}$
Активний опір датчика струму	$r = 2 \text{ Ом}$
Оптимальна постійна часу датчика швидкості вивішеного тіла	$\tau = 9 \times 10^{-3} \text{ с}$
Оптимальна чутливість датчика вивішеного тіла	$\alpha = 4.3 \times 10^3 \text{ В/м}$
Індуктивність	$L = 0.1 \text{ Гн}$

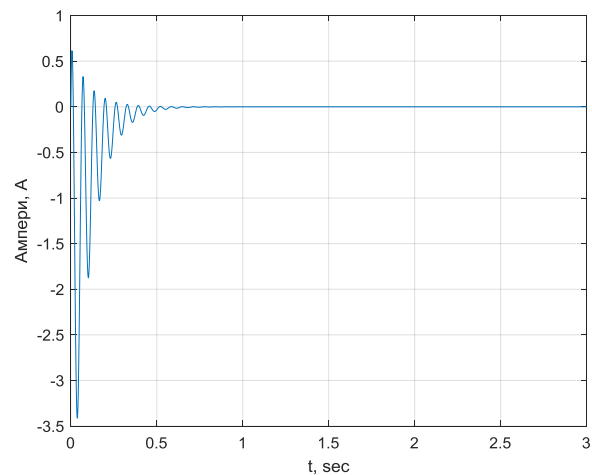
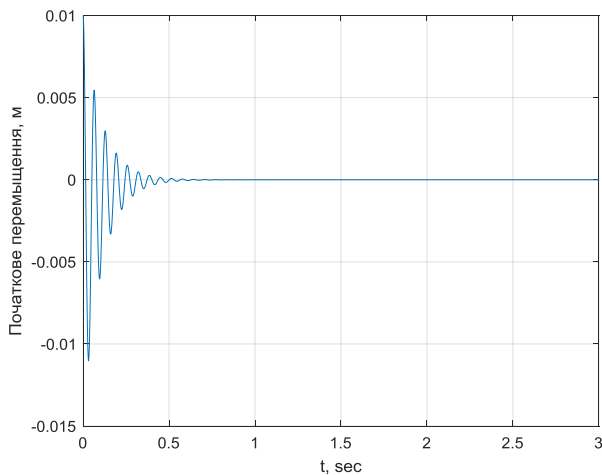
На рис. 1,2 представлено результати моделювання динаміки магнітного підвісу при  $R=10, L=0.1$ (Рисунок 1) та при  $R=5, L=0.05$  (Рисунок 2)



а) Переміщення якоря магнітного підвісу

б) Струм через котушку підвісу

Рисунок 1. Графіки переміщення та струму при початкових значеннях параметрів



а) Переміщення якоря магнітного підвісу

б) Струм через котушку підвісу

Рисунок 2. Графіки переміщення та струму після зміни параметрів індуктивності та активного опору

З результатів моделювання можна зробити висновок про те, що при зміні параметрів активного струму та індуктивності частота власних коливань (рис.2) зменшилась і час перехідного процесу зменшився утричі.

## ВИСНОВКИ

В представленій роботі наведено результати моделювання динаміки магнітного підвісу, який може використовуватись в чутливих елементах гіроскопічних приладів. Показано, що при використанні системи керування магнітний підвіс стає з нестійкого в стійкий. На основі результатів моделювання обрано параметри котушки магнітного підвісу, які покращують якість перехідного процесу. В подальшому, дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових законів керування, які можуть забезпечити менше перерегулювання в системі керування магнітного підвісу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Воронков В. С. Экономичный простейший магнитный подвес / В.С.Воронков, С. А. Малкин. // Журнал технической физики. – 2011. – №11. – С. 135–139.
- [2] Сапожников Г. А. Оптимизация управления магнитным подвесом в датчиках / Г. А. Сапожников, С. В. Богословский. // Научное приборостроение. – 2001. – №3. – С. 76–86.
- [3] Веселитский И. В. Пондеромоторное взаимодействие двух постоянных магнитов цилиндрической формы / И. В. Веселитский, В. С. Воронков, С. А. Сигунов. // Журнал технической физики. – 1996. – №5. – С. 152–161.
- [4] Воронков В. С. Синтез системы стабилизации магнитного подвеса и экспериментальное исследование ее динамики / В. С. Воронков. // Изв. вузов. Приборостроение. – 1984. – №8. – С. 32–37.

*Науковий керівник: ст.викладач Мураховський С.А.*

УДК 004.67

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

## **ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ РОБОТИ ФУНКЦІЙ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРАХ STM32F303VCT6, ATMEGA328P**

**Анотація.** Сучасні вимірюючі модулі безплатформної інерціальної навігаційної системи в найпростішому випадку складаються з гіроскопів та акселерометрів. Для отримання параметрів про положення об'єкта у просторі вихідні дані вимірюючого модуля інтегрують. Обчислювальним ядром цієї операції виступає мікроконтролер. Але окрім інтегрування мікроконтролер може обраховувати алгоритми керування, передачі даних тощо. Тому для правильного вибору обчислювального ядра необхідно точно оцінити скільки часу витрачається на кожну операцію окремо. У роботі досліджується час роботи функцій чисельного інтегрування із використанням мікроконтролерів, що використовуються для досліджень та у навчальному процесі на кафедрі ПСОН КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Ключові слова:** мікроконтролер, інтегрування, STM32F303VCT6, ATmega328P, безплатформна інерціальна навігаційна система, БІНС.

### **ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Для отримання інформації про положення об'єкта у просторі з вимірюючого модуля безплатформної інерціальної навігаційної системи (БІНС), котрий в найпростішому випадку складається з акселерометра та гіроскопа, необхідно проінтегрувати вихідні дані модуля, в результаті чого отримуються наступні параметри: кути курсу, крена й тангажа, інформація про швидкість та пройдений шлях об'єкта. Тому чисельне інтегрування – невід'ємна операція в програмній частині БІНС [1,2].

Мікроконтролери використовуються в БІНС у якості обчислювального модуля, оскільки дозволяють виконувати складні обчислення в реальному часі. Проте, окрім інтегрування, система у яку входить мікроконтролер, може виконувати функції керування, фільтрації [3], бездротої передачі даних, зйомки місцевості тощо – все це потребує значних обчислювальних потужностей, яких в залежності від складності системи, може не вистачити. Рішенням цієї проблеми може бути заміна мікроконтролера на більш потужний, що призводить до ускладнення системи та збільшення її вартості, або спрощення алгоритму (методу) обробки даних, що вносить додаткові похибки в обчислення. Тому для правильного вибору обчислювального ядра необхідно знати скільки часу мікроконтролер витрачає на кожну операцію окремо. Так як операція інтегрування є однією із обов'язкових операцій при роботі БІНС, і також тому, що на її виконання відводиться багато обчислювальної потужності, то, метою даної роботи є дослідження швидкодії мікроконтролерів STM32F303VCT6 [4] і ATmega328P [5] при виконанні операції чисельного інтегрування класичними методами.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Як було сказано вище, вимірюючий модуль БІНС складається з акселерометрів і гіроскопів і в загальному випадку представлений на рис.1.

Для отримання значення про швидкість об'єкта необхідно проінтегрувати вихідну величину уявного прискорення  $\vec{a}$ , для отримання даних про

переміщення, процедуру інтегрування слід повторити. Відповідно, для отримання даних про кутове положення об'єкта, процедуру інтегрування слід використати і для даних з гіроскопів.

Для дослідження швидкодії інтегрування, були обрані мікроконтролери STM32F303VCT6 і ATmega328P, оскільки вони використовуються в навчальному процесі, а також для проведення наукових досліджень на кафедрі ПСОН.

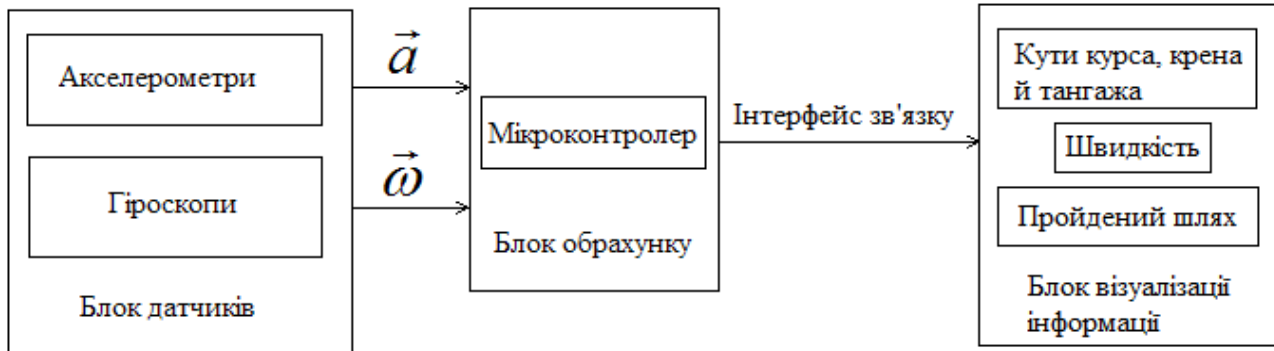


Рисунок 1. Вимірюючий модуль безплатформної інерціальної навігаційної системи в загальному випадку

STM32F303VCT6 – 32 бітний мікроконтролер сімейства ARM CortexM4 [6], має максимальну тактову частоту 72 МГц, 256 Кб ПЗП, 48 Кб ОЗП і відноситься до бюджетних рішень. ATmega328P – має максимальну тактову частоту 16 МГц, 32 Кб ПЗП, 2 Кб ОЗП, розрядність 8 біт.

Для дослідження, мовою C були реалізовані алгоритми інтегрування методами Рунге-Кутта 4 порядку, правих, лівих та середніх прямокутників та метод трапецій.

На швидкодію обчислень програмної частини БІНС впливає, безпосередньо, тактова частота, архітектура та розрядність мікропроцесора. Процес виміру швидкості реалізований за допомогою стандартних рішень для обох мікроконтролерів і для STM32F303VCT6 відбувався з використанням відладочного модуля Data Watchpoint and Trace Unit (DWT) [7], який в процесі виконання програми рахує такти мікропроцесора. Для ATmega328P була використана стандартна функція millis(), яка повертає кількість мілісекунд з моменту початку виконання програми. На рис.2 та рис.3 відображені лістинги вимірюючої частини програми для STM32F303VCT6 та ATmega328P відповідно.

```
CoreDebug -> DEMCR |= CoreDebug_DEMCR_TRCENA_Msk; //дозволення трасировки
DWT -> CTRL |= DWT_CTRL_CYCCNTENA_Msk; //вмикаємо лічильник тактів
DWT -> CYCCNT = 0; //обнуляємо лічильник

start_time = DWT -> CYCCNT; //початок рахунку тактів

//вимірювана функція

end_time = DWT -> CYCCNT - start_time; //знаходження різниці тактів
sec = end_time / 72000000.0f; //переводимо такти в секунди
```

Рисунок 2. Лістинг вимірюючої частини програми для STM32F303VCT6

Усі дослідження проводилися з наступними параметрами інтегрування:  
Функція правих частин вигляду (1).

$$\dot{y} = 3 \sin(2 \cdot y) + x;$$

```
//досліджувана функція
time = millis(); //отримуємо кількість мілісекунд з початку виконання програми
delay(1000); // чекаємо секунду
```

Рисунок 3. Лістинг вимірюючої частини програми для ATmega328P

Початкові умови:  $x = 0$ ;  $y = 3$ ;

Інтервал: [0;1]

Крок інтегрування: 0,001

Результати досліджень приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати дослідження швидкості виконання функцій чисельного інтегрування на мікроконтролерах STM32F303VCT6 і ATmega328P

Мікроконтролер	Швидкодія	Методи				
		Лівих прямокутників	Правих прямокутників	Середніх прямокутників	Метод трапецій	Рунге- Кутта 4 порядку
		Час інтегрування, с				
STM32F303VCT6	90 DMIPS	0,03	0,03	0,03	0,07	0,19
ATmega328P	20 DMIPS	1,1	1,1	1,1	1,2	1,64

Відповідно до отриманих даних, був зроблений висновок, що зі збільшенням складності методу значно збільшується навантаження на мікроконтролер, а отже обчислювальних потужностей може не вистачити на усі інші апаратні складові БІНС.

Окрім цього, значний час інтегрування на ATmega328P робить цей мікроконтролер непридатним для систем, де критична швидкодія. Проте його можна використовувати в якості допоміжного обчислювального модуля для нескладних операцій [8] (ввід/вивід, передача даних тощо).

## ВИСНОВОК

У статті проведені дослідження швидкодії мікроконтролерів STM32F303VCT6 та ATmega328P при виконанні операції чисельного інтегрування методами лівих, правих та середніх прямокутників, методом трапецій та Рунге-Кутта 4 порядку. В результаті дослідження отримані результати, що показали не придатність мікроконтролера ATmega328P для роботи у якості обчислювального і одночасно керуючого ядра, проте такий МК може використовуватись у якості допоміжного. При збільшенні складності методу інтегрування, спостерігається значне зростання навантаження на обчислювальний модуль, що у свою чергу може заважати виконувати додаткові функції (керування, фільтрація, обмін даними т.д.).

Отримані результати досліджень показують, що при побудові БІНС на базі одного мікроконтролера у якості як обчислювального так і керуючого ядра, необхідно використовувати сучасні швидкодіючі мікропроцесорні ядра, і дають можливість приблизно оцінити необхідні обчислювальні потужності в

залежності від складності системи, і таким чином, правильно обрати мікроконтролер.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Розробка і дослідження комплексного алгоритму інерціальної системи оцінки параметрів руху людини / С. Л. Лакоза, В. В. Мелешко // Технологический аудит и резервы производства. - 2016. - № 1(2). - С. 56-68. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv\\_2016\\_1%282%29\\_\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1%282%29__11)
- [2] Побудова курсоверткалі з розділенням каналів корекції. Частина 1: теоретичні основи розділення каналів корекції / С. Л. Лакоза, В. В. Мелешко // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Сер. : Приладобудування. - 2013. - Вип. 46. - С. 5-13. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_prylad\\_2013\\_46\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_prylad_2013_46_3)
- [3] Цифровая фильтрация в системе контроля вибрации авиационных двигателей/ Н.И. Бурау, А.М. Павловский // Вісник інженерної академії України. – 2012. – №3-4. – С. 18-23.
- [4] STM32F303xB STM32F303xC. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303vc.pdf>, вільний.
- [5] АТМega328. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>, вільний.
- [6] Начинаем изучать Cortex-M на примере STM32 . [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/216843/> - 24.03.2014
- [7] Cortex-M4.Revision r0p0.Technical Reference Manual.[Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0439b/DDI0439B\\_cortex\\_m4\\_r0p0\\_trm.pdf](http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0439b/DDI0439B_cortex_m4_r0p0_trm.pdf), вільний.
- [8] Повышение точности инерциального измерительного модуля на MEMS-датчиках / А. В. Кузнецов, А. М. Павловский // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. - 2015. - Вип. 50. - С. 5-11. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_prylad\\_2015\\_50\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_prylad_2015_50_3)



## УДК 631.451

Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-61, асистент Сапегін О.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### КУТОМІР НА ОСНОВІ АКСЕЛЕРОМЕТРУ ADXL-335

**Анотація.** В даній статі розглядається створення кутоміра на основі мікромеханічного акселерометру та плати Arduino у програмному середовищі Matlab.

**Ключові слова:** кутомір, мікромеханічний акселерометр, Arduino, Matlab.

#### ВСТУП

Arduino це відкрита електронна платформа, що базується на легкому для сприйняття апаратному та програмному забезпеченні. Плати Arduino здатні сприймати різні види вхідних впливів (натискання кнопки, струм з датчика, тощо), та переводити їх у вихідні впливи (вмикання електродвигуна, запалювання світлодіода). Керувати платою можна надсилаючи набори інструкцій до вбудованого мікроконтролера. Одним із способів програмувати плати Arduino є Matlab Support Package for Arduino Hardware. Він дозволяє взаємодіяти з платами Arduino у середовищі Matlab.

Для підключення плати Arduino до Matlab існує функція `arduino()`, яка автоматично визначає COM порт ЕВМ, до якого підключена плата та її тип. Загальний синтаксис звернення: `a=arduino()`. Якщо ж до ЕВМ підключена більше ніж одна плата, або необхідно обрати конкретний COM порт, то можна прописати процедуру вручну, використовуючи наступний синтаксис `a=arduino(port,boardname)`, де `a` – назва об'єкту Arduino, `arduino()` – назва функції для підключення, `port` – COM порт до якого підключена плата (може бути визначеним у вікні Диспетчера пристроїв, вкладка Порти (COM і LPT)), `boardname` – назва плати. Після цих дій плата готова для подальшої роботи.

Для прикладу роботи програмного середовища Matlab з платами Arduino, побудуємо кутомір на основі аналогового акселерометра ADXL335. Схема підключення акселерометра до плати представлена на рис. 1.

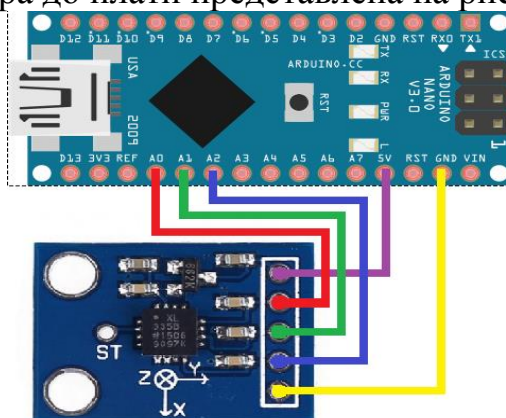


Рисунок 1. Схема підключення акселерометра ADXL335 до плати Arduino Nano

На схемі позначено лінією фіолетового кольору провід живлення, жовтою лінією – заземлення, червоною – вихідний сигнал акселерометра по осі x, що прямує до аналогового порту A0, зеленою – вихідний сигнал акселерометра по осі y, прямує до аналогового порту A1, синьою – вихідний сигнал акселерометра по осі z, прямує до аналогового порту A2. В даному випадку підключення до



комп'ютеру здійснюється за допомогою кабелю micro-USB – USB.

### КАЛІБРУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Для побудови приладу спочатку необхідно провести калібрування акселерометра. Калібрування відбувається за допомогою ОДГ (оптично ділильна головка) методом тестових поворотів [1]. Акселерометр встановлено на ОДГ у спеціальній оснастці, як показано на рис. 2.

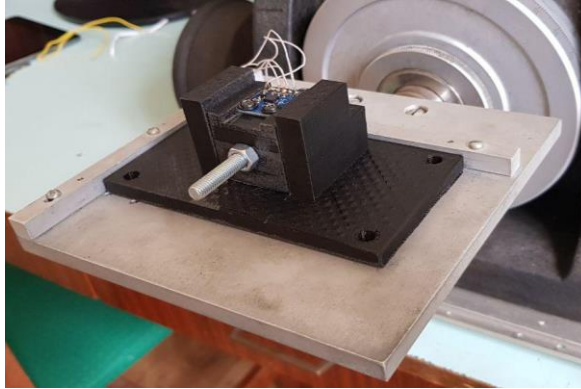


Рисунок 2. Акселерометр на ОДГ

При калібруванні використовуються 4 положення, що обертаються навколо осі  $x$  та 4 положення навколо осі  $y$  з яких визначаються вихідні напруги по осям  $x$ ,  $y$  та  $z$ , які надалі записуються у Matlab. За допомогою значень вихідної напруги розраховано масштабні коефіцієнти та нульові сигнали акселерометра по формулам (1)

$$\begin{aligned}
 k_{11} &= (U_{ax8} - U_{ax6}) / 2g; & k_{12} &= (U_{ax2} - U_{ax4}) / 2g; \\
 k_{13} &= (U_{ax1} - U_{ax3} + U_{ax5} - U_{ax7}) / 4g; \\
 k_{21} &= (U_{ay8} - U_{ay6}) / 2g; & k_{22} &= (U_{ay2} - U_{ay4}) / 2g; \\
 k_{23} &= (U_{ay1} - U_{ay3} + U_{ay5} - U_{ay7}) / 4g; & & (1) \\
 k_{31} &= (U_{az8} - U_{az6}) / 2g; & k_{32} &= (U_{az2} - U_{az4}) / 2g; \\
 k_{33} &= (U_{az1} - U_{az3} + U_{az5} - U_{az7}) / 4g;
 \end{aligned}$$

$$U_{ax0} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 U_{axi}; \quad U_{ay0} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 U_{ayi}; \quad U_{az0} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 U_{azi}.$$

Підставивши в рівняння (1) осереднені значення напруги за відповідних положень ОДГ при калібруванні отримаємо наступні матриці (2)

$$K = \begin{bmatrix} 0,0339 & 0,0018 & 0,0059 \\ -0,002 & 0,0353 & 0,0015 \\ -0,0003 & -0,0011 & 0,0362 \end{bmatrix}; \quad U_{a0} = \begin{bmatrix} 1,7401 \\ 1,7377 \\ 1,7743 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

### АЛГОРИТМ КУТОМІРА

Оскільки акселерометр вимірює проекцію уявного прискорення на свою вісь чутливості, за його допомогою можна визначити кут нахилу платформи

відносно площини горизонту. Для цього встановимо акселерометр на ОДГ, як показано на рис.3. При цьому вектор  $\mathbf{g}$  прискорення сили вільного падіння направлено вертикально вниз. Напрямок вісі чутливості  $z$  співпадає з  $\mathbf{g}$ , а вісь  $y$  перпендикулярна йому. Тоді кут між віссю чутливості  $y$  і вектором  $\mathbf{g}$  можна визначити як

$$\varphi = \arctg \left( \frac{-(g_y / \mathbf{g})}{\sqrt{1 - (g_y / \mathbf{g})^2}} \right), \quad (3)$$

де  $g_y$  – сигнал акселерометра по вісі  $y$ ,  $\mathbf{g} = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Повернемо платформу ОДГ з акселерометром на кут від  $0^\circ$  до  $90^\circ$  з кроком у  $10^\circ$  навколо осі  $x$  так, яка показано на рис.3. При цьому значення вимірюваних прискорень запишемо у окремий файл.

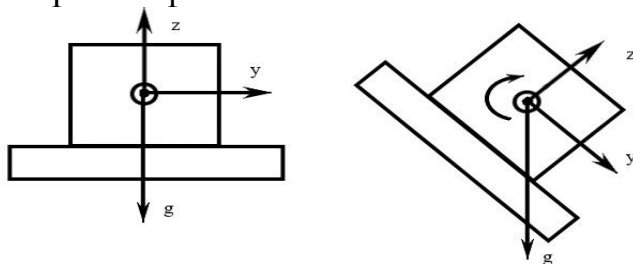


Рисунок 3. Поворот ОДГ

Отримані експериментальні значення відкалібровані за (1) та представлені на рис. 4 а). Результати розрахунку кута нахилу ОДГ за формулою (3) наведені на рис.4 б).

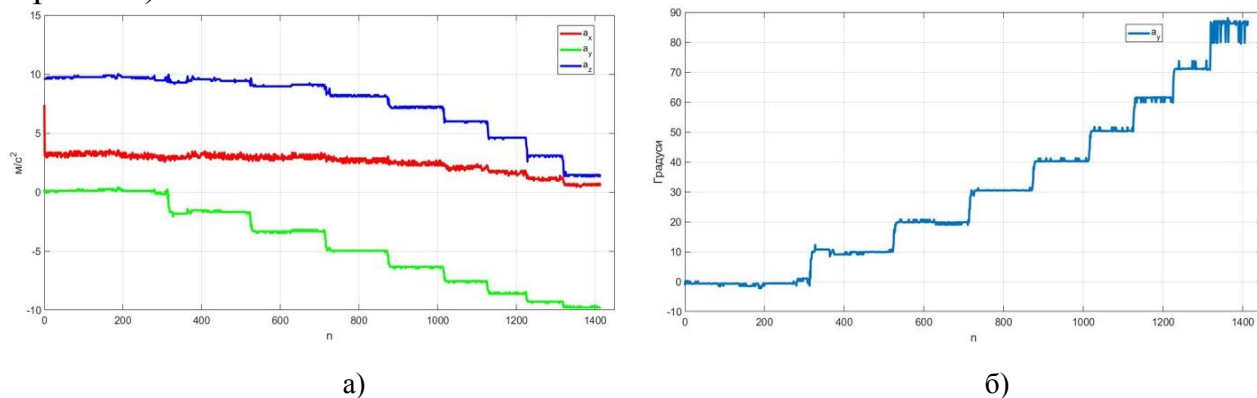


Рисунок 4. Результати досліджень

### ВИСНОВОК

З рис. 4 б) видно, що прилад працює адекватно і кутове положення платформи ОДГ, на якій було встановлено акселерометр, визначено з необхідною точністю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мелешко В.В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы : [Учебное пособие] / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко. –Кировоград: Полимед-Сервис, 2011. – 172с.

*Наук. Керівник – асистент Сапегін О.М.*

**Секція 2.**  
**ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ**  
**ПРИБУДОБУВАННЯ І СИСТЕМИ**

УДК 629.05

V.A. Antonenko, Professor V.M. Borovytsky  
 NTUU “Igor Sikorsky KPI”

### CLASSIFICATION OF KNOWN BIOLOGICALLY-INSPIRED VISION SYSTEMS

**Annotation.** Considered all existing facet-similar vision systems. All the advantages and disadvantages of such systems are presented and described. The proposed model of biologically-inspired system is given.

**Key words:** Facet eye, vision system, navigation, prototypes, UAV.

### INTRODUCTION

Nowadays, almost every aerial and ground vehicles have various auxiliary systems that provide the definition of such parameters as orientation in space, velocity, tracking of further direction, obtaining obstacles, etc. GPS technology is one of them. The main disadvantage of this system is that the signal from transmitter in some cases cannot be received by device or it can contain low accuracy because of noises. Another example is an event camera that can be used for navigation and recognition with help of technic vision. However, this solution has low speed of computation in cases that requires fast decision-making. On this basis, there is a need to look on nature-based vision models that have interesting features. We decide to consider compound eyes of insects. It is known that flying arthropods with help of their facet-similar eyes can detect and further avoid obstacles with high reaction speed. In addition, a large field of view allows them to observe almost all around environment space. For the reasons given above, there is necessary to implement classification of all existing analogues.

To achieve a large field of view engineers creates monocentric, large-scale camera AWARE-2 that includes an array of cameras on hemispherical surface (Fig. 1) [1].

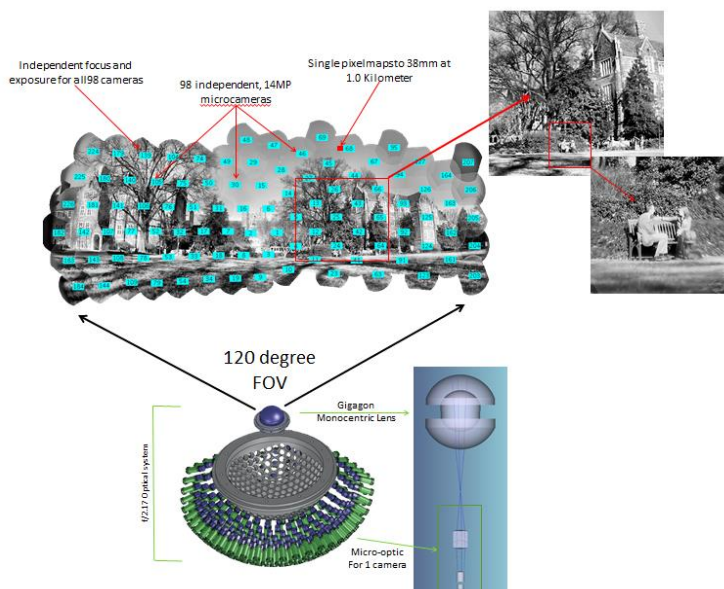


Figure 1. Monocentric camera AWARE-2

The spatial resolution of such camera is up to one gigapixel with viewing angle of 120° to 50°.

This system allows us to create an image in size of one gigapixel at a viewing angle of 120° to 50°. Main disadvantage is the transferring of large amount of information in real time via an electronic channel, further processing and recording [2].

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 solution of biologically-inspired vision system is the development of an artificial compound eye, called CurvACE (Fig. 2) [3, 4]. The angle of view of such a prototype is 180° to 60°.

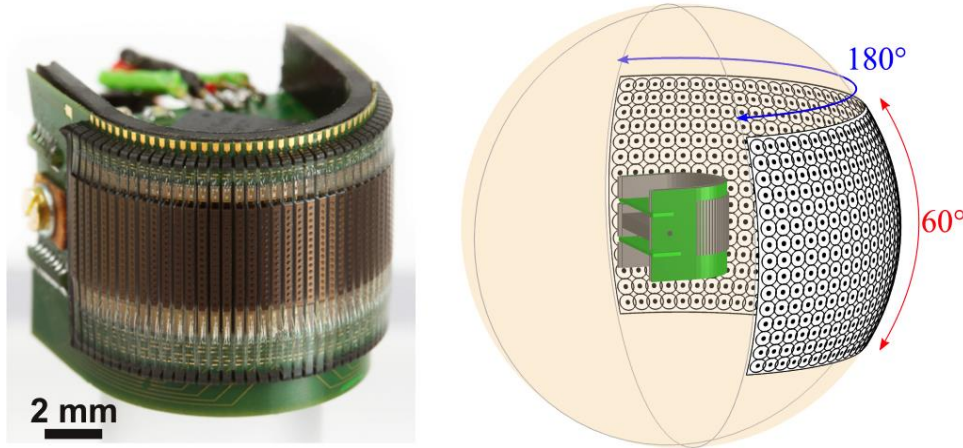


Figure 2. Artificial compound eye CurvACE

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

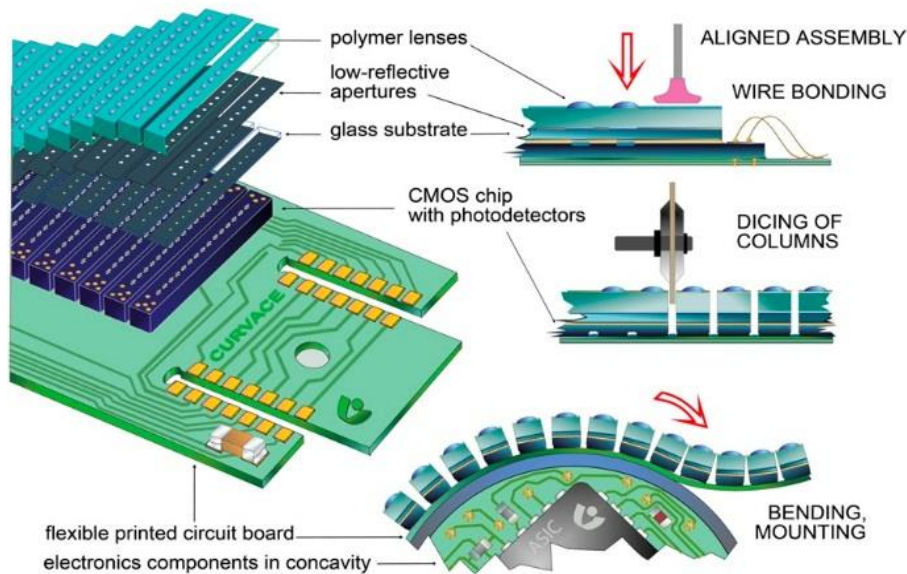


Figure 3. Design of artificial eye CurvACE

The first layer contain array of polymeric microlenses molded on a glass carrier, which focus light onto second layer that includes silicon-based photodetectors array. Last layer is a flexible electromechanical board that transmits output signals to processor units. The use of a single microprocessor in such a solution may not be sufficient since a high speed of signal processing from each photodetector is required.

The third example most similar to structure of arthropod eye (Fig. 4) [5]. It contains a two main subsystems. The first one is an array of molded convex microlenses with radius of curvature  $r \approx 400 \mu\text{m}$ . The second subsystem enables



photodetection and electrical readout. It consist an array of thin silicon radiation sensors and blocking diodes. Each photosensor placed in focal position of corresponding lens.

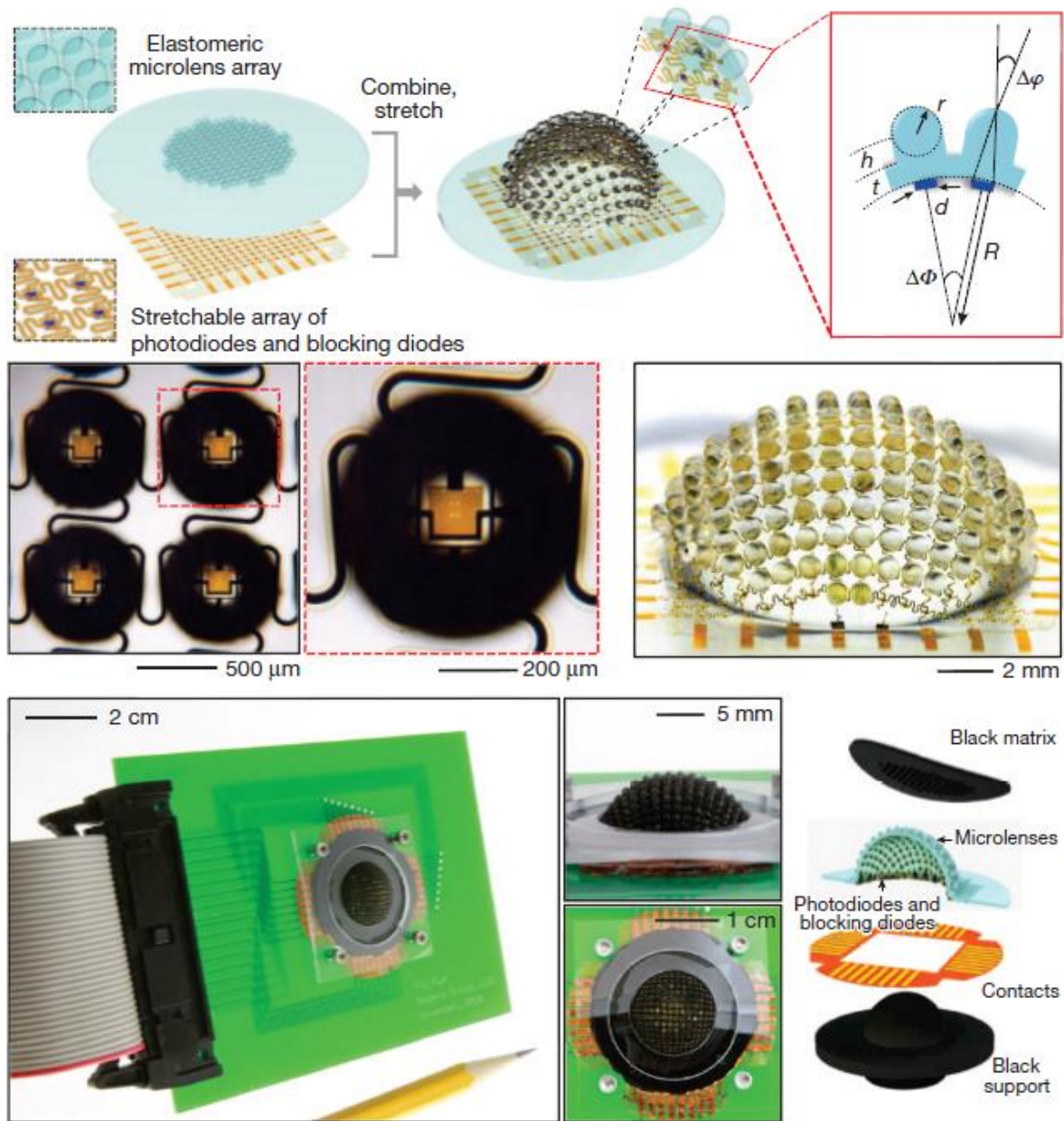


Figure 4. Biologically inspired vision systems based on digital cameras

By analogy to imaging organs in arthropod each microlens and supporting post corresponds to a corneal lens and crystalline cone, respectively. Each photodiode is a rhabdom. A collected set of each of these elements represent an ommatidium.

We propose the design of a biologically-inspired vision system that is contain a number of optical systems with a set of photodectors and parallel signal processing units (Fig. 5).

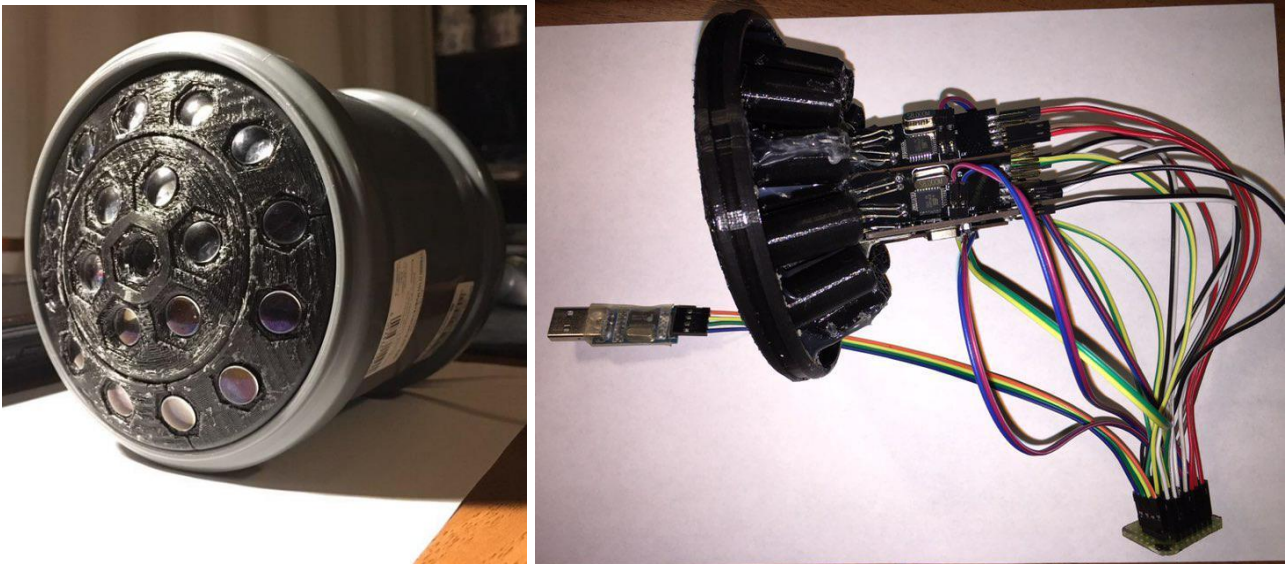


Figure 5. Prototype of biologically inspired vision system

## **CONCLUSIONS**

Summing up it is needed to say that using of facet-similar models is a great solution for creation of modern vision systems. Parallel preprocessing in such devices can improve efficiency of entire system that is allow to reduce amount of collision and accidents. It is very important in vehicle or UAVs control.

## **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] Antonenko V. Features and cost comparison of biologically inspired vision systems V. Antonenko, V. Borovytsky / Conference Works // NTUU “Igor Sikorsky KPI”. – 2018. – 49 P.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Young Min Song Digital cameras with designs inspired by the arthropod eye Young Min Song, Yizhu Xie, Viktor Malyarchuk // Nature. – 2013. – Vol. 497. – 99 P.

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

**UDC 681.785***Ivan Antoniuk, student of group PO-82mp*

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

**USING OF SPECTRAL IMAGING IN FOOD QUALITY INSPECTION**

**Abstract.** This article discusses the use of spectral imaging to effectively evaluate the quality of food and for efficient sorting. The author analyzes use of hyperspectral images for studying the external and internal properties of food products.

**Key words:** quality of food, wavelength, spectral imaging, electromagnetic spectrum.

**INTRODUCTION**

At present, the quality assessment and further sorting of food on production is usually done manually or automatically after external quality parameters. Nevertheless, nowadays parameters that are not visible to the naked eye are equally or even more important. Most of the instrumental methods for measuring these properties are destructive and include a significant amount of manual and laboratory work. The advantage of working with spectral imaging is that the preparation of the test samples takes less time and requires no mechanical intervention.

**PRINCIPLE OF THE HYPERSPECTRAL CAMERA WORK AND STRUCTURE OF HYPERSPECTRAL IMAGES**

Hyperspectral camera is a device that combines the functionality of spectrometer and digital camera. The process of obtaining an image is a scan, in which, per unit time, information is obtained in two dimensions, one spatial and one spectral. One more spatial dimension forming and adding to the image during scanning process which can be realized in certain ways: moving platform, rotation platform or camera placement on plane, drone or satellite. The accuracy of obtaining spectral information is provided by a liquid crystal tunable filter, which is used to transmit the selected wavelength of light and exclude others. For each image pixel, the hyper-spectral camera captures the intensity of the radiation for a large number (typically from several tens to several hundred) of adjacent spectral bands. Each pixel in the image thus contains a continuous spectrum (in the radiation or reflection) and can be used to characterize the objects in the scene with great accuracy and detail.

Hyperspectral camera provides more accuracy in spectral data compared to digital camera, which acquire information in red, green and blue channels that corresponds to human eye sensitivity. Hence, hyperspectral camera gives opportunity to operate with objects considering their spectral portrait.

Another approach in spectral imaging techniques is multispectral imaging. Multispectral camera basically created by adding spectral filters to usual RGB or monochromatic camera. In such systems for changing of filters commonly uses rotation wheel and output of camera is certain number of lossless quality images and text file with information about camera setup. Usually number of filters is less than 10. Each image contains information about certain wavelength, so for obtaining full spectrum picture should be done reconstruction and interpolation. In that case, specific spectral information which stored in gap between filters wavelengths will be lost.



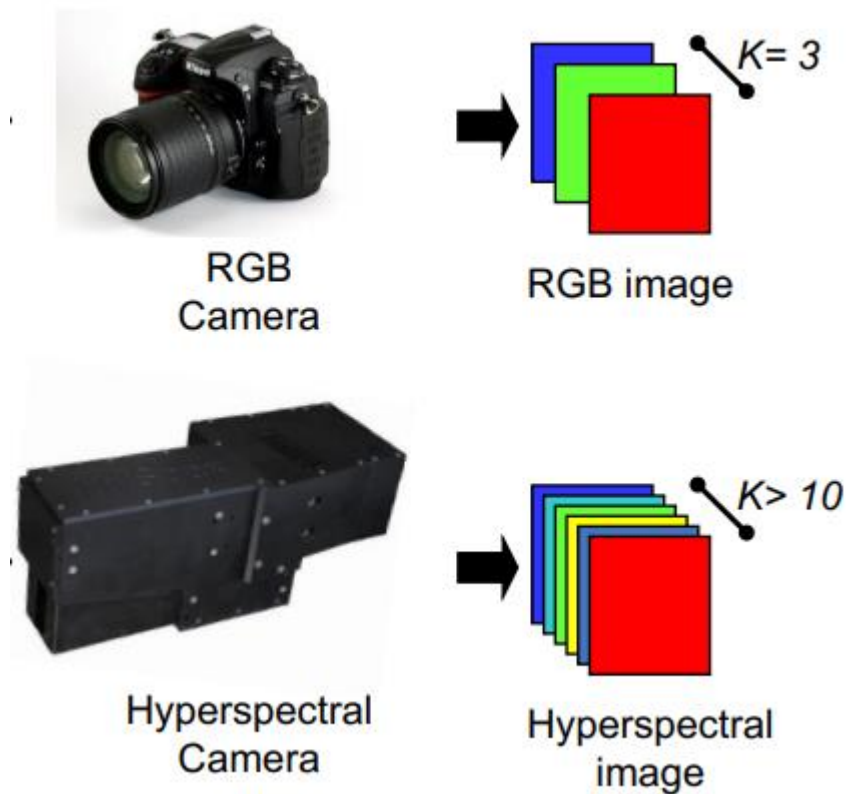


Figure 1. Difference between digital RGB and Hyperspectral images

Consequently, hyperspectral visualization provides more possibilities for classifying objects based on their spectral properties or unique spectral imprints.

### **HYPERSPECTRAL IMAGES POSTPROCESSING**

Biggest disadvantage of hyperspectral camera usage is huge amount of recorded data for one image. For reduce data size and consequently processing time should be done optimization to the lowest possible level without losing important information. Instead of using whole amount data should be selected optimal number of wavelengths. For solving that problem could be used simple spectral averaging in small bands from 5-10 nanometers. In that case important information that stored in certain bands could be lost. Nowadays several techniques have been created, for example analysis of the spectral curves and correlation coefficients [1], principal component analysis (PCA) [2].

### **APPLICABLE USE FOR QUALITY ASSESSMENT OF FOOD**

At present, it is known about the successful application of spectral imaging methods to predict the presence of chemical compounds in various food products, such as to assess the quality of corn silage [3], evaluation of the quality characteristics of the longissimus muscle of beef carcasses [4], and to predict various quality parameters of wheat [5]. Surface analysis was done for evaluation of strawberry ripeness [6].

### **SUMMARY**

Hyperspectral imaging techniques combine usual two-dimensional digital images with spectrometry to detect even minor and subtle spectral features with extremely high spatial resolution.

Spectral information obtained through a hyperspectral camera can be very useful in identifying many properties, including diversity and maturity of defects, stiffness, disease, pollution, and other important indicators of quality and safety. As mentioned before, the main disadvantage and barrier for the processing of hyperspectral images, which in the future will be used to quickly assess the quality of food in real time, is their need for time and resources to handle a huge cube of three-dimensional data.

## REFERENCES

- [1] Keskin M, Dodd RB, Han YJ and Khalilian A. Assessing nitrogen content of golf course turfgrass clippings using spectral reflectance. *Applied Engineering in Agriculture* 2004: 20(6): 851–860
- [2] Mehl PM, Chen Y-R, Kim MS and Chan DE. Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations. *Journal of Food Engineering* 2004: 61(1): 67–81
- [3] Lovett DK, Deaville ER, Givens DI, Finlay M and Owen E. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict biological parameters of maize silage: effects of particle comminution, oven drying temperature and the presence of residual moisture. *Animal Feed Science and Technology* 2005: 120: 323–332.
- [4] Shackelford SD, Wheeler TL and Koohmaraie M. Development of optimal protocol for visible and near-infrared reflectance spectroscopic evaluation of meat quality. *Meat Science* 2004: 68: 371–381.
- [5] Dowell FE, Maghirang EB, Xie F, Lookhart GL, Pierce RO, Seabourn BW, Bean SR, Wilson JD and Chung OK. Predicting wheat quality characteristics and functionality using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry* 2006: 83(5):529–536.
- [6] ElMasry G, Wang N and Ngadi MO. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering* (In press)

*Supervisor – Senior Lecturer Igor Kravchenko*

УДК 004.932.2

*Avdieionok I., student; Borovytsky V., professor, DrSc*  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## COMPACT INSTRUMENT FOR MTF MEASUREMENTS

**Abstract.** The article describes the techniques for measurements of the modulation transfer function of an optical systems and the proposed compact instrument for this measurements.

**Keywords:** modulation transfer function, optical systems, slanted edge technique, test object.

### INTRODUCTION

The modulation transfer function (MTF) is an important characteristics of optical systems and imaging systems including digital cameras. The paper discussed the techniques for MTF measurements including the proposed one.

### MAIN PART

There are several principal approaches to MTF measurements. The first technique is based on spatial harmonics generations and measurements of the contrast in their images. In this method, the operator directly measures the upholstery. The object of the study consists of multi bar test objects that have one spatial frequency. Different mechanisms have been developed that allow changing the source frequency when the contrast of the image is constantly measured. As an example, as an object, a rotating radial grid with slotted hole is used as an object. The point aperture is placed in a back focal plane of an optical system (OS) and the optical radiation passing through it is measured.

For scanning systems, the principles of the theory of linear systems are used. The image of a point source will be blurred. Frequency response correlates with the quality of the blur. The quality of the blur similarly indicates the frequency response of the lens.

The line spread functions usually created by scanning the edges of a slit image. Computer algorithms can quickly obtain the MTF data for the finite aperture size [1].

MTF can also be measured using an interferometer. There are two ways: autocorrelation of the pupil's function under the control of the lens or the analysis of the point spread function, calculated using the Fourier transform in the wavy front of the pupil. This is very convenient for systems that are suitable for testing in an interferometer and do not exhibit significant chromatic aberrations, and errors in the wave front are not significantly different from those of the wavelengths of interest. With scanning methods, video or discrete frequency, the wavelength range can be adjusted using broadband sources and spectral filters for full polychromatic testing. Interferometers rely on monochromatic sources (i.e. lasers), so MTF is only available at these wavelengths [1]. In addition, since phase measurement interferometers have limited possibilities for wave front sampling, the wave front should be well corrected. Objects with excessive errors in the wave front are difficult to measure with interferometers. Full polychromatic testing of a wide variety of OSs is possible through MTF testing methods such as marginal scanning, video, and discrete frequency targets [2].

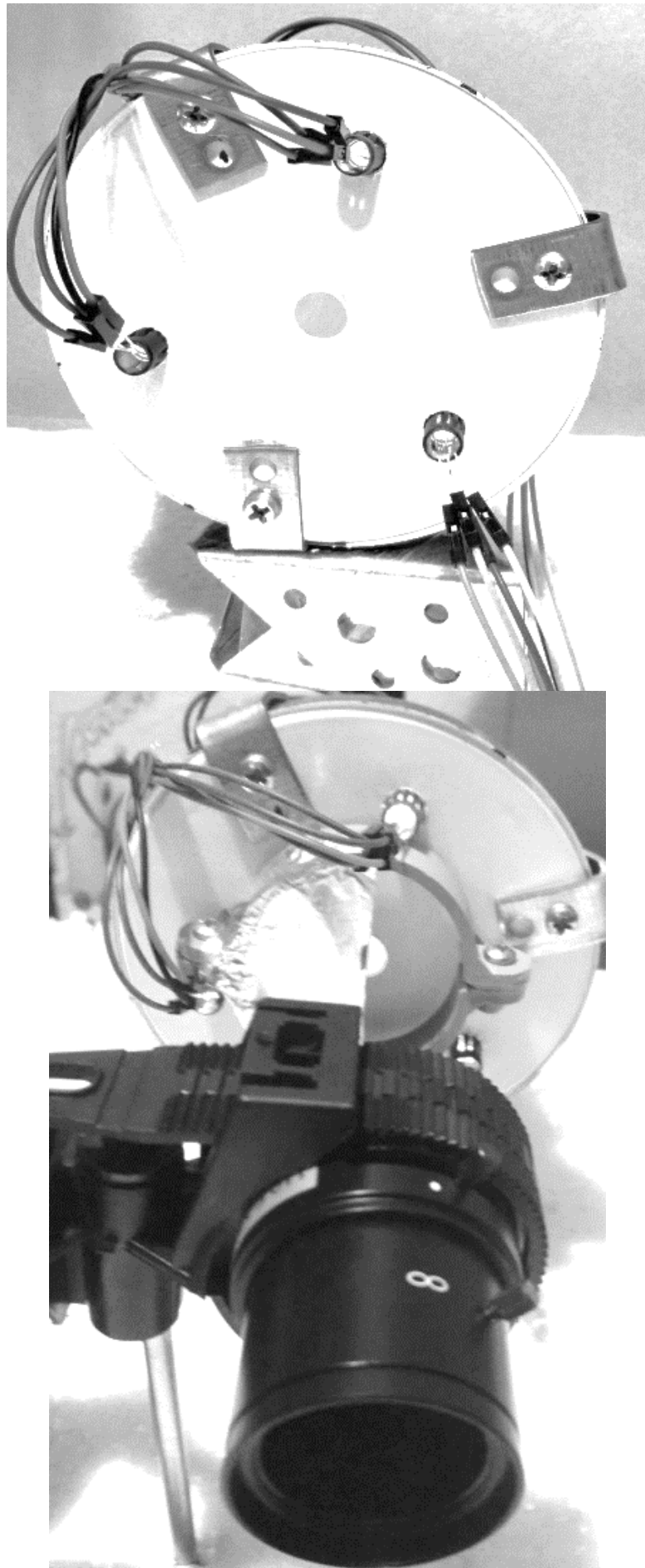


Fig.1 – The compact instrument for MTF measurements and its components.

The slanted edge techniques are based on the numerical analysis of the digital image of the inclined half-plane. This half of the plane has a relatively small periodic structure of a focal plane array (FPA). The vertically oriented edge (along the FPA columns) allows you to calculate the MTF horizontally, and the vertically oriented edge is used to identify the vertical MTF.

The main advantage of landscape techniques is that only one image is required to measure MTS. For example, using a multicolored or sinusoidal test picture, at least one image capture and processing process for each spatial frequency or division of the image parts in the field of view is required. In the case of Foucault's technique, the number of input images depends on the desired spatial sampling. In addition, after each shift of the test picture, it is necessary to repeat the focusing procedure. It is important that the optical settings for the MTF measurements using the tilted edge, the multi-color or stochastic test pattern are the same: illumination system that produces uniform irradiation, a block with a set of test objects (usually at the motorized stage of rotation), a long focal length collimator and a digital camera that is being tested or measured.

There are designed, assembled and tested the compact instruments for MTF measurements based on the slanted edge technique. It contains uniform light source based on integrated semi-sphere, half-plane that serves as a test object, a collimator that focuses on the half-plane to infinity.

## **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\*\* supraero – integrated image sensors laboratory, 10 avenue edouard belin, 31400 toulouse,france c.6
- [3] David p. Hafner, "mtf measurements, identifying bias, and estimating uncertainty," proc. Spie 10625, infrared imaging systems: design, analysis, modeling, and testing c.3

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Боровицький В.М.*

## УДК 656.052

*Averin D., student; Borovytsky V., professor, DrSc*  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### NAVIGTAION SYSTEMS

**Abstract.** The article is about history of navigation systems. The modern navigation methods are also discussed.

**Key words:** navigation, local navigation, global navigation, navigation methods.

### INTRODUCTION

Since ancient times, people had to be guided in the area. To do this, they used landmarks, guided by the sun, stars, definite natural and artificial high objects. Later maps, astrolabes, compasses appeared. [1]

For the first time, the need for orientation was exacerbated by sailors. For orientation, they used the stars, the sun, and, later, and the first navigation devices, such as the compass. One of the devices for orientation served, and still used beacons. [1].

### HISTORY

Lighthouse is a means of sea-going equipment in the form of a tower-type capital construction, designed to denote dangerous places, passageways for ships. This structure has a bright contrasting color, which visually allocates it against the background of the surrounding area. The beacons are equipped with a strong light source and are usually provided with optical means to amplify the light signal to be clearly visible at night. [2]

The lighthouse can also give the vessels a sound signal or transmit a radio signal to perform its function also under conditions of insufficient visibility (temporary, either during fog or constant - for example, caused by terrain conditions). [2]

The beacons were built from ancient times - the most famous beacon in history is one of the wonders of the world - the Alexandria Lighthouse, built in the 3rd century BC. e. And the Greeks and the Phoenicians by the fire of the fires mark dangerous passages. [2]

To ensure the high efficiency of the beacon, light concentrates. In the old lighthouses, the light:

- Concentrates and radiates in a horizontal plane;
- Horizontally concentrated light is emitted in several directions, the direction of the beam periodically changes, thus, on the one hand, the entire horizon is covered, on the other, due to concentration, the light is visible from a greater distance. [2]

The concentration of light is ensured by the assembly of rotating lenses. In very old lighthouses, light sources were kerosene lamps, the rotation of the lenses was carried out by a clock mechanism, driven by the lighthouse caretaker. A collection of lenses to reduce friction was immersed in mercury. In modern beacons with rotating mirrors, the clock mechanism is driven by an electric motor. [2]

Effective concentration of light for omnidirectional radiation requires heavy and thick lenses of a large size. Especially for lighthouses, Fresnel lenses are used, which, at given parameters, require significantly less materials in production than lenses manufactured using traditional technology. [2]

In modern automated beacons, the system of rotating lenses is replaced by a source of extremely bright light, which emits short omnidirectional flashes, that is, light concentrates in time, not in space. The principle of operation of these lighthouses is similar to aerodromes and parking lights on high structures. Instead of a permanent light source, the observer sees short bursts of repetition. [2]

Also, radio beacons and sound are often used. Especially with poor visibility and special features of the relief. [2]

Radio beacons gave an opportunity to determine the place of the ship in the sea with sufficient accuracy, regardless of the state of weather and visibility.

For the use of radio beacons on ships, special radio-detectors are set up, the description of which is given in the relevant technical and mass literature.

The main types of radio beacons are radio beacons of circular and directed radiation.

The principle of the radio beacon of circular radiation is reduced to the following. Electromagnetic energy emitted by the antenna of the beacon extends uniformly on all sides, which makes it possible to determine the bearings from the ship to the radio beacon with the help of a ship's radio-leak detector. Each radio beacon is assigned a certain call sign, which the navigator finds interested in his radio beacon and produces radio navigation.

Let's see what a situation has broken in aviation.

At the dawn of the aviation, there were no radar, so its location the aircraft crew determined independently and reported it to the dispatcher. The crew was oriented visually on settlements, lakes, rivers, hills and found its place on the map. A similar method required constant visual contact with the land, which was simply absent in bad weather, limiting flight possibilities. [3]

The first navigation means were the N-Directional Beacon (NDB) transmitting a recognition signal (that is, two or three letters of the Latin alphabet, transmitted by the Morse code) at a certain frequency in a circular directional diagram. Well, the receiver on the aircraft indicates the direction of such a radio beacon. To determine the exact location of at least 2 radio beacons (two azimuths from them), and the aircraft began to fly from the lighthouse to the lighthouse. So there were the first airships for flights by gear, including in the clouds and at night. True, the accuracy of the determination of the coordinates soon became insufficient. Then a high-frequency omni-directional radio range (VOR) was created by radio engineers. VOR passes its cognitive index to Morse code with three Latin letters. [3]

The need to know two azimuths to determine their position required too much radio beacons. To solve this problem, a so-called Distance Measurement Equipment (DME) equipment was developed, and it was possible to find out the distance from the DME with the aid of a special receiver on board. And if the VOR and DME devices are located at the same point, it's easy to calculate their location by azimuth and deleting from the VORDME system. [3]



Fig.1 - VOR compatible DME lighthouse

However, to place lighthouses everywhere, they need too much, and most often you need to more precisely define your position. So there were so-called "points" (fixes, intersections), which always had known azimuth from two or more radio beacons. That is, the aircraft could easily determine that it is at this point right above this point. Now the airways began to pass between radio beacons and dots. The appearance of VORDME systems allowed to stir points not only on average azimuths, but on radials and distance from VORDME objects. [3]

### **MODERN NAVIGATION SYSTEMS**

Modern navigation systems can be divided into two categories:

- global navigation system;
- local navigation system.

Global navigation systems are also divided into:

- Satellite systems;
- Non-satellite systems.

Satellite navigation systems are more widespread. In addition to the famous GPS, GNSS, NAVSTAR, GLONASS, GALILEO and others are also being scanned. Let's consider some of them.

GLONASS - Russian Global Navigation Satellite System was developed in the early 80's by specialists of the Soviet Aerospace Force. The number of satellites in orbit reaches 24 units. Of these, 21 satellites are provided by the system, while others are in a suspended state to replace active devices in case of their failure. [4]

The system is divided into three orbital plans, each of which consists of 8 satellites, which are united by the slot number: 1-8, 9-16, 17-24. The orbits of GLONASS satellites are 19100 km away from the Earth, and are slightly below GPS satellites. Circle around the Earth each of the n satellites takes about 11 hours. At least one satellite receiver must have at least one satellite at a time. The system's efficiency



ensures accuracy of the location of 55 meters horizontally and 70 meters vertically in the C / A standard. Unlike the American system, the exact signal is available only for military receivers. [4]

NAVSTAR GPS 1 is a satellite navigation system developed and maintained by the US Department of Defense to determine the current location and speed of the objects. [4]

For the most accurate determination of the coordinates of the object, "visibility" of the four satellites is required. The location is determined by measuring distances from satellites with known coordinates to the object, taking into account the time delay of signal propagation. [4]

Galileo - the satellite navigation system of the European Union and the European Space Agency, developed as an alternative to the US GPS system and Russian GLONASS. A project worth \$ 10 billion is named after the Italian astronomer Galileo Galilei. [4]

The system is designed to solve navigational tasks for any moving objects with an accuracy of less than one meter. In addition to the European Community, agreements on participation in the project and other states - China, Israel, South Korea and Ukraine - have been reached. In addition, negotiations are under way with representatives from Argentina, Australia, Brazil, Chile, India, Malaysia. [4]

The navigation system "Beidou" or the Satellite navigation system "Beidou" - the Chinese satellite navigation system. It is planned that the space segment of the navigation satellite system Beidou will consist of 5 satellites in the geostationary orbit, 3 satellites in the geosynchronous orbit (with a slope of 55 °) and 27 satellites in the medium Earth orbit (~ 21,500 km). [4]

The system was launched commercially on December 27, 2012 as a regional positioning system, with a satellite group of 16 satellites. It is planned that the system will be fully operational by 2020. [4]

## **REFERENCES**

- [1] Обзор истории развития навигации/MDA-Tech – Режим доступа: <https://mda-tech.ru/review-history-of-navigation/>
- [2] Маяк/Wikipedia– Режим доступа:<https://ru.wikipedia.org/wiki/Маяк>
- [3] Неспутниковые системы позиционирования и навигации/habr– Режим доступа:<https://m.habr.com/company/technoserv/blog/339756/>
- [4] Навигационная системы.История создания систем спутниковой навигации/Всё об автомобильной навигации и мультимедиа системах– Режим доступа:[http://car-navi.blogspot.com/2014/08/blog-post\\_29.html?m=1](http://car-navi.blogspot.com/2014/08/blog-post_29.html?m=1)

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Боровицький В.М.*

**UDC 681.5**

*V.A Bortnik, student gr. PO-81mp, prof. Borovytsky V.M.*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

**USING CORRELATION FILTERS TO SUPPORT THE UAV**

**Annotation.** In this paper is about performance evaluation of the tracking algorithms for UAVs - MOSSE and KCF from the library of computer vision OpenCV.

**Key words:** UAV, OpenCV, correlation filters, MOSSE, KCF.

**INTRODUCTION**

Tracking of objects is an important component of modern UAVs. Widely used in military operations to destroy targets from UAVs or to follow various objects. For tracking algorithms from drones the following requirements are presented:

- Low computational complexity
- Real-time work.
- High accuracy.

Low computational complexity dependent from lifting weight and energy consumption of drones. Because drones can't carry a heavy computer. Real-time and high accuracy need to correct control of UAV and to reduce the probability of loss of an object.

For object tracking tasks use various algorithms such as deep neural network, correlation filter, features matching and other. Neural network have a higher accuracy but for real-time work need powerful computer and for correct tracking need big training dataset, which include all possible object. Future matching algorithms is not very precise. But correlation based algorithms have a good precision and can be trained online, so no need collect a dataset.

**CONTRIBUTIONS**

The principle of work is find the correlation function between the input image and the known kernel (target object). The maximum point of the correlation function will be a new position of the object. One of the advantages of this group of methods is the high speed that is achieved by using the Fast Fourier Transform. As you know in the frequency domain, the correlation can be found as a simple element-wise multiplication[1]. This allows you to get the complexity of the calculations equal  $O(N \log N)$  [2].

Most correlation methods have a similar algorithm:

- Initial initialization.
- Definition of the location of the object.
- Update the kernel.

Initialization involves finding the nucleus in the Fourier region. In the initial frame, the object is manually selected. However, when initializing from one frame, the filter may often be unstable due to a change in position, rotation, or change in lighting, so often the original image of the object is subjected to a small affine transform and averaged them. Often, the frame is merged with the sinus window to reduce the noise and focus on the center of the object.

Further, the following image is obtained and in the vicinity of the past position of the object crop a frame. After that, calculate Fourier spectrum of getting frame and multiplied with the known kernel. Next calculate Inverse Fast Fourier Transform and the maximum value for the calculated image will point to the new position of the object. Different loss functions can be used to determine the probability of finding an object. For example, the Peak to Sidelobe Ratio (PSR) method is used in MOSSE [3]. In this method, determine the maximum intensity and the mean and standard deviation of the sidelobe, according to these data determine the PSR.

The kernel update is similar to initialization. In some algorithms, interpolations with past frames can be introduced to create the memory of the algorithm.

Also, in order to improve accuracy and reliability, some approaches can be used by Histogram of Oriented Gradients, features obtained by different methods, for example CNN.

## **RESULT**

To verify the work of the correlation methods was selected the open source library OpenCV for Python. The OpenCV is one of the most popular cross-platform libraries for computer vision, written on C ++. It has two built-in algorithms Kernelized Correlation Filter (KCF) [4] and Minimum Output Sum of Squared Error (MOSSE). These algorithms will be tested on two computers:

- Intel Pentium PC with 2.2 GHz CPU and 4 GB of RAM.
- Raspberry Pi 3 model B+.

For tests, a dataset was collected from several videos that included shooting from a drone:

- Motorcycle;
- Cars.



Picture 1. Frames from dataset.

Testing of algorithms has shown that both algorithms work well enough for objects that do not overlap and do not leave the frame. MOSSE has better cope with overlapping objects and objects that turn around. For both algorithms from scratch is difficult to restore the tracking after leaving the camera's field of view. MOSSE has the much better performance (table 1). For testing on Raspberry Pi was used a dataset with two resolution: 1280x720 and 720x360 and only 1280x720in PC.

Table 1. Performance of algorithms.

	<i>KFC</i>	<i>MOSSE</i>
FPS on notebook	20-25	160-166
FPS on Raspberry Pi 3 (720p)	4-5	45-47
FPS on Raspberry Pi 3 (360p)	7-8	69-71

## CONCLUSIONS

The studied correlation methods are a good solution for tracking from small UAVs. They provide good accuracy and high performance. These correlation methods will deal well with overlapping of other objects, deformations and turns. However, you need to fine-tune the moment with the restoration of tracking after the object leave the field of view of the camera.

## REFERENCE

- [1] Numerical Recipes in Cambridge / W.Press, B. Flannery, S. Teukolsky, W. Vetterling., 1998. – (Cambridge Univ. Press).
- [2] Kernel Cross-Correlator / C.Wang, L. Zhang, L. Xie, J. Yuan. // The Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2018. – С. 4179–4186.
- [3] Visual Object Tracking Using Adaptive Correlation Filters / D. S.Bolme, B. A. Draper, J. R. Beveridge, Y. M. Lui. // IEEE. – 2010. – С. 2544–2550.
- [4] Henriques J. High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters / J. Henriques, R. Caseiro, P. Martins. // IEEE. – 2015. – №37. – С. 583–596.

UDC 535.015

*O. Hudz, student of "ПО-71мн" group, prof. V. Borovytsky.*

Igor Sikorsky KPI

## THE ROLE OF COHERENCE IN IMAGE FORMATION

**Abstract.** The article presents the key stages of the history of the development of the wave theory of the formation of a diffraction grating image in a microscope system of coherent, non-coherent and partly coherent illumination.

**Key words:** experiment, primary image, spectrum, secondary image, Abbe theory, diffraction grating, microscopic objective, minimal resolvable distance.

### INTRODUCTION

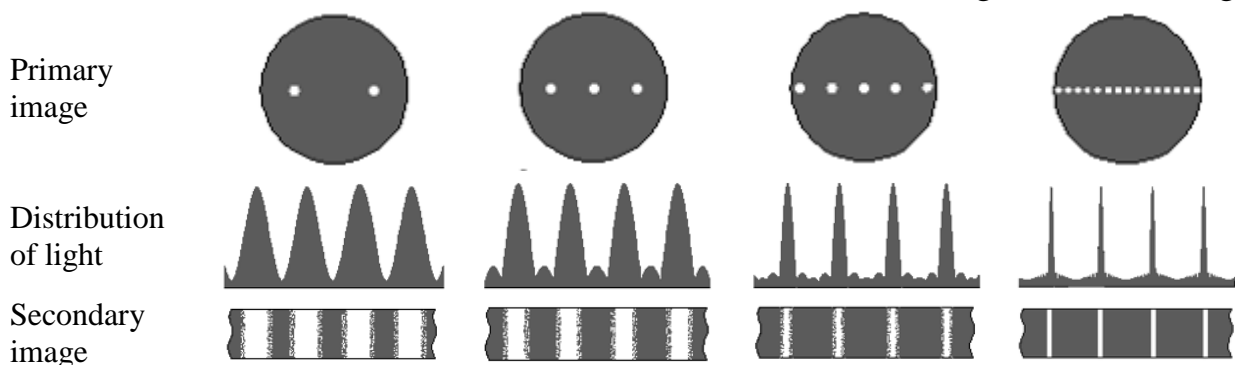
Ernst Abbe, Hermann Helmholtz, Albert Porter and others have widely studied the theory of image formation in an optical microscope under coherent light. After that many followers developed the theory for different cases and expanded it.

### COHERENT ILLUMINATION

Following Abbe's theory, the image of the object in a microscope is formed in two stages: the formation of its spatial spectrum in the back focal plane of the microscopic objective (the primary image), and then - an enlarged image of the object in the plane of the image (secondary image).

The diffraction pattern in the plane of the primary image is formed from a number of identical high-altitude maxima at the same distance from each other. One of them is corresponded to the zero diffraction angle and is in the place where the image of the source of illumination is formed without diffraction, taken as "zero maximum"; all other maxima are symmetrically relative to it.

Table 1. Image formation stages



As a result, of diffraction on the object, some deflected rays pass through the lens, the other part is cut off by an aperture. Thus, harmonics with very high spatial frequencies do not pass through a numerical aperture. As a result, the image of small objects can not be obtained. The minimal condition for the image formation is the presence in the plane of the primary image of at least two maxima (table 1.1).

It was also discovered that when installing in the plane of the primary image of a mask that passes only part of the spectrum, it may affect the secondary image. Abbe, for example, showed that when applying a one-dimensional grating spectrum to a mask that transmits only zero and paired maximums, the secondary image looks identical to

the case of a grating with a double frequency of strokes. And when overlaying on a spectrum of a two-dimensional lattice of a mask in the form of a slit it is possible to obtain a secondary image identical to one-dimensional grating, which was demonstrated by A. Porter (Fig. 1).

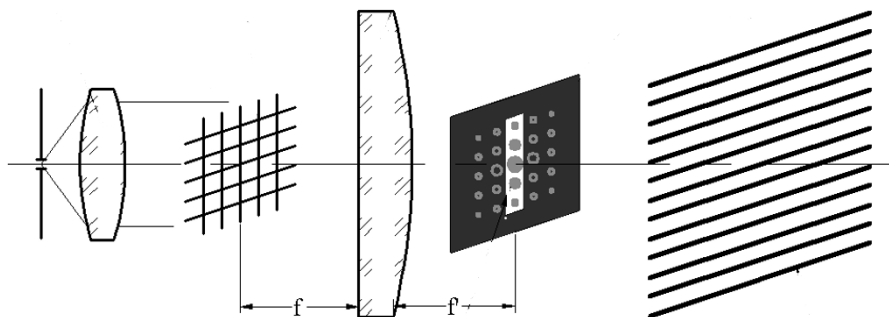


Figure 1. Optical scheme of the Abbe-Porter experiment

### NON-COHERENT ILLUMINATION

Prof. L. Mandelstam has investigated that the image of a self-illuminated object, as well as incoherently illuminated, essentially has the same properties as the coherently illuminated image.

If we present such a non-coherent source as a set of coherent points, in a self-illuminating object, the phenomenon of diffraction on the periodic structure of the mask is preserved. Even in the absence of a visible spectrum in the plane of the original image, the installation of the mask leads to a change in the secondary image. Each

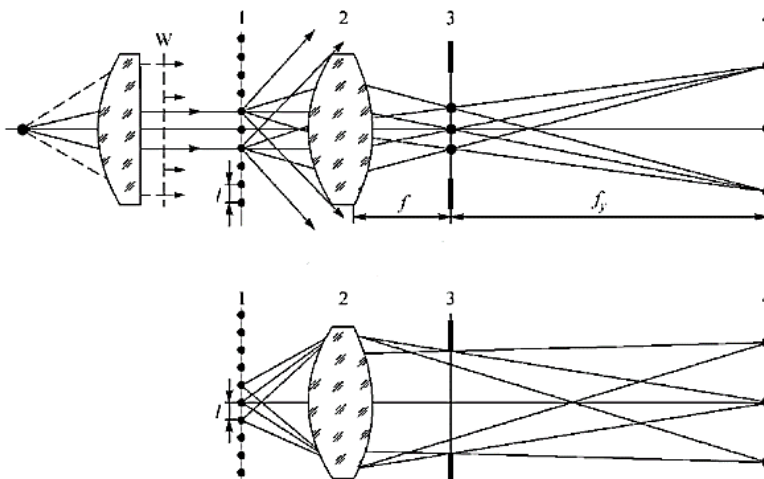


Figure 2. Mandelstam's experiments

small area on the object's surface emits as an elementary coherent source, this radiation passes through an optical system and it diffracts on an aperture with a mask in the back focal plane. The result it appears spatial filtration of numerous small plots. If these small areas are not coherent, then the back focal plane simply does not appear the primary image (Fig. 2).

### PARTLY COHERENT ILLUMINATION

The common case is a partially coherent illumination. Properties of point source image are characterized by condenser parameters. Essential role is played by its aperture. Its value determines the diffraction pattern of Airy in the plane of the object.

Prof. D. Rozhdestvensky introduced the concept of the degree of non-coherence, as the ratio of the numerical aperture of the condenser to the numerical aperture of the

optical system (Fig. 3). If this value is equal to zero - the point image of the condenser in the plane of the object is very large and covers the whole field of view, and therefore the entire object is illuminated. This is a case of pure coherent lighting. When this degree goes to infinity - the lighting is not enough, so the object is illuminated by a large set of small incoherent areas. This is a case of pure incoherent lighting (absolute

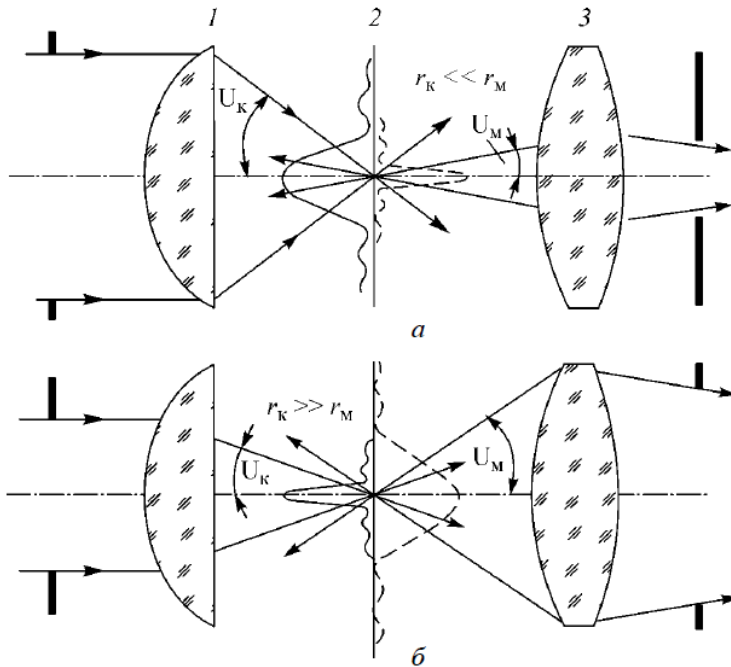


Figure 3. Optical scheme for explanation of the degree of non-coherence.

approximation to absolute coherence. It is also a fair statement: if two points of the object are close enough to each other, there is also coherence. When the object takes waves from two points with significant angles between them, that is, when the change in the optical path of waves, much larger than the wavelength, we have an approximation to absolute incoherence.

## REFERENCES

- [1] Abbe E., Beitrage zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung, Archiv fur mikroskopische. Anatomie. Entwicklungsmech., 9, 413-468 (1873).
- [2] Porter A. B., On the Diffraction Theory of Microscopic Vision, Philosophical Magazine, 11 (61), 154-166 (1906).
- [3] Мандельштам Л. И., К теории микроскопического изображения Аббе, Мандельштам Л. И., Полное собрание трудов, под ред. проф. Рытова С. Москва, Издательство Академии наук СССР, 1, 211 – 225 (1948).
- [4] Michel K., Die Grundzuge der Theorie des Mikroskops in elementarer Darstellung, Wissen-schaftliche Verlagsgesellschaft m.b.H., Stuttgart, (1964).

**УДК 681.2**

*А.А. Андреев, студент гр. ПО-82мп, старш. викладач Кравченко І.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ З  
ФАЗОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

**Анотація.** Досліджено цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах. Розроблено імітаційну комп'ютерну модель з метою дослідження точносних параметрів комп'ютерно-інтегрованих фазових оптико-електронних приладів. В ході роботи виявлено область значень вимірюваної фази, в якій похибка оцінки має неприпустимо велике значення, на підставі цього введено поняття “мертва зона”. Емпірично доведено, що всі залежності є монотонними та спадаючими. Для кількісної оцінки значень та виведення аналітичної залежності було застосовано метод нелінійної регресії. Виведена формула застосовується для визначення «мертвої» зони для значень відношення сигнал/шум 20 дБ ... 120дБ та кількості періодів сигналу 1 ... 120.

**Ключові слова:** цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах, “мертва зона”, імітаційна комп'ютерна модель, Фур'є перетворення, нелінійна регресія, фазовий далекомір.

**ВСТУП**

У даній статті досліджуються цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах. Прикладом таких систем є фазовий далекомір. Далекомір - пристрій, призначений для вимірювання відстані між спостерігачем та об'єктом. З метою дослідження точносних параметрів комп'ютерно-інтегрованих фазових оптико-електронних приладів була розроблена імітаційна комп'ютерна модель. Вихідними параметрами були: метод вимірювання, число вибірок на періоді, кількість періодів, співвідношення сигнал\шум. В якості методів оцінювання фази сигналів з гармонійною модуляцією аналізувалися метод дискретного перетворення Фур'є, метод цифрової синхронної детекції та його різновид - метод міжчастотної модуляції.

**МЕТОД ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ**

В методі перетворення Фур'є проводиться розрахунок спектра  $X$  вихідної функції  $x$  за виразом (1.1). Фаза визначається як арктангенс відношення уявної та дійсної частин основної гармоніки спектра.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * [\cos(2\pi kn / N) - i * \sin(2\pi kn / N)]; (k = 0, \dots, N-1) \tag{1.1}$$

**ЦИФРОВА СИНХРОННА ДЕТЕКЦІЯ**

В методі синхронної детекції сигнал множиться на ортогональні базисні гармонічні функції тієї ж частоти, що і сигнал (1.2). Фаза визначається як арктангенс відношення (1.3).

$$\bar{U}_1 = A \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N(f_c T_0)} \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_1) \cos(2\pi f_c T_0 k + \varphi_2) = \frac{A}{2} \left[ \overline{\sin(\Delta\varphi)} + \overline{\sin(4\pi f_c T_0 k + \varphi_1 + \varphi_2)} \right];$$

$$\bar{U}_2 = A \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N(f_c T_0)} \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_1) \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_2) = \frac{A}{2} \left[ \overline{\cos(\Delta\varphi)} - \overline{\cos(4\pi f_c T_0 k + \varphi_1 + \varphi_2)} \right] \tag{1.2}$$

$$\Delta\varphi = \arctg \frac{U_1}{U_2} \tag{1.3}$$



## МІЖЧАСТОТНИЙ МЕТОД

Міжчастотний метод призначено для редукції високочастотних сигналів. В методі проводиться розрахунок з базисними функціями синхронної детекції (1.4). Частота базисних функцій обирається згідно з виразом (1.5).

$$RI[k] = \sin[2\pi f_{AL}kT_{SP}] \quad (1.4)$$

$$RQ[k] = \cos[2\pi f_{AL}kT_{SP}].$$

$$f_{SP} = \frac{4f_0}{4p+1} \quad (1.5)$$

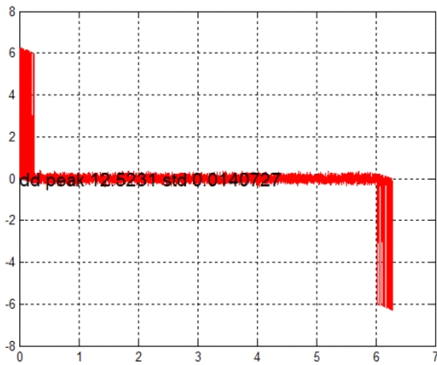


Рисунок 1. Похибка в області вимірювання

При моделюванні систем виявлено, що незалежно від методу обробки, існує область значень вимірюваної фази, в якій похибка оцінки має неприпустимо велике значення. Область знаходиться на початку і в кінці діапазону вимірювань і позначається на зоні чутливості (рис. 1).

На підставі цих спостережень можна ввести таке поняття як "Dead Zone" (мертва зона), яка визначає мінімальну і максимально можливу межу вимірювання віддаленості об'єкта. Метою досліджень є визначення залежності зони нечутливості від параметрів сигналу, а саме: відношення сигнал/шум і розміру вибірки сигналу.

Відношення сигнал/шум - безрозмірна величина, відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму. Чим більший цей показник, тим менше шум впливає на характеристики системи.

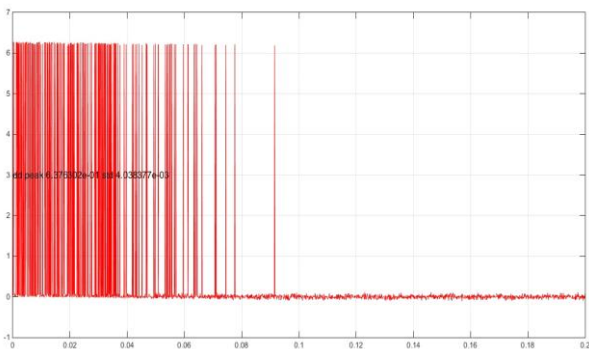


Рисунок 2. Пікові значення похибок, що формують мертву зону при кількості періодів вимірювання  $T = 1$  і співвідношенні сигнал/шум 10 дБ.

Для визначених значень співвідношення сигнал/шум з певними періодами було визначено значення цих похибок. Дані похибок є випадковими, їх значення змінюється випадково в ряді повторних вимірювань. Похибки представлені у вигляді певного розкиду (масиву значень з певним відхиленням) одержуваних результатів; похибки не підлягають усуненню і завжди присутні в ході вимірювань. Математично випадкову похибку можна представити білим шумом.

Шум, утворений похибками вимірювання формує мертву зону.

З аналізу даних видно, що всі залежності є монотонними та спадаючими. Величина зони нечутливості залежить від відношення сигнал/шум (рис.3.1) та від розміру вибірки даних (рис.3.2).

Для кількісної оцінки значень та виведення аналітичної залежності було застосовано метод нелінійної регресії.

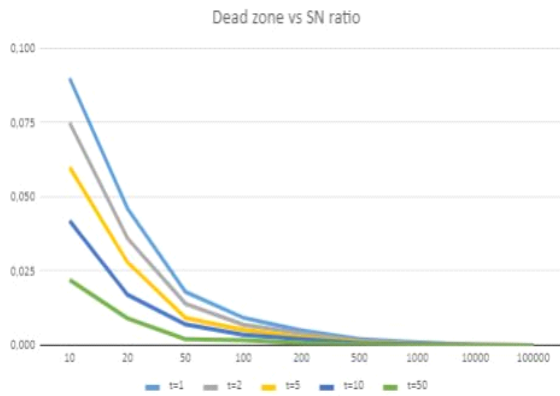


Рисунок. 3.1 – Залежність зони нечутливості від відношення «сигнал/шум»

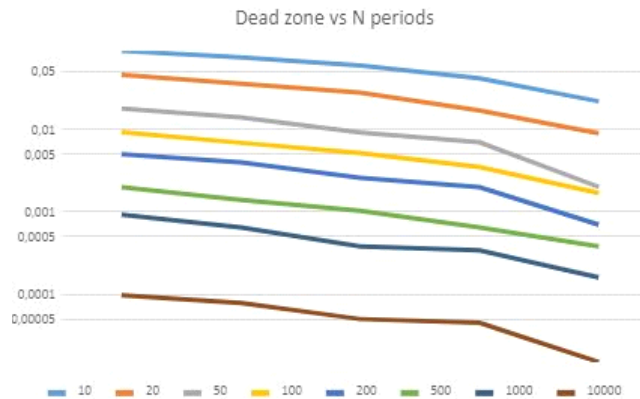


Рисунок. 3.2 – Залежність зони нечутливості від розміру вибірки сигналу

Нелінійна регресія - це вид регресійного аналізу, в якому експериментальні описані функцією, яка є нелінійною комбінацією параметрів моделі і залежить від однієї і більше незалежних змінних. Дані апроксимуються методом послідовних наближень.

Графік функції, побудованої масивом точок, представлених у вигляді похибки можна описати рівнянням:

$$f(x) = a * e^{b*x} + c \tag{1.6}$$

де a, b і c - коефіцієнти регресії. На етапі розрахунків попередньо були взяті проміжні значення коефіцієнтів, необхідні для опису побудованих графіків функції і подальшого аналізу з виводом загальної формули.

Застосування вбудованої функції експоненційної регресії системи комп'ютерної математики призвело до некоректних результатів. Апроксимуюча функція мала від'ємне значення. Тому для подальшого аналізу застосовано загальну функціональну регресію для експоненційного наближення.

Нелінійна регресія загального типу:

$$f1(x, k) = \begin{pmatrix} k_0 * \exp^{-k_1 * x} + k_0 * k_1 \\ \exp^{-k_1 * x} + k_1 \\ -k_0 * x * \exp^{-k_1 * x} + k_0 \end{pmatrix} \tag{1.7}$$

В результаті розрахунків було отримано масиви коефіцієнтів  $a_i$ ,  $b_i$  для різних вибірок сигналу.

Залежність абсолютних похибок апроксимуючої функції та сигналу наведено на рис. 4.

Для оцінки достовірності отриманих коефіцієнтів регресії розраховано коефіцієнти кореляції, які становлять: 0.9997 для одного періода, 0.99994 для двох, 0.99982 для п'яти, 0.99889 для десяти, 0.99897 для п'ятидесяти, 0.99844 для ста, та 0.99194 для тисячі періодів. Наведені значення говорять про високу достовірність результатів.

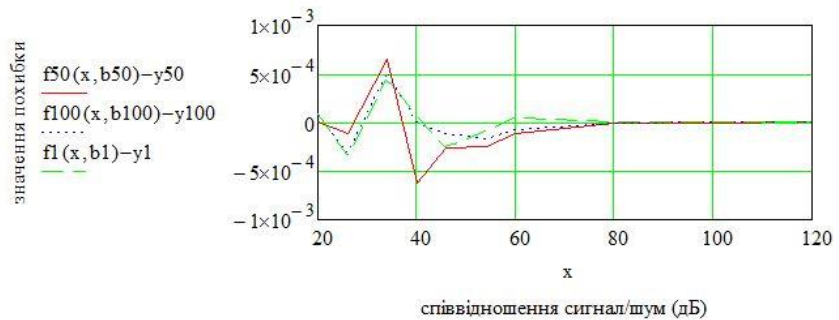


Рисунок 4. Похибки апроксимації

На рис.5 зображено залежність коефіцієнтів регресії від розміру вибірки даних.

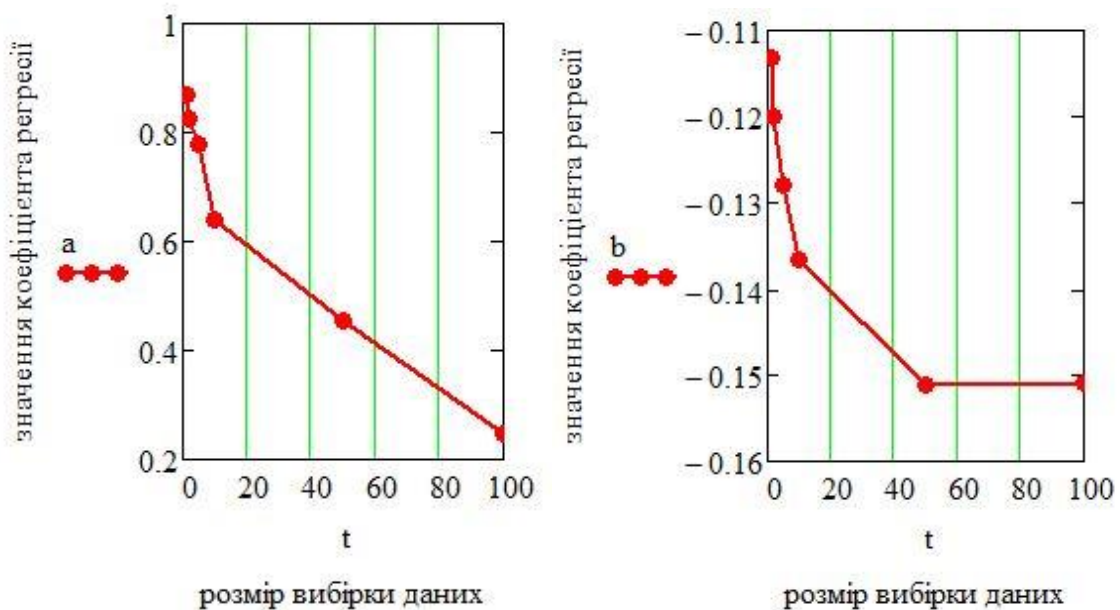


Рисунок 5. Залежність коефіцієнтів функції апроксимації від розміру вибірки.

Для визначення аналітичних виразів залежність коефіцієнтів від кількості періодів проведено розрахунки методом нелінійної регресії. Коефіцієнти кореляції становлять 0.983 для а, 0.998 для б. Отримані значення говорять про високу достовірність розрахунків.

Результатом підрахунку всіх коефіцієнтів з використанням описаних вище математичних операцій є наступні формули:

$$DZ(SN, T) = a(T) * e^{b(T)*SN} + 1.1 * 10^{-7}, \quad (3.1)$$

$$a(T) = 0.605 * e^{-0.028*T} + 0.247, \quad (3.2)$$

$$b(T) = 0.041 * e^{-0.11*T} - 0.151, \quad (3.3)$$

де SN - співвідношення сигнал/шум, T - кількість періодів сигналу.

Формула 3.1 застосовується для визначення «мертвої» зони для значень відношення сигнал/шум 20 дБ ... 120дБ та кількості періодів сигналу 1 ... 120, формули 3.2 та 3.3 для знаходження коефіцієнтів  $a(T)$  і  $b(T)$ .

Використання даної формули надає чітке розуміння можливостей вимірювання приладів, заснованих на принципі оцінювання фази сигналів з гармонійною модуляцією.

## ВИСНОВКИ

Співвідношення сигнал\шум має вплив на ширину "мертвої зони": чим вище співвідношення сигнал\шум - тим менша зона нечутливості приладу, що забезпечує кращу його роботу, і навпаки. Аналогічним чином впливає розмір вибірки та кількість періодів вимірювання: чим більше точок на одному періоді та чим більше самих періодів - тим точнішим буде графік, що описує значення випадкової похибки, яка формує зону нечутливості приладу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Stephane Poujouly and Bernard Journet, «A twofold modulation frequency laser range finder», INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING JOURNAL OF OPTICS A: PURE AND APPLIED OPTICS J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 4 (2002) S356–S363.
- [2] Б.О. Берников, В.Б. Бокшанский, М.В. Вязовых, С.В. Федоров; "МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ЛАЗЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ДАЛЬНОМЕРАХ" / ISSN 0236-3933. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012
- [3] Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму з дисципліни "Комп'ютерні методи розрахунків в оптиці" для студентів напрямку 6.051004 "Оптехніка" (електронне видання) / Уклад.: Кравченко І.В. — К.:НТУУ "КПІ", 2012. —72 с.
- [4] Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. – БХВ-Петербург, 2012.

*Наук. керівник – старший викладач кафедри, Кравченко І.В.*

## УДК 681.7.067.3

Барановський М. Д., студент гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В. М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОЗРОБКА ПРОЕКЦІЙНОГО ОБ'ЄКТИВА З ТЕЛЕЦЕНТРИЧНИМ ХОДОМ ПРОМЕНІВ

**Анотація:** В роботі здійснено автоматизований параметричний синтез оптичної системи телецентричного проєкційного об'єктива, що має поперечне збільшення  $0,5^{\times}$  та передню числову апертуру 0,14. Методика синтезу оптичної системи зводилася до застосування одного з сучасних методів глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції. Наведені результати розрахунку проєкційного об'єктива підтверджують відмінну якість виправлення аберацій та результативність запропонованого підходу.

**Ключові слова:** оптична система, проєкційний об'єктив, телецентричний хід променів, модуляційна передавальна функція, глобальна оптимізація.

#### ВСТУП

Часто об'єкт контролю систем машинного зору має досить складну об'ємну форму, яка в силу відомих законів заломлення та дифракції, може спотворюватися в отриманому зображенні. У значній мірі мінімізувати такі спотворення можна з використанням скоригованої оптики та правильно підбраного освітлення [1].

Існує два основних джерела спотворення зображень об'ємних об'єктів: крайові ефекти заломлення на досліджуваному предметі (перспективні спотворення) та аберації оптичної системи. В обох випадках відбувається «розмиття» меж і викривлення форми об'єкта [3]. Якщо такий дефект як дисторсія можна компенсувати (або зменшити) в зображенні математичним апаратом, то перспективні спотворення на об'єкті можна мінімізувати тільки за рахунок організації паралельного ходу променів світла в зоні контролю. Насамперед, для цього й використовується телецентрична оптика, яка забезпечує паралельний до оптичної осі хід головних променів.

Окрім виправлення перспективних спотворень, застосування телецентричної оптики призводить до збільшення глибини різкості та мінімізації «стороннього» засвічення [2].

Таким чином, телецентрична оптика є незамінною в задачах вимірювання геометрії або контролю форми, особливо коли йдеться про об'ємні об'єкти, дослідження яких з використанням звичайної оптики ускладнені (наприклад, болтів, гайок, гумових ущільнювачів і прокладок, пластикових кришок і емностей, електронних компонентів, різних деталей автомобільних та інших двигунів, трансмісій, отворів, шпильок розміром від часток міліметрів до десятків сантиметрів тощо). Крім того, велика глибина різкості та відсутність перспективних спотворень дозволяють підвищити достовірність контролю друкованих плат та електронних компонентів, перш за все, у випадках, коли контрольована поверхня має певний рельєф [1].

Нажаль, аналітичних методів для синтезу телецентричних об'єктивів не існує, тому для розрахунку доводиться користуватися вже відомими розв'язками з існуючих каталогів, патентів тощо. Інший підхід зводиться до застосування алгоритмів глобальної оптимізації. Треба зазначити, що в останні роки зазначені алгоритми набули суттєвого розвитку через свою універсальність та

ефективність. Такий підхід й буде перевірений на дієздатність в даній роботі на прикладі параметричного синтезу оптичної системи телецентричного проєкційного об'єктива.

### ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

У даній роботі для пошуку розв'язку використовується одна з останніх модифікацій методу диференційної еволюції. Методика параметричного синтезу зводилась до автоматизованого розрахунку оптичної системи проєкційного об'єктива, телецентричного в просторах предметів та зображень, в програмному забезпеченні «PODIL» з використанням вбудованих алгоритмів глобальної оптимізації.

Вихідними даними для розрахунку були задані:

- передня числова апертура – 0,14 мм;
- поперечне збільшення –  $(-0,5)^x$ ;
- лінійне поле оптичної системи – 18 мм;
- спектральний діапазон – 0,48...0,66 мкм;
- максимальна відносна дисторсія на краю поля зору – 3,8%;

та встановлені такі обмеження на:

- загальну довжину системи (від площини предметів до площини зображень) – до 100 мм;
- осьові товщини лінз – від 1,2 до 5 мм;
- повітряні проміжки – від 0,1 до 5 мм;
- мінімальну товщину лінз на краю – 1 мм.

Під час розрахунку пошук найкращих марок скла здійснювався програмою автоматично з каталогу “SCHOTT”. Критерієм оптимізації на початковій стадії була мінімізація хвильових аберацій, а на завершальній – поліпшення значень поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) по всьому полю.

Нижче на рис.1 представлена оптична система розробленого об'єктива.

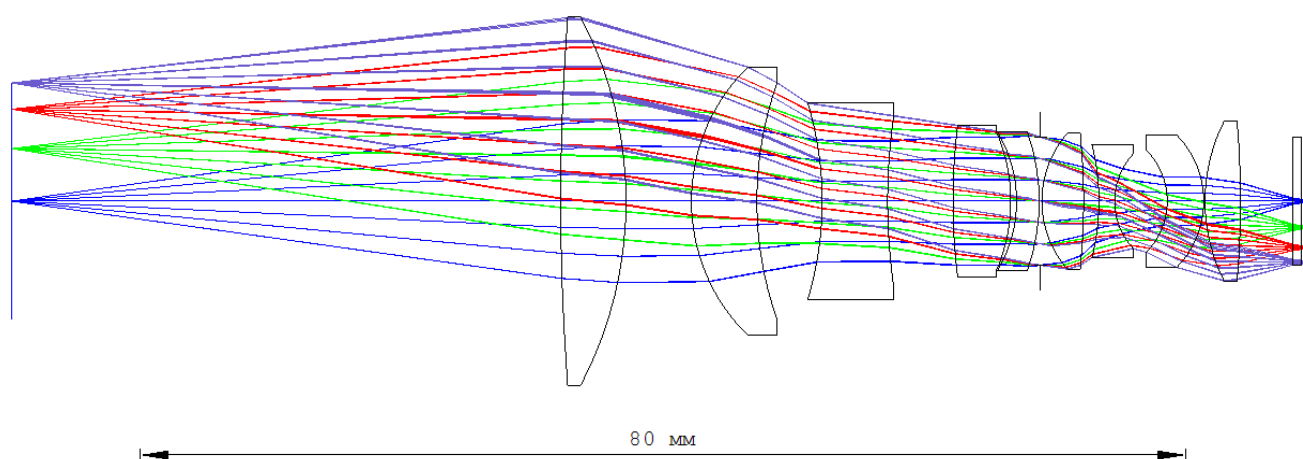


Рисунок 1. Оптична схема з ходом променів розробленого об'єктива

Залежність середніх квадратичних відхилень (СКВ) радіуса плями та похибки хвильового фронту від поля зору можна оцінити за графіками, представленими на рис. 2 і 3.

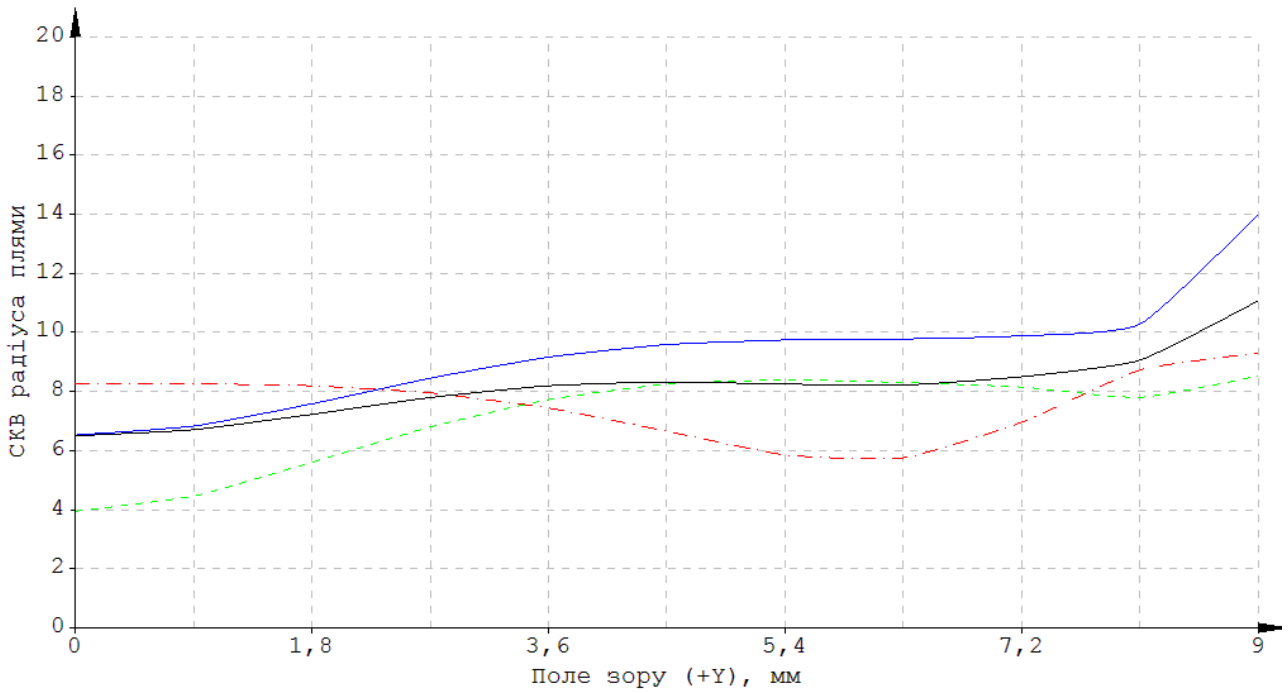


Рисунок 2. Залежність СКВ радіуса плями від поля зору

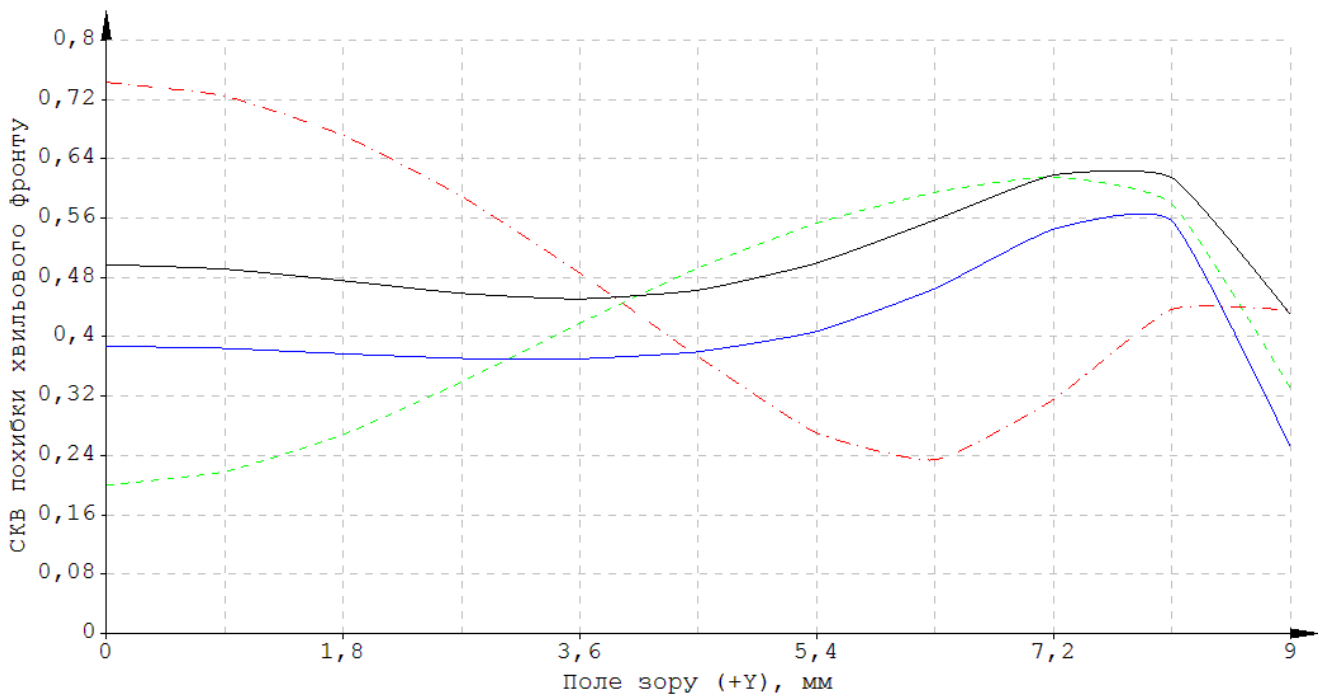


Рисунок 3. Залежність СКВ похибки хвильового фронту від поля зору

Значення поліхроматичних МПФ по всьому полю є не меншими за 34% для просторової частоти 60 ліній/мм.

## **ВИСНОВКИ**

У роботі здійснена перевірка здатності однієї із модифікацій алгоритму дифракційної еволюції для параметричного синтезу проєкційного об'єктива з телецентричним ходом променів. Результати розрахунку підтверджують високу якість корекції монохроматичних та хроматичних аберацій.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Телецентрическая оптика: повышение точности оптических измерений / Control Engineering Россия. – Режим доступа: <https://www.vitec.ru/upload/iblock/b96/b9655f968d09279f7fa9e510d8be021f.pdf/> - 18.04.2019 р.
- [2] Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. Глава VI. Ограничение пучков лучей в оптических системах // Теория оптических систем / Т. В. Абимова. — М.: «Машиностроение», 1992. — С. 92 – 102. — 448 с. — 2300 экз. — ISBN 5-217-01995-6.
- [3] Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems / H. Gross, H. Zugge, M. Peschka, F. Blechinger ; Edited by Herbert Gross. — WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. — ISBN 978-3527403790.



**УДК 617. 741-007.21**

*Г.П. Басюк, студентка гр. ПІ-51*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СУЧАСНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ІНТРАОПЕРАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

**Анотація.** Історично, операція по видаленню катаракти була направлена на видалення затемненої лінзи ока і заміну штучною. Це дало пацієнтам чітке бачення, але без врахування їх рефракційної помилки – вони потребували окуляри або контактні лінзи після операції. Сучасні діагностичні та хірургічні прилади тепер дозволяють вирішувати ці помилки рефракції під час операції.

**Ключові слова:** інтраопераційна рефрактометрія, ІОЛ, ORA, катаракта, TrueGuide, Verion, CALLISTO, HOLOS IntraOp.

### **ВСТУП**

За останні 10 років, технічний прогрес, який спрямований на те, щоб допомогти офтальмологам досягнути найкращої невикорисованої гостроти зору для хворих катарактою, є безпрецедентним в історії. Він включає в себе інструменти та прилади, призначені для забезпечення інтраопераційних вимірювань. Такі нові системи повинні використовуватись, коли хірург оперує, щоб забезпечити зворотній зв'язок для вибору оптичної сили ІОЛ (інтраопераційної лінзи), розміщення лімбів з розслаблюючим розрізом (limbal relaxing incisions), центрування ІОЛ. Починаючи з 2009 року, після лекції Чарльза Келмана в Американській спільноті катаракти та рефракційної хірургії (ASCRS), область вибухнула пристроями, які допоможуть офтальмологам забезпечити більш точні результати рефракції під час операції катаракти.

### **OPTIWAVE REFRACTIVE ANALYSIS (ORA)**

Пристрій захоплення зображення підключається до нижньої частини хірургічного мікроскопа і використовує інтерферометрію Talbot- Moiré для вимірювання рефракційного стану ока під час операції. Система ORA має інтегровану можливість для розрахунку оптичної сили ІОЛ на основі афакічного сферичного еквівалента і попередньо розрахованих кератометрії і осьової довжини ока пацієнта в алгоритмі для оцінки ELP (effective lens position). Дані показані у вигляді рефракції зі сферою, циліндром і віссю. Використовуючи запатентовані біометричні формули і індивідуальні номограми, можна використати афакічні дані, для розрахунку правильної оптичної сили ІОЛ.

ORA був важливим фактором у виборі ІОЛ хірургів катаракти і прийнятті рішень. Існують дослідження, які чітко демонструють цінність ORA у пацієнтів з катарактою. Із загального числа 246 очей в 68% випадків система ORA або впливала (38%), або була обрана (30%) в порівнянні з доопераційним розрахунком оптичної сили ІОЛ. В додаткових 13% ORA підтвердила доопераційний розрахунок оптичної сили ІОЛ.

### **TRUEGUIDE**

Комп'ютерна система TrueGuide (TrueVision 3D Surgical) – це технологія хірургічного наведення.

Доопераційне зображення ока імпортується у цифровому вигляді і реєструється до живого трьохвимірному зображення в операційній, щоб компенсувати будь-яку циклоторсію. Окрім цього система тепер працює з кольоровим світлодіодним аналізатором рогівки Cassini (i-Optics). При такій інтеграції система TrueVision 3-D може надавати топографічні і астигматичні значення, а також кольорове зображення ока з високою роздільною здатністю і зображення райдужки.

Завдяки трьохвимірному відстеженню в режимі реального часу можна дивитись на око в 3-D на екрані. Різноманітні цифрові накладання зображень можуть бути виразно та послідовно відображатися на очах. Нерозділене накладання зображень допомагає знайти центр зіниці для центрування ІОЛ.

Остання інтеграція для цієї технології – це поєднання комп'ютерної системи TrueGuide для планування хірургічних операцій, даних рогівки Cassini і візуалізації райдужної оболонки в лазер Lensar, щоб допомогти хірургам планувати розміщення лазера, розрізи і врахувати циклоторсію.

## **VERION**

Нещодавно з'явилась система Verion Image Guided. Вона складається з доопераційного еталонного блоку і пристрою планування, які фіксують і використовують зображення ока пацієнта з високою роздільною здатністю.

Verion виконує ключові діагностичні виміри:

- центральну кератометрію
- визначення положень і діаметра лімба
- вимірювання горизонтального діаметра рогівки
- визначення положення роговичного рефлексу
- вимірювання ексцентриситу зорової осі

Після лазерної обробки зображення і дані надходять у блок цифрових маркерів Verion в операційній, де пристрій підключається до хірургічного мікроскопа. Система призначена для компенсації циклоторсії.

## **CALLISTO**

Око CALLISTO – це комерційно доступна система навігації, призначена для інтеграції в інші продукти Zeiss, такі як IOLMaster і мікроскоп Lumera. CALLISTO функціонує як міст: вона зв'язує ці два пристрої, що дозволяє хірургу передавати доопераційні біометричні дані і плани в операційну, де інформація може відображатись або через окуляр, або на екрані, прикріпленому до мікроскопа. Педаль Lumera може використовуватись для керування візуалізацією різноманітних інструментів наведення в окулярі, а вбудована система стеження забезпечує накладання цифрових шаблонів, що регулюють зміни руху очей. Функції хірургічної допомоги включають розрізи, капсулорексис і вирівнювання торичної ІОЛ. Окрім цього, система дозволяє візуалізувати біометричні дані, отримані IOLMaster до операції.

## **HOLOS INTRAOP**

HOLOS IntraOp – це революційно новий спосіб проведення рефракційної хірургії катаракти. Використовуючи HOLOS IntraOp, хірурги по видаленню катаракти можуть проводити вимірювання в режимі реального часу, без необхідності перевіряти свою точність при установці преміальних ІОЛ.

Вимірювання хвильового фронту, отримані HOLOS IntraOp, унікальні тим, як система може фіксувати окремі області хвильового фронту з допомогою детального алгоритмічного аналізу даних.

## **ВИСНОВОК**

Важливо визнати, що деяка непередбачуваність розрахунків ІОЛ, з використанням інтраопераційних систем хвильового фронту, зберігається. Найбільш важливою змінною, яка не може бути виміряна під час операції, є кінцева оптична сила ІОЛ. Очікується, що оптична сила буде змінюватись в залежності відповідно до існуючих анатомічних змінних, а також хірургічних змінних, викликаних капсулорексисом. Крім того, ряд інших факторів можуть вплинути на точність інтраопераційної біометрії. Вони включають фіксацію пацієнта, внутрішньоочний тиск, підвищену товщину рогівки.

Наведені в даному огляді прилади ще не вирішують остаточно проблему точного забезпечення планової післяопераційної рефракції ока, тому пошук більш досконалих методів та апаратних засобів інтраопераційної біометрії з нашої точки зору ще має продовження.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] ROBERT J. WEINSTOCK. The Latest and Greatest in Intraoperative Guidance Tools [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://crstoday.com/wp-content/themes/crst/assets/downloads/crst0614\\_F1\\_Weinstock.pdf](https://crstoday.com/wp-content/themes/crst/assets/downloads/crst0614_F1_Weinstock.pdf)
- [2] Solomon Eye Associates. HOLOS IntraOp: The Future of Refractive Cataract Surgery [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.solomoneyeassociates.com/blog/detail/2016/11/19/holos-intraop-the-future-of-refractive-cataract-surgery.html>
- [3] Tsoncho Ianchulev, Kenneth J. Hoffer, Sonia H. Yoo, David F. Chang, Michael Breen, Thomas Padrick, Dan B. Tran. Intraoperative Refractive Biometry for Predicting Intraocular Lens Power Calculation after Prior Myopic Refractive Surgery. *Ophthalmology* 2014;121:56-60.
- [4] Ocular Surgery News U.S. Edition. Is intraoperative aberrometry an essential tool in cataract surgery? [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.healio.com/ophthalmology/cataract-surgery/news/print/ocular-surgery-news/%7B3fec5106-dfb5-4f7c-a8bf-89a6faa67337%7D/is-intraoperative-aberrrometry-an-essential-tool-in-cataract-surgery>
- [5] Диагностическая навигационная система VERION. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://intelmed.ru/product/diagnosticheskaja-navigacionnaja-sistema-verion/>

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Чиж І.Г.*

УДК 535.361

Д.Р. Братова, студент гр. ПО-82мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ГОЛОГРАМ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

**Анотація.** Використання вейвлет - аналізу дозволяє не лише ефективно фільтрувати шумову складову прийнятого сигналу, а і, користуючись властивостями цього перетворення, обробляти цифрову голограму. У статті описується метод знаходження центрів інтерференційних смуг, які ресструються цифровою камерою.

**Ключові слова:** цифрова голографія, вейвлет-аналіз, інтерференція, цифрова обробка.

### ВСТУП

Серед величезної кількості методів неруйнівного контролю найбільш перспективними є оптичні методи на основі цифрової голографії [1]. Інтерференція, що виникає в результаті відображення когерентного випромінювання від досліджуваної поверхні, містить в собі не тільки інформацію про тривимірну структуру об'єкта, а й дає можливість оцінити наявність механічних напруженостей [2].

Існує [3] досить багато алгоритмів обробки отриманих цифрових голограм, але всі вони мають свої недоліки, пов'язані з тим, що цифрове зображення має низьку роздільну здатність в порівнянні з її аналоговим варіантом (наприклад, цифрова ПЗС -матриця має роздільну здатність  $R \leq 330$  лін / мм, в той час, як для реєстрації інтерференційної картини, що виникає при довжині хвилі  $\lambda \approx 600$  нм, потрібна світлочутливе середовище з роздільною здатністю  $R \geq 2500$  лін / мм). Такі вимоги до цифрової камери і цифрового зображення в значній мірі обмежують використання вищеописаних алгоритмів, що веде до безперервного пошуку більш вдалого варіанту для вирішення завдання аналізу цифрових голограм. Таким варіантом може стати використання вейвлет - обробки. Останнім часом [4] інструментальна база алгоритмів на основі вейвлет - перетворення постійно розширюється, що дає можливість застосовувати їх в різних областях науки і техніки, в тому числі і в цифровій голографії.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Основним напрямком, в якому буде використовуватися вейвлет - перетворення це задача розгортки фази. Вирішення цього завдання, зокрема, є одним з етапів технології побудови цифрової моделі тривимірної поверхні досліджуваного об'єкта.

Нехай площина ПЗС-матриці буде перебувати в дальній зоні, що відповідає дифракції Фраунгофера. Тоді для поля об'єкта, в площині зформованої голограми, можна записати:

$$U_0(x_0, y_0) = \frac{1}{i\lambda} \cdot \frac{e^{(ikd)} \cdot e^{\left(\frac{ik}{2d}[x_0^2 + y_0^2]\right)}}{d} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A_0(x, y) \cdot e^{\left(\frac{i\pi}{\lambda d}[x \cdot x_0 + y \cdot y_0]\right)} dx dy \quad (1)$$

Явище дифракції, що описується виразом (1) буде давати в площині реєструючого середовища інтерференційну картину, викликану напруженням або порушенням площинності досліджуваного об'єкта. Причому характер і

період цих інтерференційних смуг містить в собі інформацію про тривимірну структуру об'єкта дослідження. Тому подальший розв'язок задачі буде зводитись до аналізу зареєстрованої голограми.

Нехай зображення, що отримується з цифрової камери, буде інтерпретуватися як функція двох змінних змінних  $f(x, y)$ , де  $x=N \cdot \Delta x$ , а  $y=M \cdot \Delta y$  ( $N, M$  – розміри зображення по горизонталі і вертикалі, відповідно, а  $\Delta x, \Delta y$  – розміри пікселя (дискретного кроку) цифрової камери). Тоді поставлене завдання можна вирішити двома способами:

1. Застосовуючи двовимірне дискретне вейвлет - перетворення безпосередньо до функції  $f(x, y)$ ;

2. Замінити функцію  $f(x, y)$  її безперервним варіантом, ґрунтуючись на найменшій похідній, яка відповідає похідній безперервної функції і далі використовувати безперервне вейвлет - перетворення.

Хоча, на перший погляд, ці два варіанти ґрунтуються на різних способах розв'язку вихідного завдання - обидва вони націлені на один результат, який вимагає пошуку максимумів інтерференційних смуг. Розглянемо випадок, коли вейвлет - перетворення застосовується безпосередньо до дискретної функції голограми. Для пошуку екстремуму інтерференційних смуг скористаємося поняттям градієнта функції. Тут виникає проблема: пошук градієнта від дискретної функції пов'язаний з диференціальними операторами, які можуть посилити шумову складову, що спотворить результати. В даному випадку, застосування вейвлет - перетворення дозволить не тільки очистити сигнал від шуму, але і диференціювати функцію:

$$\frac{d^n}{dt^n} WT[x(t)] = WT\left[\frac{d^n x(t)}{dt^n}\right] = (-1)^n \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \frac{d^n \psi(t)}{dt^n} dt \quad (2)$$

тобто дозволить дослідити дискретну функцію на наявність екстремумів.

Погляньмо на цей підхід на штучно створеній голограмі (див. рис.1). В даному випадку об'єктом дослідження буде найпростіша фігура у вигляді точки розміром в кілька пікселів.

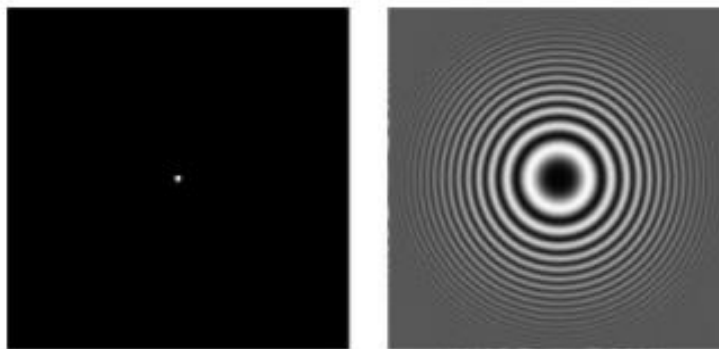


Рисунок.1. Об'єкт дослідження і створена ним голограма.

Застосовуючи до отриманої голограми і пряме і зворотне вейвлет - перетворення і користуючись властивістю (2) знайдемо центри інтерференційних смуг. Центри інтерференційних смуг збігаються з максимумами, отриманими в результаті обробки розробленим алгоритмом.

## **ВИСНОВОК**

Використання вейвлет - перетворення дозволить не тільки ефективно фільтрувати шумову складову, яка виникає при реєстрації голограми цифровою ПЗЗ -матрицею, але так само дозволяє виділити центри інтерференційних смуг, які допоможуть в подальшій реконструкції тривимірної структури досліджуваного об'єкту.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – СПб.Ж СПбГУ ИТМО, 2005. – 260с.
- [2] Гужов В.И., Ильиных С.П. Компьютерная интерферометрия. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 325с
- [3] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Litres, 2019
- [4] Pavel A. Cheremkhin and Ekaterina A. Kurbatova, "Quality of reconstruction of compressed off-axis digital holograms by frequency filtering and wavelets," Appl. Opt. 57, A55-A64 (2018)

*Наук. керівник – доц. Богатирьова Г.В.*

УДК 536.5

Гайдук Н. В., студентка, к.ф.-м.н. доц. Якунов А. В.  
КНУ ім. Тараса Шевченка

## ВИКОРИСТАННЯ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО СЕНСОРА ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРОЦЕСІ МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВАННЯ

**Анотація.** Метод динамічної термометрії, заснований на температурній залежності деяких параметрів спектру флуоресценції, використовується для контролю температури при нагріванні рідких середовищ у мікрохвильовій печі. В якості термочутливого датчика застосовується розчин органічного барвника родаміну 6G. Вимірювання відносної інтенсивності флуоресценції не забезпечує достатньої точності відтворення температури, а при  $t > 100$  C взагалі не дозволяє контролювати температуру. Для водного розчину однаково зручними параметрами є пікова довжина хвилі та коефіцієнт асиметрії спектрального контуру. Для розчину гліцерину більш точним є вимірювання пікової довжини хвилі. Застосування зазначених параметрів спектру флуоресценції для контролю температури розчинів демонструє високу точність і відтворюваність температуро-часових профілів. Описана методика, окрім практичного використання у відповідних технологічних процесах, дає можливість вивчити динамічні зміни температури при мікрохвильовому опроміненні і може бути використана для реєстрації швидких процесів та контролю просторового розподілу температури.

**Ключові слова:** флуоресценція, органічний барвник, температурний сенсор, мікрохвилі.

### ВСТУП

Мікрохвилями називають електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі у вакуумі від одного метра до одного міліметра. Мікрохвилі широко використовуються в різних технологічних процесах в електронній, харчовій, фармацевтичній та хімічній промисловості, де вони використовуються переважно для швидкого і контрольованого нагрівання [1]. Пряме вимірювання зміни температури в зоні опромінення є складною технічною проблемою. Високочутливі датчики температури (термопари, термістори тощо) створюють збурення в досліджуваних зразках і тим впливають на локальну температуру та характеристики теплопередачі в заданому місці.

У даній роботі для безконтактного вимірювання високої температури при швидкому нагріванні в мікрохвильовій печі використовувалися водні (до  $100^{\circ}\text{C}$ ) та гліцеринові (до  $300^{\circ}\text{C}$ ) розчини термочутливого органічного барвника родаміну 6G (R6G). Вимірювання проводили шляхом моніторингу трьох параметрів спектру флуоресценції, а саме: відносної інтенсивності, пікової довжини хвилі і коефіцієнта асиметрії спектральної смуги.

### ТЕМПЕРАТУРО-ЗАЛЕЖНІ ПАРАМЕТРИ ФЛЮОРЕСЦЕНЦІЇ

Зазвичай, явище флуоресценції на якісному рівні пояснюють на класичній діаграмі Яблонського [3], з якої випливає проста кінетична схема перетворення енергії. Молекула в основному стані  $A^0$  поглинає квант світла  $h\nu_{abs}$  і переходить у збуджений стан  $A^*$ . Найбільш вірогідними є два сценарії подальшої трансформації енергії: (а) збуджена молекула повертається в основний стан з випроміненням кванту енергії  $h\nu_{emi}$  (радіаційний перехід), (б) збуджена молекула повертається до основного стану без випромінення кванту енергії, але з виділенням відповідного тепла  $\Delta Q$  (безвипромінювальний перехід). Обидва сценарії характеризуються ймовірностями  $k_r$  і  $k_n$ , відповідно. Типові параметри,

що використовуються для опису флуоресценції, часто залежать від температури [2].

Абсолютний квантовий вихід флуоресцентної молекули визначається відношенням кількості випромінених фотонів, до тих, що поглинулися:

$$\eta = \frac{k_r}{k_r + k_n}; \quad (1)$$

Безпосередньо вимірювати абсолютний квантовий вихід флуоресценції складно. Зазвичай вимірюють відносну зміну квантового виходу (або інтенсивність флуоресценції) при зміні температури.

Довжина хвилі в максимумі спектру флуоресценції (пікова довжина хвилі) залежить від температури, а її зміщення з температурою називається термохромним зсувом. Термохромний ефект є наслідком сольватохромного ефекту - впливу розчинника на пікову довжину хвилі.

Форма спектральної смуги флуоресценції визначається електронними рівнями, що беруть участь в акті випромінювання, і взаємним розташуванням відповідних коливальних підрівнів. Зазвичай, навіть проста однокомпонентна смуга флуоресценції характеризується певною асиметрією:

$$\rho = \frac{\bar{\nu}_+ - \bar{\nu}_{\max}}{\bar{\nu}_{\max} - \bar{\nu}_-}; \quad (2)$$

де  $\bar{\nu}_+$  і  $\bar{\nu}_-$  хвильові числа високочастотних і низькочастотних точок на спектральній смузі, в яких інтенсивність дорівнює половині максимуму.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

В якості флуоресцентного датчика використовували органічний барвник родамін 6G. Високий квантовий вихід дозволяє реєструвати миттєві флуоресцентні спектри розчинів R6G на низькодисперсійному спектрометрі з ПЗЗ-камерою.

Зразки готували з використанням аналітично чистих води і гліцерину. Концентрація барвника ( $\sim 0,4$  г/л) відповідала оптимальному компромісу між квантовим виходом і чутливістю до температури.

Використовувалась оптична схема, типова для вимірювань флуоресценції розчинів із сильним поглинанням [3]. В якості джерела збудження використано напівпровідниковий лазер випромінювання з довжиною хвилі 405 нм і вихідною потужністю 60 мВт. Лазерний промінь фокусувався лінзою в усередині циліндричної скляної кювети (діаметр - 10 мм, висота - 50 мм) з розчином барвника. Сигнал флуоресценції фокусували на вхідну щілину низькодисперсійного монохроматора, у вихідній площині якого встановлювали матрицю ПЗЗ-камери. Кювету розташовували усередині масивного мідного нагрівача, який забезпечував швидке і майже рівномірне нагрівання з регульованою швидкістю  $(0.5 \div 1)^\circ\text{C} / \text{s}$ . Температуру розчину контролювали за допомогою мініатюрної термопари, встановленої поблизу області збудження.

Для мікрохвильового нагрівання кювету з розчином барвника поміщали всередину печі ( $W \sim 600$  Вт) поблизу передньої стінки з захисною сіткою.



Спектри флуоресценції розчинів R6G реєстрували з інтервалом 0.5 секунди в діапазоні температур 20–100°C і 20–300°C для води і гліцерину, відповідно. Пакетна обробка кожного з набору спектрів дозволила виділити температурні залежності трьох спектральних параметрів: інтенсивності флуоресценції, пікової довжини хвилі і коефіцієнту асиметрії спектральної смуги.

Всі три спектральних параметри для водного розчину монотонно змінюються в залежності від температури. У всьому діапазоні (20÷100)°C найбільш чутливими до температурних змін виявляється відносна інтенсивність флуоресценції. Залежність відносної інтенсивності від температури апроксимується кубічним поліномом:  $I_{\max} = 0.25 - 0.007 \cdot t + 2.75E-4 \cdot t^2 - 1.27E-6 \cdot t^3$ .

Пікова довжина хвилі і коефіцієнт асиметрії майже лінійно залежать від температури:  $\lambda_{\max}^{-1} = 0.799 + 0.002 \cdot t$  і  $\rho = 0.371 + 0.006 \cdot t$ , відповідно. Чутливість коефіцієнта асиметрії в три рази вище, але шум збільшується приблизно на ту ж саму величину. Для контролю температури водних розчинів ці два параметри можна вважати еквівалентними.

У випадку розчину гліцерину залежність відносної інтенсивності флуоресценції від температури має максимум близько 70°C. При більш високих температурах починає переважати температурне гасіння флуоресценції, інтенсивність якої швидко зменшується. Використання інтенсивності як контрольного параметра стає практично неможливим.

Пікова довжина хвилі і коефіцієнт асиметрії так само, як і у випадку водного розчину, лінійно залежать від температури:  $\lambda_{\max}^{-1} = 1.01 + 7.75E-4 \cdot t$  та  $\rho = 1.02 + 0.0014 \cdot t$ . Однак співвідношення їх чутливості стає менше двох, а шум для коефіцієнта асиметрії зростає більш ніж утричі. Тому пікова довжина хвилі є оптимальним параметром для контролю температури гліцеринового розчину.

На Рис.1 зліва показано температурну динаміку водного розчину R6G при мікрохвильовому нагріванні в режимі “MED LOW” (робочий цикл ~ 0.2). Верхній графік (а) демонструє температуро-часовий профіль, реконструйований за допомогою відносної інтенсивності, а нижній (b) - коефіцієнта асиметрії.

Видно, що температуро-часові профілі відповідають один одному приблизно до 90°C. Профіль, побудований на основі відносної інтенсивності флуоресценції, дає набагато більш низький рівень шуму. Після 90°C контроль температури за цим параметром стає неможливим через швидке збільшення рівня шуму. Очевидно, що стохастизація інтенсивності вторинного пучка виникає за рахунок розсіювання світла на динамічних неоднорідностях водного розчину поблизу точки кипіння. У той же час профіль, відновлений за допомогою коефіцієнта асиметрії, дозволяє контролювати температуру зразка до 100°C без видимого підвищення рівня шуму.

На Рис.1 справа показано температурну динаміку гліцеринового розчину R6G при мікрохвильовому нагріванні в чотирьох режимах: (а) “LOW” (0.1), (b) “MED LOW” (0.2), (c) “MED” (0.45), (d) “MED HIGH” (0.75). Всі профілі реконструюються за допомогою калібрування пікової довжини хвилі.

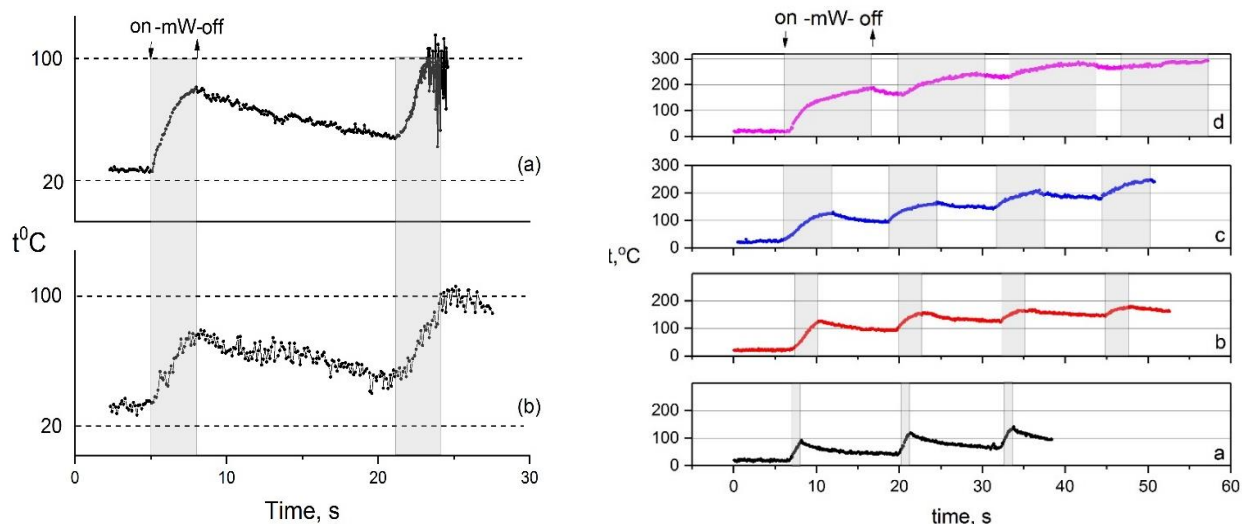


Рисунок 1. Температурна динаміка водного розчину (зліва) під дією мікрохвильового нагрівання, відтворена по відносній інтенсивності флуоресценції (a) та коефіцієнту асиметрії (b). Температурна динаміка гліцеринового розчину (справа) під дією мікрохвильового нагрівання у різних режимах, відтворена по піковій довжині хвилі

Видно, що в режимі (d) в четвертому циклі розчин гліцерину нагрівається до температури кипіння ( $290^{\circ}\text{C}$ ). Під час кипіння пікова довжина хвилі залишається незмінною при низьких рівнях шуму, що дає можливість контролювати температуру з високою точністю, наприклад, в технології мікрохвильової хімії.

## ВИСНОВКИ

Представлено динамічну термометрію, засновану на вимірюванні параметрів спектру флуоресценції, яка дозволяє контролювати зміни температури в рідких середовищах, під час мікрохвильового нагрівання. Описана методика, окрім очевидного практичного застосування у відповідних технологіях, дає можливість глибше вивчити фізико-хімічні процеси під час мікрохвильового опромінення і може бути використана для реєстрації швидких процесів, контролю просторового розподілу температури та виявлення можливих аномалій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Bekal, A., A.M. Hebbale, and M. Srinath. Review on Material Processing Through Microwave Energy. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. IOP Publishing.
- [2] Jianfeng Lou, et al., Fluorescence-based thermometry: principles and applications. Reviews in Analytical Chemistry, 1999. **18**(4): p. 235-284.
- [3] Lakowicz, Principles of Fluorescence Spectroscopy. 2006: Springer US, New York.

УДК 621.384.3

*О.В. Дерев'янку, студент гр. МНПм-18-1*

Харківський національний університет радіоелектроніки

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ**

**Анотація.** В роботі обговорюються принципи аналізу вихідного масиву даних тепловізійної системи. Спираючись на стохастичний характер корисних та помилкових сигналів, алгоритми обробки засновані на теорії статистичних рішень. Розглядаються різноманітні принципи побудови тепловізійних систем (системні рішення, елементи, датчики). Проведено розрахунки характеристик виявлення корисних сигналів. Запропонований алгоритм дозволив фіксувати розподіл температур об'єктів. У разі змін характеристик сцени, формувати необхідний сигнал вмикання тривоги. Запропонована тепловізійна система завдяки розробленому методу забезпечує безконтактний спосіб виявлення змін положення чи зникнення окремих об'єктів з обраними характеристиками виявлення.

**Ключові слова:** Алгоритм, обробка сигналів, тепловізійна система, характеристики виявлення.

### **ВСТУП**

На сьогодні існує велике розмаїття пристроїв для перетворення світлової енергії та сигналів на електричні, від найпростіших фоторезисторів, фотодіодів та фототранзисторів до більш складних фоточутливих пристроїв, наприклад, телевізійних та тепловізійних систем. Телевізійні та тепловізійні системи мають можливість реєструвати та виявляти електромагнітне випромінювання від окремих об'єктів, яке обумовлене різноманітним рівнем температур [1]. І з розвитком технологій передачі інформації за допомогою світлових сигналів постає необхідність у покращенні властивостей фотоприймачів та їх статистичних характеристик для прийому даних на фоні постійного фонового шуму. З великим стрибком комп'ютерних технологій з'явилося чимало методів програмної обробки сигналів задля покращення якості отриманих даних, при цьому може відбуватися нагромадження різних розрахунків та перетворень, що можуть суттєво вплинути на початковий сигнал. При цьому рішення, що можуть істотно вплинути на фізику самого процесу для його покращення набагато менше, але при ретельному їх дослідженні є можливість суттєво підвищити якість вихідних сигналів.

Метою роботи є розробка оптимальних алгоритмів обробки інформації, отриманої за допомогою тепловізійної системи на основі міжкадрової обробки сигналів.

Об'єкт дослідження – статистичні характеристики вихідних сигналів тепловізійних систем.

Методи дослідження: теоретичні методи – основні положення корпускулярної теорії світла, теорії імовірності, теорії побудови оптико-електронних систем; експериментальні методи – методи оптимального планування експерименту та основні положення теорії прийняття рішень.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Принцип дії тепловізора заснований на сприйнятті матрицею приладу теплового випромінювання від об'єктів в діапазоні 3-14 мкм. Тепловізор здатний "бачити" вночі теплове випромінювання від об'єктів і тим самим формувати чітку картину подій, що відбуваються. ІК-пасивні, або оптико-електронні

датчики, відносяться до класу детекторів руху і реагують на теплове випромінювання людини що рухається. Принцип дії цих датчиків заснований на реєстрації зміни в часі різниці між інтенсивністю ІЧ випромінювання від людини і фонового теплового випромінювання, представлено на рис. 1 [2-6].

ІК-пасивні датчики складаються з трьох основних елементів:

- оптичної системи, що формує діаграму спрямованості датчика і визначає форму та вид просторової зони чутливості;
- приймача, що реєструє теплове випромінювання;
- блоку обробки сигналів приймача, що виділяє сигнали, обумовлені рухомим об'єктом, на тлі перешкод природного та штучного походження.

Алгоритми обробки сигналів в тепловізійних системах засновано на аналізі відгуків чутливих елементів тепловізійної системи, які реагують на зміну потоку інфрачервоного випромінювання, зміною амплітуди сигналу [7].

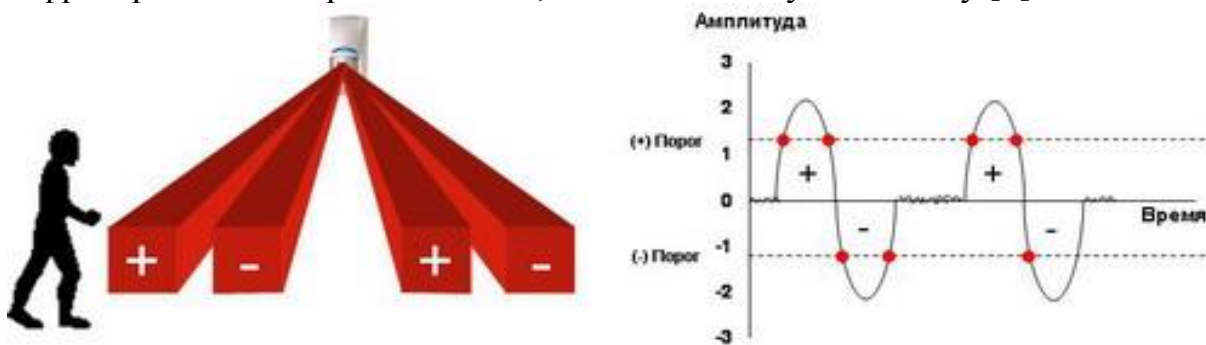


Рисунок 1. Метод рахунку імпульсів

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблений алгоритм міжкадрової обробки сигналів полягає у формуванні міжкадрового різницевого сигналу, в якому зосереджена вся інформація про зміни, що відбуваються в зображенні, відповідні всім об'єктам кадру і деталям фону що знаходяться в кадрі. Проводиться аналіз вихідного масиву даних тепловізійної системи. Спираючись на стохастичний характер корисних та помилкових сигналів, розроблено алгоритм обробки сигналів, який засновано на теорії статистичних рішень. Визначаються статистичні характеристики температур по кадру [8]. Розраховуються зміни які відбуваються в кадрах, віднімаючи різниці СКВ у пари кадрів в певний момент часу та СКВ наступних двох пар кадрів з потоку даних. Якщо аналіз не виявив перевищень порогового значення, алгоритм циклічно повторює процедуру до моменту перевищення порогового значення (рис.2).

Після розрахунку різниці середніх значень і середньоквадратичних відхилень розподілу температур двох кадрів, можемо розрахувати зміни що відбуваються між кадрами, та встановити порогове значення  $U_n$  за допомогою функції Гауса (1):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \times e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = U_n. \quad (1)$$

Для виявлення порога спрацьовування оброблюються статистичні характеристики різницевого каналу, що підпорядковуються законам розподілу Гауса. Поріг хибного спрацьовування необхідно встановлювати при рівні сигналу  $U_n \leq 10^{-3}$  в ситуації спокою. Розрахунки представлені на рис. 4.

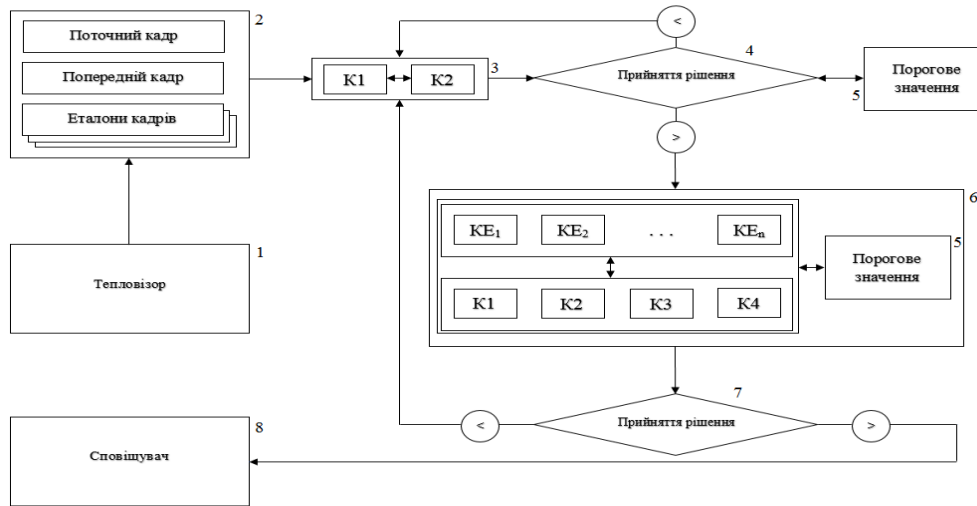


Рисунок 2. Принцип роботи приладу на базі розробленого алгоритму

За допомогою тепловізора FLIR C2 були отримані кадри, колірне відображення яких надалі перетворено в числові масиви для обробки.

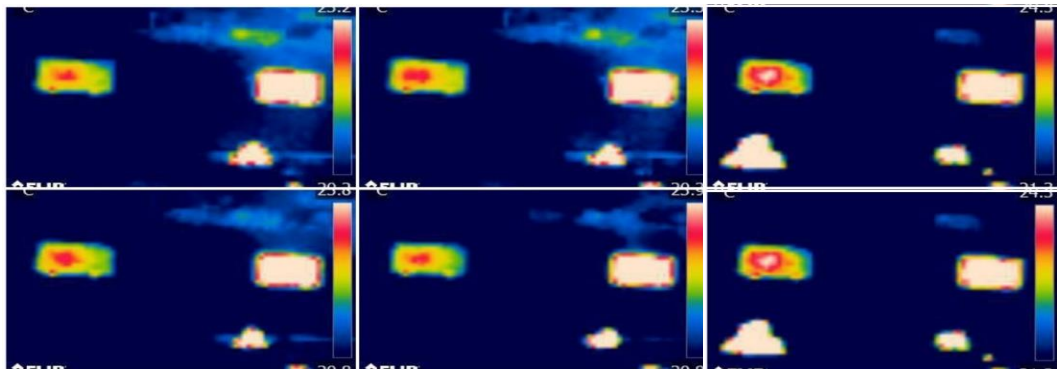


Рисунок 3. Отримані зображення в ході експерименту

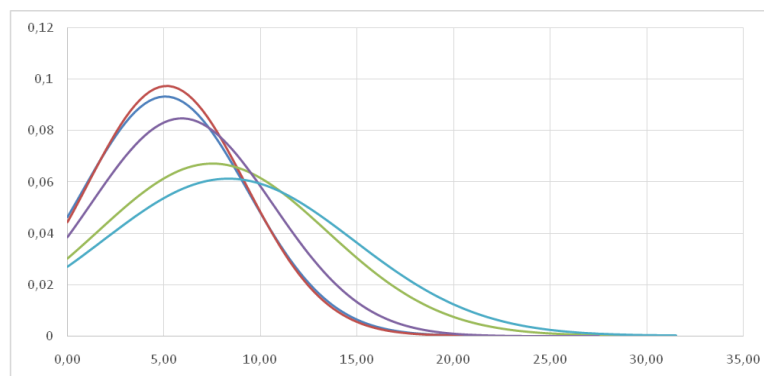


Рисунок 4. Співвідношення з сигналів спокою, помилкового сигналу, та сигналу тривоги

## ВИСНОВКИ

Запропонований алгоритм дозволив фіксувати розподіл температур об'єктів. У разі змін характеристик сцени, формувати необхідний сигнал

наступним чином. В разі невідповідності кадрів, які обробляються, алгоритм запускає порівняння кадрів з шаблонами, після чого в разі розбіжності сигналу кадру що поступає з тепловізійної системи та сигналу який встановлено відповідно шаблону формувати сигнал вмикання тривоги.

Запропонована тепловізійна система завдяки розробленому методу забезпечує безконтактний спосіб виявлення змін положення чи зникнення окремих об'єктів з обраними характеристиками виявлення.

Головними перевагами наведеного методу розпізнавання є його відносно проста реалізація, можливість використовувати просторові сигнали, представлені у вигляді цифрових матриць.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В. Г. Колобродов, та М. І. Лихоліт, Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2007.
- [2] В. В. Тарасов, И. П. Торшина, и Ю. Г. Якушенков, Современные проблемы оптоэлектроники. Москва, Россия: МИИГАиК, 2014.
- [3] В. А. Балоев, С. С. Мишанин, В. А. Овсянников, В. Л. Филипов, С. Е. Якубсон, и В. С. Яцык «Анализ путей повышения эффективности наземных оптико-электронных комплексов наблюдения», Оптический журнал, т. 79, № 3, С. 22-32, 2012.
- [4] В. С. Титов, и М. И. Труфанов, «Направления развития методов, алгоритмов и аппаратных средств повышения качества изображений оптико-электронных систем», Изв. Вузов. Приборостроение, т. 56, № 6 (140), с. 7-1, 2013.
- [5] Г. М. Мосягин, В. Б. Немтинов, и Е. Н. Лебедев, Теория оптико-электронных систем. Москва: Машиностроение, 1990.
- [6] Никитин Р.В. Метод и алгоритмы стилизации изображения в системах охранного телевидения/ Р.В. Никитин // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Радиоэлектроника. – 2006. — Вып. 5 – С.42-48
- [7] Бараночников М. Л. Приемники и детекторы излучений. Справочник. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 640 с., табл. 415, ил. 1326.
- [8] Т.О. Стрілкова, «Розвиток стохастико-детермінованої теорії прийому та обробки сигналів в оптико-електронних системах», дис. докт.техн.наук, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2017.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Стрілкова Т.О.*

УДК 681.7.013.8

Б. В. Киричук, студент гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Кучеренко О. К.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЧИСЛОВІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ

**Анотація.** В наведеній статті розглянуто числові критерії, за допомогою яких характеризується якість оптичного зображення. Авторами проаналізовано всі відомі типи критеріїв, які можуть використовуватись для оцінки якості зображення та надані рекомендації що до їх застосування.

**Ключові слова:** якість зображення, критерій, оптичне зображення.

### ВСТУП

Практика оцінок оптичних систем в умовах їх серійного виробництва показує, що характеризувати якість зображення функціональними залежностями недостатньо інформативно. Потрібно охарактеризувати якість зображення чисельно. Такі числа, називаються числовим критерієм якості зображення, і отримують їх при аналізі обраної функціональної характеристики якості зображення, або безпосередньо з самого зображення обраного тест-об'єкта [1].

### ГОЛОВНІ ЧИСЛОВІ КРИТЕРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ СТВОРЕНОГО ОПТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Один із перших критеріїв в історії – це критерій Релея. Він був розроблений з появою перших телескопів і мікроскопів. Лінійна роздільна здатність вимірюється як мінімальна відстань між двома точками об'єкта, при якій їх видно окремо через оптичний прилад [1]. Цей критерій показує здатність приладу зображувати два близько розташованих точкових предмета і дорівнює мінімальній відстані між ними, при якій зображення двох точок відрізняється від зображення однієї точки.

Правило Релея потребує, щоб центральний максимум в зображенні однієї точки припадав на перший мінімум в зображенні іншої, що для без абераційних оптичних систем (ОС) це відповідає лінійній відстані між зображеннями сусідніх точок

$$R = \frac{1,22\lambda f'}{D}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $f'$  і  $D$  – відповідно фокусна відстань і діаметр вхідної зіниці об'єктива [1].

Роздільна здатність по Релею задовільно характеризує якість зображення астрономічних телескопів, спектральних приладів, для яких предметами є близько розташовані точки або лінії.

Роздільна здатність по Фуко застосовується для оцінки якості зображення фото-, теле-, і кінооб'єктивів, що передають об'єкти складної структури. Роздільна здатність  $R$  знаходиться як максимальна просторова частота періодичного тест-об'єкту, що складається з чорно-білих штрихів (міри Фуко), в зображенні якого ще видні штрихи, і виражається в лініях на міліметр або кутових хвилинах, в залежності від типу предмету і зображення.

При відсутності аберацій для некогерентного випромінювача роздільна здатність  $R$  дорівнює [2] [2]:



$$R_0 = \frac{2A}{\lambda}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $A$  – числова апертура світлового пучка.

Недоліком цього критерію є мала коректність, тобто мала стійкість до дій невеликих змін впливових факторів і не висока кореляція з істинною якістю зображення, що визначається по тій задачі, для якої будується зображення.

Більш інформативним критерієм якості зображення для вказаних об'єктів є граничний градієнт  $G_{\max}$  – тангенс кута  $\alpha_{\max}$  нахилу дотичної в центральній точці граничної кривої до осі абсцис, що характеризує різкість зображення [3]:

$$G_{\max} = \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \frac{\Delta E}{\Delta x'}, \quad (3)$$

де  $\Delta E$  – приріст освітленості оптичного зображення граничного тесту,  $\Delta x'$  – інтервали на осі абсцис.

Критерій перепаду  $p$ , що враховує перепад максимальної і мінімальної освітленості, характеризує різкість і контраст зображення [3]:

$$p = (E_{\max} - E_{\min}) G_{\max}, \quad (4)$$

де  $E_{\max}$  і  $E_{\min}$  – максимальна і відповідно мінімальна освітленості.

Число Штреля  $S$  (визначальна яскравість або чіткість по Штрелю) може бути отримано при аналізі функції розсіювання крапки (ФРК) досліджуваного об'єкта. Відношення значень ФРК в її максимуму для даного і ідеального (безабераційного) об'єкта дає значення числа Штреля [2]:

$$S = \frac{A(w \neq 0)}{A(w = 0)}, \quad (5)$$

де  $A$  – освітленість,  $w$  – параметр, що характеризує значення хвильової аберації.

Встановлено, що оптична система є високоякісною, якщо  $S \geq 0,8$ .

Число Штреля на основі оптичної передавальної функції (ОПФ) може бути отримано з виразу :

$$S = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{A}(v'_x, v'_y) dv'_x dv'_y}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{A}_0(v'_x, v'_y) dv'_x dv'_y}, \quad (6)$$

Де  $\tilde{A}_0(v_x, v_y)$  – ОПФ безабераційної оптичної системи;  $\tilde{A}(v_x, v_y)$  – ОПФ реальної оптичної системи.

Деяким узагальненням числа Штреля можна вважати критерій Саянагі, що враховує модуляційну передавальну функцію (МПФ) оптичної системи  $|D(v)|$  і приймача зображення  $|DR(v)|$  [3] [2]:

$$S = \frac{\iint |D(v) D_R(v)| dv'}{\iint D_R(v) dv'}, \quad (7)$$

де  $|D(v)|$  – МПФ оптичної системи,  $|DR(v)|$  – МПФ приймача зображення

Якщо прилад використовується як канал зв'язку, то можливо застосувати для оцінки якості зображення питому інформаційну пропускну спроможність,



що показує максимальну кількість інформації в бітах, яку може мати одиниця площі зображення. Ця величина знаходиться за формулою [2]:

$$H_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \int \log_9 \left[ 1 + \frac{D(v')}{\Delta k'(v')} \right] dv', \quad (8)$$

де  $\Delta k'(v')$  – поріг відмінності контрасту приймачем зображення,  $D(v')$  – МПФ оптичної системи.

Лінфут запропонував оцінювати якість зображення з врахуванням властивостей предмета за допомогою трьох критеріїв: структурним вмістом  $T$ , ступенем **кореляції**  $Q$  і правильністю  $F$ , які дорівнюють [2]:

$$T = \frac{\overline{I'^2(x')}}{I^2(x)} = \frac{\iint |D(v)|^2 \Phi(v) dv}{\iint \Phi(v) dv}; \quad (9)$$

$$Q = \frac{\overline{I'(x)I(x)}}{I^2(x)} = \frac{\iint D(v)\Phi(v) dv}{\iint \Phi(v) dv}; \quad (10)$$

$$F = 2Q - 1, \quad (11)$$

де риска зверху позначає усереднення по площі предмету або по ансамблю предметів,  $I(x)$  – комплексна амплітуда поля на поверхні предмета,  $\Gamma(x)$  – комплексна амплітуда поля на зображенні,  $\Phi(v)$  – спектр Вінера предмета,  $D(v)$  – МПФ оптичної системи.

Лінфут запропонував також відносні критерії  $t = T/T_0$ ,  $q = Q/Q_0$ ,  $f = F/F_0$   $f = F / F_0$ , де  $T_0$ ,  $Q_0$ ,  $F_0$  відповідають деякому «еталонному» приладу. [2]

Статистичні критерії отримують на основі дослідження якості вирішення задачі, для якої формується зображення, з урахуванням похибок аналізу зображення, що визвано шумами приймача. В статичній теорії шум вважають адитивним, гауссовим і білим. Таким чином, зображення, яке спостерігається, представляється в вигляді [2]:

$$I'(x') = \int_{-\infty}^{\infty} \int I(x)h(x' - x)dx + n(x'), \quad (12)$$

де  $n(x')$ - випадкова функція, що описує шум,  $h(x'-x)$  – функція розсіювання крапки.

Передбачається, що відомі характеристики приладу, ФРК  $h(x')$  або ОПФ  $D(v)$ , а також деякі апріорні відомості про об'єкт. В так званих параметричних задачах або задачах матеріальних приладів вважають, що вхідний сигнал відомий з точністю до одного або декількох параметрів  $I = I(x, a)$ , де  $a$  – невідомий параметр. В цьому випадку якість зображення оцінюється по дисперсії оцінки  $a$  вимірюваного параметра, отриманій із аналізу зашумленого зображення. В задачах розрізнення гіпотез вважається, що вхідний сигнал відомий з точністю до вибору із двох альтернативних функцій  $I_0(x)$  і  $I_1(x)$ .

Якість зображення оцінюється по випадковості помилки в розрізненні цих сигналів по зашумленому зображенню. В обох випадках якість зображення оцінюють статичною роздільною здатністю [2]:

$$R_s = \int_{-\infty}^{\infty} \int T(\nu) |D(\nu)|^2 d\nu, \quad (13)$$

де  $T(\nu)$  – функція задачі,  $D(\nu)$  – МПФ оптичної системи.

Для параметричних задач та задач з гіпотезою :

$$\Phi(\nu) = \begin{cases} S^{-1}(\nu) \left| \frac{\partial I(\nu)}{\partial a} \right|^2, \\ S^{-1}(\nu) |I_0(\nu) - I_1(\nu)|^2 \end{cases}, \quad (14)$$

де  $S(\nu)$  – спектр шуму Вінера,  $I_0(\nu)$ ,  $I_1(\nu)$ ,  $I_2(\nu)$  – деякі альтернативні функції.

## ВИСНОВКИ

Підвищення якості зображення є основною вимогою при проектуванні оптичних систем. Для порівняльної оцінки якості зображення недостатньо визначити ФРК, ГК, ОПФ, МПФ оптичної системи. Для цієї мети слід скористатися числовими критеріями отриманими на основі знань зазначених функціональних залежностей. Вибір тих чи інших числових критеріїв розглянутих в статті залежить від призначення досліджуваної оптичної системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кирилловский В.К. Методы исследования и контроля качества оптических систем: учебное пособие / В.К. Кирилловский, Т.В. Точилина. — СПб: НИУ ИТМО, 2012. — 125 с.
- [2] Вычислительная оптика: справочник / под ред. М.М. Русинова., А.П. Грамматина — 2-е изд. — Л.: Машиностроение, 2008 — 423 с.
- [3] Креопалова Г.В. Оптические измерения: учебник для вузов / Г.В. Креопалова, Н.Л. Лазарева, Д.Т. Пуряев. — М.: Машиностроение, 1987 — 264 с.
- [4] Максудов Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики : учебное пособие / Д.Д. Максудов — 2-е изд. — М.: Наука, 1984 — 272 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Кучеренко О. К.*

УДК 621.384

Ландік Б. В., студент гр. ПО-82мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДВОКАНАЛЬНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

**Анотація.** Розглянуто принципи побудови двоканальних оптико-електронних багатофункціональних систем, що працюють в різних діапазонах спектру. Обговорюються загальні вимоги до двоканальних оптико-електронних систем та сфери їх використання.

**Ключові слова:** оптико-електронні системи, мультиспектральні системи, оптико-електронні системи спостереження.

### ВСТУП

Потреба збройних сил в сучасних оптико-електронних засобах розвідки і спостереження висока і особливо гостро вона відчувається в приладах, що дозволяють вести розвідку як вдень, так і вночі. Найбільш ефективні для ведення цілодобової розвідки є оптико-електронні системи з декількома спектральними каналами. Як правило, основним елементом таких пристроїв є оптико-електронна система видимого діапазону, а допоміжним – тепловізійна, поляриметрична, лазерно локаційна система тощо [1]. Інформація, що отримується в кожному діапазоні, взаємно доповнює інформацію, яка надходить з іншого діапазону. Це дозволяє, в кінцевому підсумку, підвищити об'єктивність вихідної інформації. В приладах спостереження таким чином підвищується якість дешифрування візуальної картини, що пред'являється спостерігачеві для аналізу [2,3].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В даній роботі на прикладі типових вхідних блоків двоканальних оптико-електронних систем (ДК ОЕС) вирішується задача вибору найкращого схемотехнічного рішення вхідної оптичної системи для встановлення на бронетанкову техніку.

### ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

Розглянемо ДК ОЕС, які працюють в різних спектральних діапазонах та об'єднаних за конструктивним принципом. Ці канали мають одне спільне вхідне вікно або декілька вхідних вікон відповідно їх спектральним областям. При цьому кожен канал може працювати самостійно, використовуючи свої принципові можливості. Інформація виводиться на окремі індикатори (дисплеї) відповідно до кожного каналу або на єдиному дисплеї, забезпечений перемикачем каналів. ДК ОЕС може бути змонтована в декількох корпусах, але встановлюється на єдиному носії [4,5].

Загальні вимоги до ДК ОЕС зводяться до наступного:

- забезпечення підвищеної дальності виявлення і розпізнавання об'єктів. Однак ця вимога невіддільна від іншої - забезпечення кута поля зору, прийнятого для ефективного пошуку і виявлення об'єктів. Оскільки ці вимоги суперечать одна одній, ДК ОЕС повинен складатися з каналу пошуку і виявлення з широким кутом поля зору і з порівняльно

вузькосмугового каналу розпізнавання. На проміжних дальностях дії не виключені і змішані функції каналів;

- всепогодність і цілодобовість роботи. Вимога всепогодності зводиться до забезпечення необхідної ймовірності орієнтування, виявлення і розпізнавання об'єктів в усій сукупності зовнішніх умов. Ця ймовірність характеризується ймовірнісними характеристиками окремих каналів ДК ОЕС. Вимога цілодобовості зводиться до наявності каналів які допускають роботу ДК ОЕС як вдень так і вночі;
- можливість роботи в умовах впливу світлових і пиледимових перешкод;
- адаптивність тобто здатність ДК ОЕС змінювати режими роботи каналів, фокусування оптичних систем, регулювання яскравості, посилення, кольоровості та контрасті;
- наявність автоматизованої системи контролю режимів роботи і вивірки взаємного положення оптичних осей, масштабів зображення і кутів полів зору окремих каналів, а також компенсація якості зображення в разі виникнення перешкод різного роду;
- модульний принцип побудови. Монтаж взаємозамінних модулів повинен бути реалізований за допомогою оптичних, механічних, оптико електронних і електричних адаптерів, що дозволяє гнучку перебудову системи стосовно її нового функціонального призначення.

Незважаючи на різноманітність вирішуваних завдань і можливих схемних варіантів виконання, основні концепції проектування ДК ОЕС можна звести до наступного:

- канали повинні бути підібрані відповідно до їхнього фізичного принципу побудови таким чином, щоб недоліки одного каналу компенсувалися перевагами іншого;
- схема побудови ДК ОЕС повинна допускати автономну роботу окремих каналів;
- процес формування зображення повинен здійснюватися в реальному часі;
- окремі канали не повинні створювати один одному оптичних, електричних, електромагнітних або механічних перешкод, а також взаємних конструктивних незручностей;
- в інтересах забезпечення високої якості зображення вхідні оптика різнорідних по області спектра каналів повинна бути по можливості роздільною і мати, якщо це можливо, мінімальні габарити. Якщо це неможливо, то багатоспектральна оптична система, загальна для цих каналів, не повинна знижувати якість зображення до рівня, при якому не виконуються технічні вимоги до ДК ОЕС;
- необхідно ретельне узгодження оптичних осей, кутів полів зору і збільшень окремих каналів.

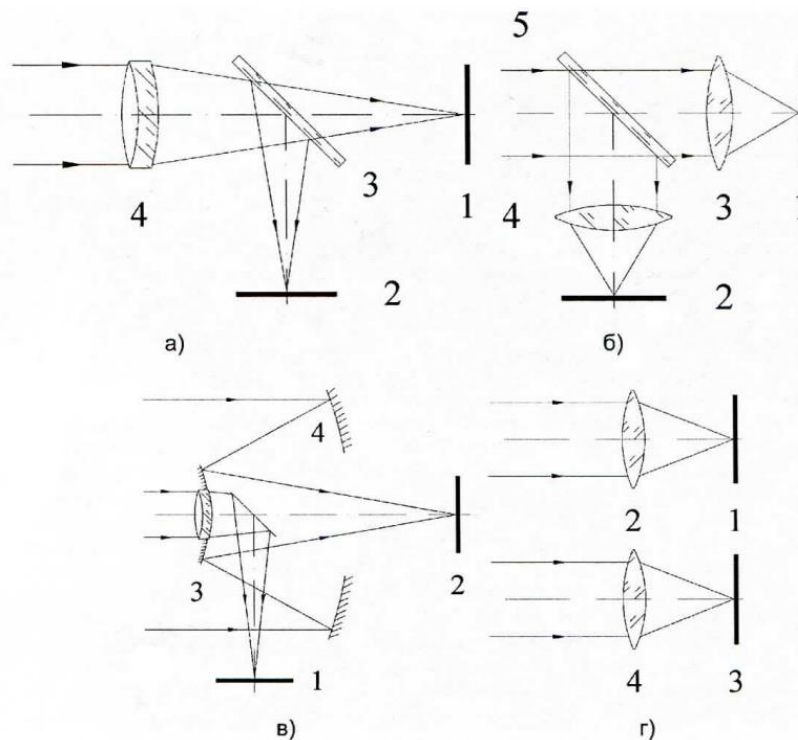


Рис. 1. Типові схеми вхідних блоків ДК ОЕС [6]

а): 1,2 – площини каналів приймачів випромінювання (ПВ); 3 – дихроїчне дзеркало; 4 – широкоспектральний об'єктив; б): 1,2 – площини каналів ПВ; 3,4 – вузькоспектральні об'єктиви каналів; 5 – дихроїчне дзеркало; в): 1,2 – площини каналів ПВ; 3,4 – з'єднаний двоспектральний об'єктив; г): 1,3 – площини каналів ПВ; 2,4 – вузькоспектральні об'єктиви каналів.

Відмінності між варіантами ДК ОЕС визначаються конкретними вимогами їх призначення. Вимоги в кінцевому підсумку визначають склад приймачів випромінювання, кути їх полів зору, вимоги по чутливості.

## ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ ДК ОЕС

Величезне різноманіття вирішуваних з допомогою ДК ОЕС прикладних і наукових завдань нереально в повній мірі оцінити в журнальній статті. Тому розглянемо тільки основні галузі, в яких ці системи використовуються широко [1].

До таких галузей відносяться:

1. Дистанційне зондування Землі з космосу та з повітря;
2. Спостереження в військових цілях;
3. Спостереження для охорони територій;
4. Дистанційна діагностика стану будівель, енергетичного обладнання тощо;
5. Медична функціональна діагностика і контроль;
6. Спостереження позаземних об'єктів.

В ДК ОЕС військового призначення для бронетанкової техніки важливою вимогою є мінімальний розмір вхідної зіниці об'єктива [7]. Такій вимозі відповідають схемотехнічні рішення, що зображено на рис. 1а, 1б. На цих схемах вхідних блоків ДК ОЕС використовується один об'єктив з найменшими,

порівняно з іншими, вхідними зіницями. Але в умовах військових дій найдоцільнішим буде рішення представлене на рис. 1а. Основною перевагою схеми є менше він'єтування похилих пучків променів, що є особливо важливим за необхідності зменшення діаметрів вхідних зіниць.

## ВИСНОВКИ

Двоспектральні системи, які об'єднали переваги декількох спектральних діапазонів, дозволять бачити в повній темряві, при яскравому освітленні, виділяти теплоконтрастні об'єкти, спостерігати крізь віконне скло вдень і вночі, перемикаючись на необхідну частину спектру. При цьому синтез картинки, що надходить з різних сенсорів, відкриває унікальні можливості в спостереженні. В ДК ОЕС призначених для бронетанкової техніки доцільно обирати оптичні схеми з одним вхідним об'єктивом. Подальші дослідження будуть направлені на обґрунтування оптичної схеми ДК ОЕС з одним об'єктивом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Микитенко В. І. Багатоканальні іконічні системи дистанційного моніторингу / В. І. Микитенко, В. Й. Котовський, Г. В. Богатирьова. // Вісті академії інженерних наук України. – 2007. – №2. – С. 21–26.
- [2] Виртуальные испытания систем технического зрения / Е. В. Грицкевич, Д. А. Скворцов, П. О. Гептнер, О. Ю. Проценко. // Весник СГУГиТ. – 2012. – С. 114–121.
- [3] Колобродов В. Г. Комплексування інформації в багатоканальних оптико-електронних системах спостереження / В. Г. Колобродов, В. І. Микитенко. – Київ: Поліграфічний центр «Аверс», 2013. – 178 с.
- [4] Оптические приборы наблюдения, обработки и распознавания объектов в сложных условиях / [Б. С. Алешин, А. В. Бондаренко, В. Г. Волков та ін.], 1999. – 139 с.
- [5] Медведев А. Мультиспектральные системы различного назначения / А. Медведев, А. Гринкевич, С. Князева. // ФОТОНІКА. – 2015. – №5. – С. 68–81.
- [6] Котовський В. Й. Комплексування зображень в багатоканальних оптико-електронних системах з різноформатними матричними приймачами випромінювання / В. Й. Котовський, В. І. Микитенко. // Вісті академії інженерних наук України. – 2008. – №3. – С. 38–44.
- [7] Попов Г. Н. Концепция построения оптико-электронных приборов наблюдения универсального назначения / Г. Н. Попов, Н. Н. Мордвин. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – №6. – С. 34–39.

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

УДК 53.082.56

*В.К. Литвин, м.н.с.; А.М. Лопатинський, к.ф.-м.н., с.н.с.;*

*В.І. Чегель, д.ф.-м.н., пров.н.с.*

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

## **КОМПАКТНИЙ ФЛЮОРИМЕТР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАЗМОН-РЕГУЛЬОВАНОЇ ФЛЮОРЕСЦЕНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МАСИВІВ ВИСОКОПРОВІДНИХ НАНОСТРУКТУР**

**Анотація.** В роботі представлено метод флюориметрії з використанням явища локалізованого поверхневого плазмонного резонансу в масивах неупорядкованих наноструктур золота та срібла. Для апробації такого методу проведено дослідження флюоресцентних властивостей системи «наноструктури-діелектричне покриття-модельний барвник» з використанням розробленого в рамках роботи компактного лазерного флюориметра.

**Ключові слова:** флюориметр, локалізований поверхневий плазмонний резонанс, наночипи.

### **ВСТУП**

На сьогодні, число робіт, пов'язаних з вивченням явища флюоресценції – одного з найбільш тонких і складних оптичних явищ, невпинно зростає. Флюоресценція знайшла широке практичне застосування в біології та медицині. Так, реєстрація флюоресцентного випромінювання використовується для якісного та кількісного аналізів, вивчення будови та функцій біологічних систем. Проте, необхідний подальший розвиток методів та засобів для дослідження флюоресценції, направлений як на розробку потужніших універсальних інструментів так і на розробку економічних спеціалізованих аналізаторів. Особливої актуальності набуло використання наночастинок високопровідних металів як підсилювачів флюоресценції органічних барвників [1]. Для підсилення сигналу найчастіше використовуються наночастинки, в яких виникає явище локалізованого поверхневого плазмонного резонансу (ЛППР) – золото, срібло [2]. Таке підсилення дозволяє отримати сигнал флюоресценції на порядки вищий, що є важливою характеристикою чутливості флюоресцентного методу.

### **1. ОПИС ПРОТОТИПУ ФЛЮОРИМЕТРА**

З врахуванням останніх тенденцій до використання високопровідних наноматеріалів в якості регуляторів сигналу флюоресценції, було вирішено створити прилад, який би дозволяв роботу з наночипами, тобто масивами високопровідних наноструктур на прозорій підкладинці. Використання сенсорного наночипа в біосенсорних та флюоресцентних дослідженнях має свої переваги перед вимірами з використанням класичних рідинних кювет, такі як здешевлення вимірів за рахунок використання меншої кількості флюоресцентного барвника та підвищення чутливості вимірів за рахунок підсилення сигналу високопровідними наночастинами. Результатом вирішення поставлених задач стало виготовлення прототипу портативного флюориметра. Його характеристики вказано в Таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики розробленого флюориметра

Тип джерела опромінення	Лінійка світлодіодів (360, 465, 525, 635 нм) лінійка лазерів (405, 532, 660 нм), білий світлодіод-опціонально
Тип детектора	ПЗС-матриця
Діапазон реєстрації флюоресценції	350-900 нм
Наявність монохроматора	ні
Мінімальний крок реєстрації флюоресценції	0.5 нм
Поріг детектування модельного барвника (Родамін 6Ж)	1 нмоль/л
Мін. час одного вимірювання	5 сек
Можливість використання планарних чутливих елементів (наночипів)	так
Автосамплер (автоматична подача проби)	ні
Напруга живлення	12 В
Вага	2 кг

Основними вузлами приладу є: джерела опромінення (набір світлодіодів – ультрафіолетовий, синій та зелений; блок напівпровідникових лазерів – фіолетовий, зелений, червоний), портативний реєстратор спектрів (спектрометр на дифракційній ґратці), тримач зразків, робоча кювета з прозорого матеріалу, сенсорний чип (встановлений в робочій кюветі), електронний блок керування джерелами опромінення (лазерами, світлодіодами). На рис. 1 приведено фото прототипу портативного флюориметра Fluorotest-Nano.



Рисунок 1. Прототип приладу Fluorotest-Nano.

Прилад дозволяє проводити дослідження як рідких, так і твердих (наприклад, тонкі плівки) зразків.

## 2. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ

У якості плазмон-генеруючих елементів використовувались неупорядковані масиви наноструктур та срібла з діелектричним покриттям ( $\text{SiO}_2$ ) різної



товщини, розташовані на поверхні скляної підкладки. Наноструктури золота були виготовлені шляхом термічного відпалу (450 °С, 2 год.) острівцевих плівок золота з масовою товщиною 12 нм. Наноструктури срібла були виготовлені шляхом термічного відпалу (250 °С, 1 год.) острівцевих плівок срібла з масовою товщиною 8 нм. Досліджувались зразки з товщиною роздільного шару діелектрику близько 10, 15, 20 та 25 нм, на кожний з яких був нанесений шар полімерного композиту, що складався з водного розчину барвника родаміну 6Ж (Р6Ж) та поліакрилової кислоти. Концентрація Р6Ж в полімерній матриці дорівнювала  $10^{-5}$  моль/л.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТ

За допомогою прототипу флюориметра проведені експериментальні дослідження по визначенню рівня сигналу флюоресценції органічного барвника Р6Ж в полімерній матриці поблизу наноструктур золота та срібла в залежності від відстані молекул флюорофора до наночастинок.

Наноструктури золота (Au НС) та срібла (Ag НС) з різною товщиною діелектричного покриття опромінювалися лазером з довжиною хвилі 532 нм та вимірювалися спектри флюоресценції Р6Ж. Результати вимірювань показали (рис. 2, а), що для всіх зразків спостерігалось підсилення сигналу флюоресценції барвника поблизу наночастинок золота в порівнянні з сигналом, отриманим на подібних зразках без наночастинок. Максимальне підсилення сигналу флюоресценції (~22 рази) було отримане для зразків з ефективною товщиною шару діелектрику близько 20 нм, а залежність інтенсивності флюоресцентного сигналу від товщини діелектрику мала нелінійний характер (рис. 2, б).

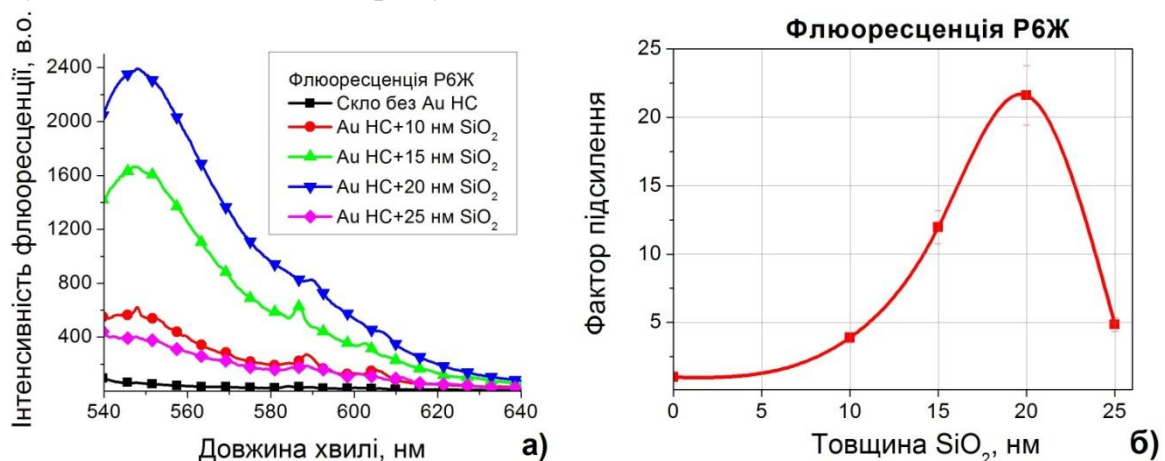


Рисунок 2. Спектральні залежності інтенсивності флюоресценції барвника Р6Ж для різних товщин діелектричного покриття SiO<sub>2</sub> на наноструктурах золота (а) та залежність фактору підсилення флюоресценції від товщини діелектричного покриття (б).

Результати вимірювань флюоресценції у випадку наноструктур срібла показали, що для всіх зразків (крім зразка з товщиною діелектрика 25 нм) спостерігалось підсилення сигналу флюоресценції барвника поблизу наночастинок срібла в порівнянні з сигналом, отриманим на подібних зразках без наночастинок (рис. 3, а). Максимальне підсилення сигналу флюоресценції (~2 рази) було отримане для зразків з ефективною товщиною шару діелектрику

близько 10 нм, а залежність інтенсивності флюоресцентного сигналу від товщини діелектрику мала характер, приведений на рис. 3, б.

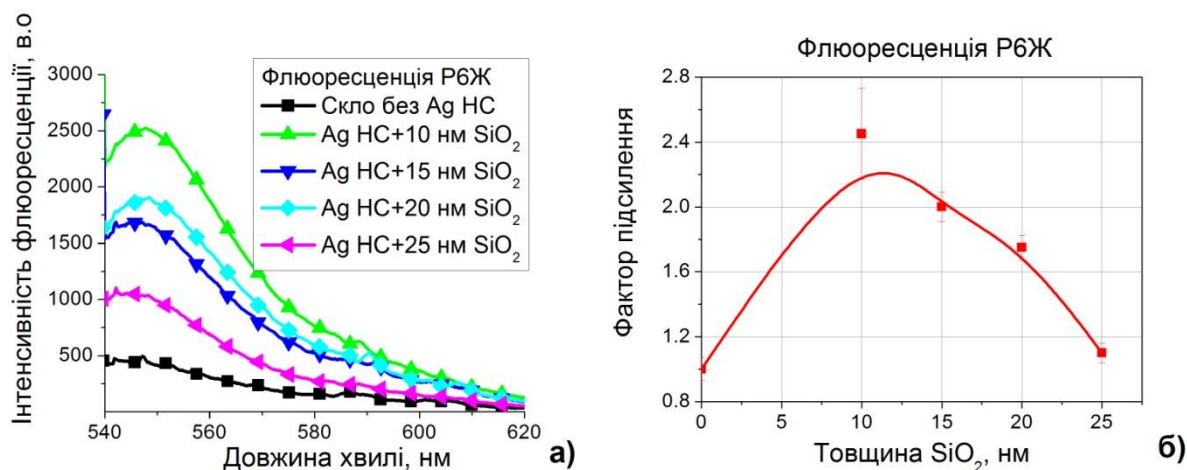


Рисунок 3. Спектральні залежності інтенсивності флюоресценції барвника Р6Ж для різних товщин діелектричного покриття SiO<sub>2</sub> на наноструктурах срібла (а) та залежність фактору підсилення флюоресценції від товщини діелектричного покриття (б).

#### 4. ВИСНОВКИ

Спроековано та виготовлено прототип компактного флюориметра з можливістю регулювання сигналу флюоресценції. За результатами розробки отримано патент України на корисну модель [3]. Розроблений прилад та методика забезпечують швидкі (впродовж 5-10 хв.) та високочутливі флюоресцентні вимірювання. Прилад може бути використаний як для якісного біохімічного аналізу, так і в навчальних цілях, в університетських та дослідницьких лабораторіях.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Iosin M. Plasmon-enhanced fluorescence of dye molecules / M. Iosin, P. Baldeck, S. Astilean // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. – 2009. – Vol. 267. – P. 403-405.
- [2] Климов В.В. Наноплазмоника / В.В. Климов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 480 с.
- [3] Патент 75984 UA, МПК G01N 21/00, G01N 21/64 (2006.01). Оптоелектронний біосенсор-флюориметр / Чегель В. І., Демченко О. П., Назаренко В. І., Литвин В. К., Лопатинський А. М., Кукла О. Л., Павлюченко О. С.; заявник Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України. – № u 201204938; заявл. 19.04.2012; опубл. 25.12.2012, бюл. № 24, 2012 р.

*Наук. керівник – д.ф.-м.н., пров.н.с. Чегель В.І.*

УДК 681.785

В.П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Балінський Є. Г.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОПТИЧНИЙ ТРАНСПАРАНТ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

**Анотація.** В наведеній статті розглянуто експериментальну схему цифрового оптичного спектроаналізатора, який використовується для обробки інформації. Особлива увага приділена компоненту керування хвильовим фронтом. Авторами проаналізовано основні типи приладів, які можуть використовуватись як компоненти керування хвильовим фронтом.

**Ключові слова:** цифровий оптичний спектроаналізатор, просторовий модулятор світла, просторовий спектр.

### ВСТУП

Напрямок фотоніки вважається одним із найперспективніших на сьогоднішні, оскільки у світі, де інформаційні технології є переважаючими, головним пріоритетом розвитку основних систем є швидкість передачі даних та обробка сигналу. Саме завдяки фотоніці з'являється можливість перейти межі швидкості руху електронів, що встановлені електричними системами передачі та обробки інформації, і робити ці операції зі швидкістю світла та використовувати тривимірні масиви даних. Для виконання поставленої задачі поки що ведуться лише розробки, описані в працях Бабашаха і Белова [1, 2]. Як зазначалось раніше в [3], поки що такі оптичні системи обробки і передачі інформації використовуються лише експериментально, доцільно використовувати поєднання цифрових і оптичних методів обробки інформації. В якості такого поєднання можна використати цифровий оптичний спектроаналізатор.

### ПРИНЦИП РОБОТИ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Пристрій когерентного оптичного спектроаналізатора є одним з найпростіших систем обробки інформації. Вхідні сигнали в такому пристрої перетворюються в просторовий спектр частот за допомогою Фур'є-об'єктива. Вхідний сигнал можна отримати наступним чином: на модулятор світла

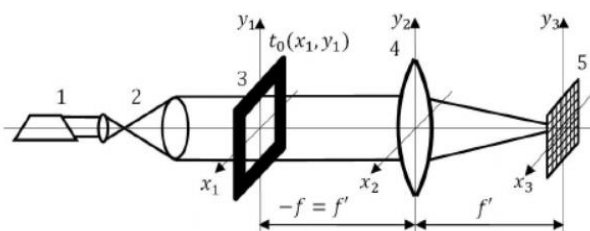


Рисунок 1. Схема типового когерентного оптичного спектроаналізатора [4]: 1 – лазер, 2 – колімуюча система, 3 – оптичний транспарант, 4 – Фур'є-об'єктив, 5 – приймач випромінювання

(оптичний транспарант), який знаходиться в передній фокальній площині Фур'є-об'єктива, подається інформація у вигляді функції коефіцієнта пропускання і направляється когерентний пучок променів, що виходить з лазерної системи. Оскільки лазерний пучок є вузькоколімованим, для повного заповнення транспаранту лазерними променями з'являється необхідність в використанні розширювача пучка.

Розширювач пучка має задовольняти основну вимогу – зменшувати кут розбіжності лазерного пучка. Задля цього можна використати двокомпонентну афокальну систему типу Галілея.

Після проходження оптичного модулятора було отримано необхідний двовимірний сигнал, який за допомогою Фур'є-об'єктива розкладається у спектр. Отримане зображення має вигляд сукупності точок різної інтенсивності. Використовуючи цифровий мікроскоп, який підключено до персонального комп'ютера (ПК), розкладений у спектр сигнал аналізується. Для цього на ПК встановлюється необхідне програмне забезпечення у відповідності до моделі цифрового мікроскопа.

## ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Узагальнена схема оптичного спектроаналізатора складається з когерентного джерела випромінювання, вхідного транспаранта, Фур'є-об'єктива і аналізатора світлового поля. Якщо транспарант розташований в передній фокальній площині Фур'є-об'єктива і висвітлюється плоскою хвилею з амплітудою (рис. 1), то розподіл амплітуди поля в площині аналізу описується виразом [4]:

$$V(x_3, y_3) = \frac{V_p}{j\lambda f} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t_0(x_1, y_1) \exp\left[-j\frac{2\pi}{\lambda f}(x_3x_1 + y_3y_1)\right] dx_1 dy_1 \quad (1)$$

де  $t_0(x_1, y_1)$  – функція амплітудного коефіцієнта пропускання транспаранта;  $f$  – фокусна відстань об'єктива.

Аналіз виразу (1) показує, що комплексна амплітуда світлового поля в задній фокальній площині Фур'є-об'єктива з точністю до постійного множника  $V_p/j\lambda f$  представляє собою просторовий спектр від амплітудного коефіцієнта пропускання  $t_0(x_1, y_1)$  транспаранта з просторовими частотами:

$$v_x = \frac{x_3}{\lambda f}; \quad v_y = \frac{y_3}{\lambda f} \quad (2)$$

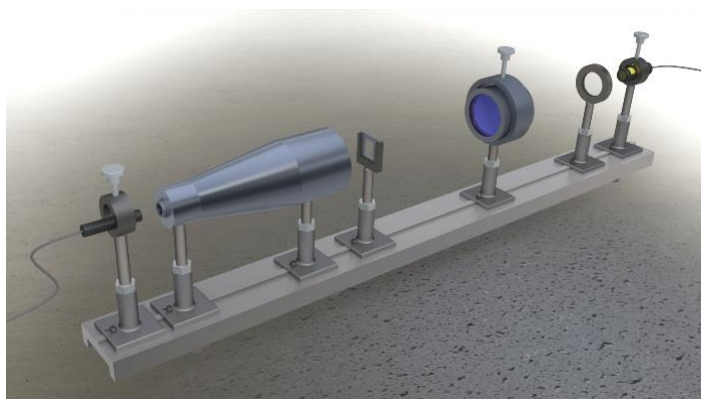


Рисунок 2. Схема цифрового оптичного спектроаналізатора

Основною проблемою у створенні таких пристроїв наразі є не так оптична складова приладу, як пристрої введення сигналу в систему, які мають у них знаходитися. Найпростішими такими пристроями були такі модулятори світла, як щілина або дифракційна решітка, проте при використанні їх на виході з системи отримується однотипне зображення, а основною метою

пристроїв передачі і обробки інформації є швидка зміна сигналу, який має передаватися. Саме тому виникає необхідність у дослідженні приладів, які можуть використовуватися в якості оптичних транспарантів.

## **РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ТРАНСПАРАНТІВ**

Реалізації в реальному часі мають вирішальне значення для практичного застосування оптичної обробки інформації, а ключовою технологією пристрою оптичного транспаранта є просторовий модулятор світла (SLM), який вводить шаблони сигналів або зображень у вигляді відповідних шаблонів амплітуди або фазової модуляції світла через лазерний пучок. Двома важливими класифікаціями SML є наступні:

- по методу адресації (електричний або оптичний);
- по типу модуляції (фази і/або амплітуди).

Системи обробки інформації потребують SLM як на вхідній площині, так і на площині Фур'є, за винятком випадків, зазначених вище в [5], і вимоги розрізняються залежно від застосування.

Перспективи використання оптичних спектроаналізаторів залежать від параметрів вхідного просторового модулятора світла (SLM). Перші експерименти, які продемонстрували можливості цих аналізаторів, були виконані із записом вхідного сигналу на фотоплівці, а не в масштабі реального часу. Пристрої з електронно-променевою записом також використовувалися, але ці системи були занадто громіздкими для практичного використання. В даний час комерційно доступні компактні рідкокристалічні (LC) матриці з вхідним растровим сигналом. Хоча ці пристрої не призначені для когерентного світла, деякі матриці мають достатню оптичну якість, що робить можливим їх використання в когерентних системах.

Для використання таких матриць необхідне підключення до персонального комп'ютера, використовуючи програмне забезпечення якого в контрольний пристрій LC матриці вводиться тестовий сигнал. Комерційні LC матриці, які можна зустріти на ринку, містять приблизно 10 мільйонів елементів і працюють зі швидкістю до 100 кадрів в секунду, що відповідає смузі пропускання в кілька сотень мегагерц. Динамічний діапазон спектроаналізатора з такою матрицею експериментально визначається як відношення потужностей мінімального вхідного гармонічного сигналу, що відповідає появі вихідного сигналу вище рівня шуму, і максимального сигналу на вході, що відповідає появі двочастотного виходу сигналу, пов'язаним з нелінійністю характеристики модуляції.

## **ВИСНОВКИ**

Фазові просторові модулятори світла є ключовими компонентами, які дозволяють керувати сигналом на вході цифрового оптичного спектроаналізатора. В якості найбільш вживаних розглянутих пристроїв зміни хвильового фронту використовують рідкокристалічні фазові просторові модулятори, які працюють на пропускання.

Результати експериментів [6] показали, що оптичний спектроаналізатор з комерційним пристроєм введення LC забезпечує високоякісні вихідні сигнали. Можна очікувати, що, використовуючи доступні комерційні матриці LC, які вбудовані в сучасні проекційні системи, можна створити компактні

високошвидкісні широкосмугові аналізатори складного спектру для обробки сигналів з високою роздільною здатністю і прийнятним динамічним діапазоном.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Babashah N. Temporal analog optical computing using an on-chip fully reconfigurable photonic signal processor / Babashah, N., Kavehvasht, Z., Khavasi, A., & Koohi, S. Optics & Laser Technology, 111, 2019, p. 66-74.
- [2] 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.
- [3] Налбандова В. П. Ефективність використання оптичних методів і систем обробки інформації/ В. П. Налбандова, В. Г. Колобродов // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні: збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 4-5 грудня 2018 р. – К: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – С. 68-70.
- [4] Колобродов В. Г. Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик, М. С. Колобродов . К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – С. 77.
- [5] V. Javidi. Single SLM joint transform correlator / V. Javidi, J. L. Horner. Appl. Opt. vol. 28, pp. 1027-1032, Mar. 1, 1989.
- [6] M. S. Kuzmin. A Folded-Spectrum Analyzer with a Liquid-Crystal Input Device / M. S. Kuzmin and S. A. Rogov. Technical Physics Letters, 2014, Vol. 40, No. 8, pp. 629—631.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Балінський Є. Г.*

УДК 621.384

Ю.М. Павлюк, студент гр. ПО-82мп., доц. Богатирьова Г.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНОСТІ ПАПЕРОВИХ ГРОШЕЙ

**Анотація** Розглянуто визначення платоспроможності паперових грошей, особливу увагу приділено питанню забрудненості купюр. Визначено ознаки старості і запропоновано критерії об'єктивної оцінки забрудненості за допомогою оцінки оптичної щільності купюри.

**Ключові слова:** гроші, оптична щільність.

### ВСТУП

Як відомо, **гроші** — особливий товар, що є загальною еквівалентною формою вартості інших товарів та послуг [1]. **Гроші виконують** функції мірила вартості та засобу обігу. Крім того, вони є засобами нагромадження та платежу. Казначейства різних країн самостійно встановлюють критерії, за якими оцінюється ступінь зношеності грошових символів. Ці критерії є обов'язковими до дотримання і заносяться в відповідний нормативний документ. Список ознак зношеності залежить від того, яким чином проводиться оцінка стану купюри. Так, в Україні оцінка зношеності проводиться спеціалістами візуально, тому ознаки якості розроблені таким чином, щоб працівник банку міг визначити платоспроможність купюри на око або за допомогою простих оптичних інструментів.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В даній роботі на прикладі типових приладів для визначення забрудненості купюр є задача об'єктивної оцінки забрудненості за допомогою оптичної щільності купюри.

### ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

Постанова Правління Національного банку України № 103 від 25.09.18 р. "Про затвердження Інструкції про ведення касових операцій банками в Україні" регламентує критерії оцінки якості сортування банкнот [2] (табл.1).

Таблиця 1. Критерії оцінки якості сортування банкнот

№ з/п	Захисні ознаки та ознаки пошкодження банкнот, що мають бути перевірені	Опис захисних ознак та ознак пошкодження банкнот	Вимоги до критеріїв якості сортування банкнот
1	Захисні ознаки, видимі в інфрачервоному діапазоні	Опис захисних ознак банкнот гривні наведений на сторінці офіційного Інтернет-представництва	Обов'язкова перевірка наявності таких захисних ознак: видимих в інфрачервоних променях, із розпізнаванням їх належності до банкнот відповідного номіналу; видимих в ультрафіолетових променях, із перевіркою відсутності флюоресценції паперу банкноти; з магнітними властивостями. Ідентифікація інших захисних ознак має здійснюватися в разі наявності технічних можливостей обладнання для автоматизованого оброблення банкнот. Банкнота вважається сумнівною, якщо немає хоча б однієї з захисних ознак або ознака втратила свої властивості через пошкодження,
2	Захисні ознаки, видимі в ультрафіолетовому діапазоні	а Національного банку України,	

№ з/п	Захисні ознаки та ознаки пошкодження банкнот, що мають бути перевірені	Опис захисних ознак та ознак пошкодження банкнот	Вимоги до критеріїв якості сортування банкнот
3	Захисні ознаки з магнітними властивостями	у виданнях та повідомленнях Національного банку України	зношення або спотворення, унаслідок чого неможливо однозначно ідентифікувати номінал банкноти та її справжність
4	Інші захисні ознаки		
5	Надрив	Відкритий надрив із будь-якого краю банкноти	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо вона має відкритий надрив з будь-якого краю, розмір якого (ширина, довжина) перевищує такі значення: вертикальний надрив - 4 x 8 мм; горизонтальний – 4 x 15 мм; діагональний – 4 x 18 мм (довжина діагонального розриву визначається як прямокутна проекція), крім місць, що закриті транспортними ремнями обладнання для автоматизованого оброблення банкнот
6	Склеєна банкнота	Окремі частини банкноти або розриви на банкноті, склеєні з використанням клейкої стрічки або паперу, скріпленого клеєм	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо вона має наклеюку понад 10 x 40 мм, товщина якої перевищує 50 мкм
7	Отвір	Відсутні частини у будь-яких місцях банкноти, крім країв	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо в будь-яких місцях на ній є отвір понад 10 мм <sup>2</sup> , крім тих, що закриті транспортними ремнями обладнання для автоматизованого оброблення банкнот
8	Відсутня частина	Відсутні частини вздовж краю банкноти, крім кутів	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо її довжина зменшена на 6 мм чи більше або її ширина зменшена на 5 мм чи більше
9	Відсутній кут	Відсутні кути в банкнотах	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо площа відсутнього кута перевищує 150 мм <sup>2</sup> , а довжина меншої сторони відсутнього кута перевищує 10 мм
10	Зім'ята банкнота	Невпорядковані складки або згини на банкноті	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо на ній є складки або згини, які призводять до зменшення довжини банкноти більше ніж на 6 мм або ширини банкноти більше ніж на 5 мм
11	Локальне забруднення	Локалізована концентрація бруду у вигляді плям, малюнків, відбитків штампів, колір яких контрастує з навколишніми незабрудненими частинами банкноти	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо на ній є локальне забруднення, розміри якого більші ніж 10 x 10 мм на тих її частинах, що не містять друкованих літер чи зображення, або більші ніж 15 x 15 мм на тих, що містять друковані літери чи зображення
12	Загальне забруднення	Розподіл бруду на всій банкноті	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо внаслідок загального забруднення збільшена її оптична щільність. Визначення критеріїв непридатності банкноти до обігу за цією ознакою здійснюється на основі експертної оцінки рівня її



№ з/п	Захисні ознаки та ознаки пошкодження банкнот, що мають бути перевірені	Опис захисних ознак та ознак пошкодження банкнот	Вимоги до критеріїв якості сортування банкнот
			забруднення під час налагодження обладнання для автоматизованого оброблення банкнот
13	Зношення банкноти	Структурні зміни, пов'язані із зменшенням жорсткості банкноти	Банкнота вважається не придатною до обігу, якщо внаслідок потертості, часткової втрати фарби, розпушення паперу, втрати папером жорсткості зменшена її оптична щільність. Визначення критеріїв непридатності банкноти до обігу за цією ознакою здійснюється на основі експертної оцінки рівня її зношення під час налагодження обладнання для автоматизованого оброблення банкнот

У Сполучених Штатах Америки ознаки зношеності купюр визначаються автоматично за допомогою денситометра [3]. У країнах Євросоюзу встановлені мінімальні вимоги до стану купюр як для ручного, так і для автоматичного контролю [4]. Однак деякі ознаки все ж необхідно визначати візуально або, в разі автоматичного контролю, вони є необов'язковими.

При автоматичному контролі ці параметри вимірюються за допомогою денситометра шляхом вимірювання оптичної щільності  $D$  купюри в відбитому світлі.

$$D = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi} \quad (1)$$

де  $\Phi_0$  - потужність пучка, що падає на купюру,  $\Phi$  - потужність пучка що відбився.

Величина оптичної щільності залежить від товщини шару фарби. Чим тонший шар фарби на папері, тим нижче вимірюється щільність. Таким чином можна контролювати ступінь потертості чорнила. При значному забрудненні купюр значення оптичної щільності збільшується. За такого методу проводиться контроль забруднення і потертості, а також втрати жорсткості купюр в США (рис.1). На кожній купюрі визначені 10 контрольних точок, в яких проводяться вимірювання оптичної щільності [3]. Середнє значення щільності по цим точкам дає середню щільність почорніння всієї купюри.



Рисунок.1. Зображення контрольних точок, за якими відбувається вимірювання оптичної щільності.

Отримані значення порівнюються з гранично допустимими значеннями забрудненості і потертості чорнила, після чого приймається рішення щодо придатності купюри для подальшого використання.

Для того щоб автоматизувати, а, отже, прискорити процес визначення ступеня старості грошових знаків варто звернутися до методу сканування

зображення. Нижче наведено етапи, згідно з якими буде проводитися сортування купюр на платоспроможні і неплатоспроможні:



Рисунок.2. Приклади купюр по ступеню придатності для сканування та сортування.

1. 4 купюри різної забрудненості одного номіналу - як зразки, скануються і заносяться в папку еталонів. Як варіант, у базу заносимо тільки чисту купюру (2 зображення), а інші варіанти оцінюємо по відхиленню яскравості.

2. Масив купюр, що перевіряється, сканується і заноситься в базу даних під своїм номером, тобто 2 зображення для кожної купюри.

3. Далі кожна купюра порівнюється з 4-ма еталонними (або сортується за діапазонами відхилень) та її назва записується в таблицю відповідності (табл.2):

Таблиця 2. Види банкнот

Придатна до обігу банкнота	Частково зношена	Неплатоспроможна
----------------------------	------------------	------------------

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Гроші [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Гроші>.

[2] Про затвердження Інструкції про ведення касових операцій банками в Україні [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0103500-18>.

[3] Fitness Guidelines for Federal Reserve Notes. Federal Reserve System Cash Product Office (CPO). – 2017.

[4] DECISION OF THE EUROPEAN CENTRAL BANK on the authenticity and fitness checking and recirculation of euro banknotes [Електронний ресурс] // Official Journal of the European Union. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010D0014>.

УДК 621.384

*Р.А. Пашков, студент гр. ПО-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ (НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ТТР)**

**Анотація.** Описується нова модель ефективності цілевпізнання, в якій використовується показник якості виконання задачі (ТТР). Як і його попередник, відомі критерії Джонсона, нова модель передбачає, що дальність спостереження пропорційна якості зображення. Тому передбачається простота реалізації. На додаток до загальної кращої точності методика ТТР може використовуватися для моделювання дискретизованих зображень, високочастотного посилення, небілого шуму та інших функцій сучасних зображень, які неможливо точно змодельовати за допомогою критеріїв Джонсона.

**Ключові слова:** ТТР, критерії Джонсона, одноканальні ОЕС, багатоканальні ОЕС.

### **ВСТУП**

У зв'язку з технічним прогресом, вимоги до інженерних розробок постійно зростають. Для створення складних високоефективних оптико-електронних систем (ОЕС) необхідні нові методики, які дозволять реалізувати задумані алгоритми за останнім словом техніки, впровадити розробки до вітчизняної промисловості та вийти на міжнародний ринок.

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ**

Перед розробниками сучасних іконічних оптико-електронних систем постає проблема складності забезпечення вихідного зображення високої якості. Однією із складових вирішення цієї проблеми є наявність точних методик оцінювання якості зображень [3]. Запропонована методика оцінювання якості, створена на основі критеріїв ТТР (Targeting Task Performance). При цьому вирішується проблема підвищення ефективності функціонування іконічних ОЕС, в яких формується зображення набагато кращої якості, тому розробка є актуальною [2].

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчення та аналіз методів підвищення ефективності іконічних ОЕС;
- обґрунтування найбільш доцільних напрямів підвищення ефективності іконічних ОЕС;
- вдосконалення показників якості ТТР для можливості оцінювання багатоканальних ОЕС;
- розробка нових методів розрахунку та узгодження блоків іконічних ОЕС на основі критеріїв якості ТТР.

### **ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

До основних факторів, що впливають на якість зображення належать розмитість, шум, контраст зображення. Ці фактори повинні оброблятися та враховуватися розрахунковою моделлю. Розмитість пов'язана з дифракцією та аберацією об'єктива. Сумування світла з різних точок сцени призводить до розмиття деталей сцени. Сигнал пропорційний кількості фотоелектронів, а шум

пропорційний квадратному кореню від кількості фотоелектронів, тому при зменшенні фотоструму починає переважати шум. Контрастність погіршується атмосферою (при яскравому світлі - гірше деталі) [3, 4].

Найбільш розповсюдженим методом оцінювання зображень в ОЕС є визначення точки перетину кривої порогового контрасту аналізатора зображення (наприклад, зорової системи) і модуляційної передавальної функції ОЕС. Цей метод запропонував Джонсон. Основне припущення, що лежить в основі методології Джонсона, полягає в тому, що всі електрооптичні зображення однакові у певному широкому сенсі. Якість зображення може визначатися виключно граничною роздільною здатністю ( $fJ$ ). Однак, методика Джонсона не може точно передбачити вплив шуму. Методика з використанням критерія ТТР точно прогнозує різні розмивання форми та розміру, контраст цілі, рівні шуму.

В цій методиці використовується лінійне інтегрування:

$$TTP = \sqrt{TTPH * TTPV}$$

$$TTPV = \int_{v_{y,low}}^{v_{y,cut}} \left[ \frac{C_{TGT}}{CTFV_{sys}(v_y)} \right]^{\frac{1}{2}} dv_y$$

$$TTPH = \int_{v_{x,low}}^{v_{x,cut}} \left[ \frac{C_{TGT}}{CTFH_{sys}(v_x)} \right]^{\frac{1}{2}} dv_x,$$

де  $TTPV$  і  $TTPH$  вертикальна і горизонтальна складова ефективності цілевпізнання,  $C_{TGT}$  - видима цільова контрастність на датчику,  $CTFV_{sys}(v_y)$  та  $CTFH_{sys}(v_x)$  - вертикальна і горизонтальна складова функції контрастного порогу,  $TTP$  - ефективність цілевпізнання [5].

Модель визначення дальності цілі створюється, припускаючи, що вона залежить від якості зображення. Тобто дальність спостереження пропорційна показнику ТТР. Зображення мають різні характеристики просторової роздільної здатності у горизонтальному та вертикальному розмірах. Найчастіше горизонтальна роздільна здатність набагато краще, ніж роздільна здатність по вертикалі. Тому значення ТТР розраховується окремо для кожного напрямку.

Залежно від умов сцени домінуючим чинником, що обмежує якість та безпосередньо впливає на значення показника ТТР, може бути розмиття, шум або контраст [6]. Погіршення зображення, викликані шумом і розмивом зображення, накладаються додатково до природних обмежень людського зору. Якби ОЕС була ідеальною - без розмиття від оптики, детектора або дисплея і відсутності шуму в процесі виявлення об'єкта, то якість сприйняття спостерігача все одно буде обмежена його оптичними властивостями, тобто оком. Якість зображення є наслідком притаманних людському баченню обмежень в поєднанні з розмиванням зображення та шумом. Обмеження людського зору залежать, в свою чергу, від яскравості та контрасту дисплея. Найбільш широко використовуваними показниками якості зображення є гострота зору та роздільна здатність. Гострота зору означає, що для перевірки зору використовуються

висококонтрастні (чорні на білому) букви або символи. Спостерігач, який читає найменші букви, має кращу гостроту зору. З датчиками тепловізора, термін роздільна здатність має те ж значення. Ці вимірювання з використанням висококонтрастних тест-об'єктів не дозволяють адекватно оцінити, наскільки добре людина може бачити неозброєним оком або через ОЕС [7].

Картинка складається з безлічі рівнів яскравості. Око підсумовує зображення, поєднуючи лінії та поверхні. Ці лінії та поверхні не мають особливої яскравості на всьому своєму діапазоні. Наприклад, фон безпосередньо позаду цілі може бути неоднорідним, але око бачить повний або частковий силует. Перспектива виходить від ліній, що сходяться, які можуть змінюватися як за різкістю, так і за яскравістю зі збільшенням діапазону. Незначні зміни відтінку або текстури можуть зробити додаткову підказку щодо відстані та орієнтації об'єкта і, можливо, вказати параметри характеристик поверхні. Гострий зір вимагає здатності розрізняти невеликі відмінності у відтінках сірого, а не тільки здатності розрізняти дрібні деталі, які мають хороший контраст.

Модель зображення повинна враховувати, як характеристики ОЕС, так і людський зір. В зображеннях розмиття, шум і контрастність обмежують здатність бачити деталі. Крім того, якщо дисплей не великий та яскравий, фізіологічні обмеження ока просто не можна ігнорувати. Зображення може здатися зернистим, якщо воно представлено при високій яскравості дисплея та взагалі не шумним, коли воно відображається при низькій яскравості дисплея. Це не означає, що зображення краще в якомусь кількісному сенсі, коли воно представлено при низькій яскравості дисплея; нездатність бачити означає, що шум викликає еквівалентну нездатність бачити контрастні градації всередині самого зображення [8].

Характеристики ОЕС самі по собі не забезпечують якості зображення. Швидше, характеристики апаратного забезпечення взаємодіють із людським зором, так, щоб визначити, наскільки добре сприймається картинка через ОЕС.

Розмитість і шум також впливають на спостереження. Як правило, якість зображення обмежена розмитістю або контрастністю при хороших умовах освітлення і шумом при поганій освітленості. Це пов'язано з тим, що в теоретичному вигляді сигнал до шуму пропорційний квадратному кореню фотоструму. По мірі зменшення освітленості фотострум зменшується, а шум стає більш домінуючим. Ще один фактор, важливий для визначення характеристик датчиків нічного бачення - це контраст дисплея, особливо коли яскравість дисплея менше фотопічної. Всі перелічені фактори можуть бути врахованими в моделі, що реалізується на основі наведеної вище формули для розрахунку ТТР.

## **ВИСНОВКИ**

Грунтуючись на умовах методики ТТР, які орієнтовані на одноканальні системи, пропонується методика для використання в багатоканальних системах з можливістю комплексування. Запропонована методика дає можливість вибирати найкращий метод комплексування для даних умов функціонування ОЕС. Результати моделювань показують, що комплексування дає змогу в середньому на 10 % підвищити максимальну дальність дії ОЕС за хороших

погодних умов спостереження [9]. Це підтверджується суб'єктивними оцінками при спостереженнях у лабораторних умовах. У подальшому планується дослідити ефективність ОЕС із комплексуванням інформації за несприятливих погодних умов, таких як дощ, сніг, туман, а також за наявності димових перешкод.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження: монографія / В.Г. Колобродов, В.І. Микитенко, Є.Г. Балінський. – Київ, Вік принт, 2017 – 202 с.
- [2] Vollmerhausen R. H., Jacobs E. The targeting task performance (TTP) metric a new model for predicting target acquisition performance. – CENTER FOR NIGHT VISION AND ELECTRO-OPTICS FORT BELVOIR VA, 2004. – №. AMSEL-NV-TR-230.
- [3] Biberman L. Perception of displayed information / Biberman L. // Springer Science & Business Media. – 2013. P. 18-24.
- [4] Aguilar M. Saturation of the rod mechanism of the retina at high levels of stimulation / Aguilar M., Stiles W. S. // Optica Acta: International Journal of Optics. – 1954. – P. 59-65.
- [5] Barnes. Can a Photon Shot Effect be observed with the Eye? / Barnes, Von R.B., Czerny M. // Z. Physic in German, Vol. 79. – 1933. – P. 436
- [6] Biberman, L. Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling / Biberman, L. // SPIE and ONTAR Corp., Bellingham, WA. – 2000. - P. 128.
- [7] Biberman L. System performance and image quality In Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling / Biberman L. // SPIE and ONTAR Corp., Bellingham, WA, Chapter 22. – 2000. – P. 114.
- [8] Biberman L. Alternate modeling concepts In Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling / Biberman L. // SPIE and ONTAR Corp., Bellingham, WA, Chapter 11. – 2000. – P. 43.
- [9] Мамуга М.С., Колобродов В.Г., Микитенко В.І. Оцінка ефективності багатоканальних оптико-електронних систем спостереження з комплексуванням інформації / Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012 – № 6. – с. 127-131.

*Науковий керівник – к.т.н., доц. Микитенко В.І.*

## УДК 62-50

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

# РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДІВ ТЕПЛОВІЗОРІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ ДЖОНСОНА

**Анотація.** Розглянуті критерії Джонсона для визначення роздільної здатності тепловізорів. Остання величина розрахована для геометричних параметрів людини, автомобіля і танка при різних відстанях від цих об'єктів до приладу. Отримані значення можуть допомогти при проектуванні тепловізора.

**Ключові слова:** тепловізор, прилад нічного бачення, роздільна здатність, критерії Джонсона.

## ВСТУП

Роздільна здатність (РЗ) характеризує можливість оптичної електронної системи роздільно відтворювати дві, розташовані близько одна від одної точки, або лінії. Для оптичних систем РЗ визначається критерієм Релея [1]. Для кількісної характеристики РЗ оптичних приладів військового призначення у 50-60 рр. ХХ сторіччя співробітником науково-дослідної лабораторії армії США був розроблений критерій, названий на його честь, критерієм Джонсона [2-3]. Джонсон визначив експериментально значення роздільної здатності, необхідні для розрізнення зображень об'єктів, що спостерігаються в приладах нічного бачення (ПНБ) на основі електронно-оптичних перетворювачів (ЕОП). Ці значення не враховують як характеристики об'єкту (контраст з фоном, форма, особливості контуру об'єкту), так і характеристики фону (яскравість, рівномірність фону), погодні умови (хмарність, опади, запиленість повітря), характеристики спостерігача (тренованість розпізнавати об'єкти, гострота і стомлення зору) і тактичні параметри спостереження (площа зони пошуку, час пошуку) [4]. Але критерії Джонсона дозволяють приблизно оцінити або геометричні розміри цілі, дальність їх виявлення, або характеристик ЕОП.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою дослідження є розрахунок РЗ, необхідної для здійснення виявлення таких об'єктів, як людина, автомобіль, танк з ймовірністю 0.8 для об'єктів з різною фокусною відстанню при певній відстані (50, 100, 150 та 200 м) до вказаних об'єктів.

## КРИТЕРІЇ ДЖОНСОНА

Джонсон виокремив чотири рівні розрізнення об'єктів у порядку підвищення інформативності [3]:

- виявлення;
- орієнтація;
- розпізнавання;
- ідентифікація.

Для кожного рівня було зроблене співставлення мінімально необхідного значення РЗ, зазначеної в парах ліній (міра), що укладаються в найменший розмір об'єкту (критичний розмір цілі), що спостерігається (рис. 1) [3] – в кількості штрихів на 1 мм.



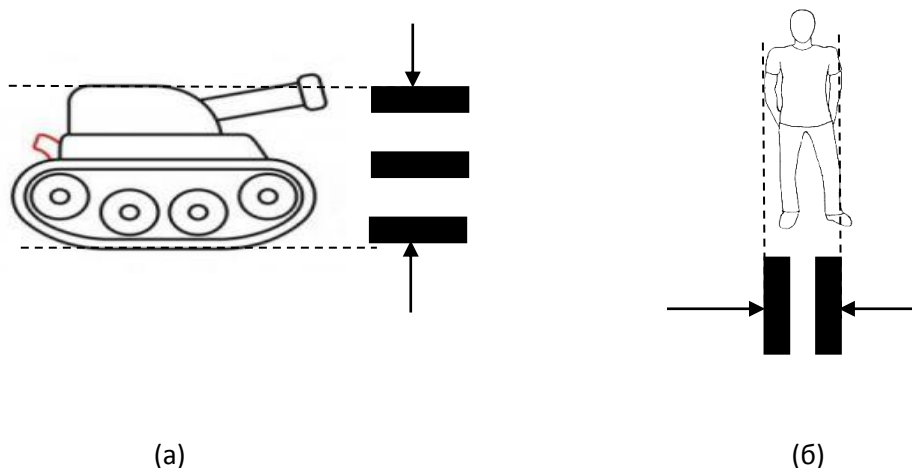


Рисунок 1. Співставлення штрихової міри для визначення необхідної роздільної здатності на критичний розмір для (а) – танку, (б) – людини

Інколи РЗ може бути вказана у кутових секундах або хвилинах – наприклад, кількість штрихів на секунду.

РЗ є тим більшою, чим більше штрихів припадає на 1 мм і чим їх менше на 1 хвилину. Чим більше РЗ, тим чіткіше зображення, що виводиться на екран ПНБ. При виведенні зображення на екран тепловізора, чи відеокамери, роздільна здатність буде дорівнювати кількості телевізійних ліній, або пікселів на мм. Таблиця значень роздільної здатності для чотирьох рівнів розрізнення об’єктів для ЕОП та тепловізорів представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Значення роздільної здатності для чотирьох рівнів розрізнення об’єктів для ЕОП та тепловізорів за критеріями Джонсона [3], при якому ймовірність виявлення порогового значення сигналу від об’єкта складає 50%

Рівні розрізнення об’єктів	Роздільна здатність на мінімальний розмір $N$	
	Для ліній ЕОП	Для ліній в тепловізорах
Виявлення	$1.0 \pm 0.25$	$2.0 \pm 0.5$
Орієнтація	$1.4 \pm 0.35$	$2.8 \pm 0.7$
Розпізнавання	$4.0 \pm 0.8$	$8.0 \pm 1.6$
Ідентифікація	$6.4 \pm 1.5$	$12.8 \pm 3.0$

Значення коефіцієнтів перерахунку роздільної здатності в залежності від потрібної ймовірності різних рівнів розрізнення об’єктів наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнти перерахунку критерія Джонсона для різних значень ймовірності  $p$  [4]-[5]

Ймовірність	1	0,95	0,8	0,5	0,3	0,1	0,02
Коефіцієнт	3,0	2,0	1,5	1,0	0,75	0,5	0,25

Зробити оцінку дальності спостереження за певним об’єктом, або розрахувати кількість ліній/пікселів, які дозволяють роздивитись об’єкт з певною ймовірністю на певній відстані  $L$  можна, користуючись імперичною формулою (1)[4]:



$$L = p \cdot F \cdot W / (a \cdot N), \quad (1)$$

де  $p$  - множник з табл. 2 для потрібної ймовірності,  
 $F$  – фокусна відстань об'єктива,  
 $W$  – критичний розмір об'єкту,  
 $a$  – розмір одиничного елемента зображення,  
 $N$  – значення критерія Джонсона за табл. 1  
 З (1) витікає, що роздільна здатність є

$$1/a = p \cdot F \cdot W / (L \cdot N). \quad (2)$$

В табл. 3 - представлені розраховані значення РЗ ( $1/a$ ) для виявлення людини (0,6 x 1,8 м), легкового автомобіля (3,5 м x 1,6 м), танку (21,5 м x 9,2 м). Враховуючи, що в формулу (2) в якості  $W$  обирається менший розмір, розрахуємо значення РЗ для відстані об'єктів спостереження від ПНБ 250 м, 100 м, 20 м та 10 м.

Таблиця 3. Розраховані значення РЗ для виявлення людини ( $W = 0,6$  м) з ймовірністю  $p = 0,8$  в окулярі тепловізора за критеріями Джонсона

		$1/a, 1/\text{мкм}$			
		<i>Відстань, <math>L, \text{м}</math></i>			
$F, \text{мм}$	Виявлення	Орієнтація	Розпізнавання	Ідентифікація	
	200	150	100	50	
25	17,8	18,7	35,6	28,4	
50	8,9	9,3	17,8	14,2	
75	5,9	6,2	11,9	9,5	
100	4,4	4,7	8,9	7,1	

Таблиця 4. Розраховані значення РЗ для виявлення легкового автомобілю з ймовірністю  $p = 0,8$  в окулярі тепловізора за критеріями Джонсона

		$1/a, 1/\text{мкм}$			
		<i>Відстань, <math>L, \text{м}</math></i>			
$F, \text{мм}$	Виявлення	Орієнтація	Розпізнавання	Ідентифікація	
	200	150	100	50	
25	6,7	7,0	13,3	10,7	
50	3,3	3,5	6,7	5,3	
75	2,2	2,3	4,4	3,6	
100	1,7	1,8	3,3	2,7	

Під критеріями Джонсона визначення РЗ за різними рівнями виявлення об'єктів в окулярі тепловізора розуміють:

- виявлення – виділення плями, що відповідає об'єкту, на тлі фону;
- орієнтація – виділення напрямку руху плями, що відповідає об'єкту;

- розпізнавання – об’єкт можна віднести до певної категорії – тварина, людина, автомобіль тощо;
- ідентифікація – що об’єкт відповідає певній підкатегорії – наприклад - танк «Оплот».

Таблиця 5. Розраховані значення РЗ для виявлення танку ( $W = 21,5$  м) з ймовірністю  $p = 0,8$  в окулярі тепловізора за критеріями Джонсона

	$1/a, 1/\mu\text{км}$			
	<i>Відстань, <math>L, \text{м}</math></i>			
$F, \text{мм}$	Виявлення	Орієнтація	Розпізнавання	Ідентифікація
	200	150	100	50
25	0,5	0,5	0,6	0,8
50	0,2	0,3	0,5	0,4
75	0,2	0,2	0,3	0,3
100	0,1	0,1	0,2	0,2

### ВИСНОВОК

Розглянуті критерії експериментального визначення роздільної здатності тепловізора за критеріями Джонсона та розраховані для різних об’єктів – людини, легкового автомобіля та танка при різній дальності їх виявлення з ймовірністю  $p = 0,8$  в окулярі тепловізора. Розрахунки показали, що для великих об’єктів, розташованих на різних відстанях від окуляру тепловізора, РЗ повинна бути меншою за 1 піксель на 1 мкм для ідентифікації великих об’єктів (танку). І змінюватись в межах від 0,1 до 0,8 пікселів на 1 мкм. Для розпізнавання менших за розміром об’єктів РЗ змінюється в межах від 1,7 до 35,6 пікселів на 1 мкм і має максимум поблизу 100 м. Розраховані значення РЗ можуть допомогти в проектуванні матриці тепловізора для більш ефективного розпізнавання об’єктів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кучерук І.М. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика/ Кучерук І.М., Дущенко В.Л. – К.: Вища школа, 1991. – С. 133 – 134.
- [2] Johnson J. Analysis of Image Forming Systems. Image Intensifier Symposium, Fort Belvoir, VA, 6-7 October 1958.
- [3] Mohd Junedul. Night Vision Technology: An Overview/ Mohd Junedul Haque and Mohd Muntjir // International Journal of Computer Applications 167(13):37-42, 2017.
- [4] Середовища передавання даних. Лінії зв'язку : [Електронний ресурс]-Режим доступу: <http://wad00m.narod.ru/index/0-7>
- [5] Абрамов С.К. Проблемы и методы автоматического определения характеристик помех на изображениях // С.К. Абрамов, А.А. Зеленский, В.В. Лукин / Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №2 (35). – С. 25-34.

УДК 681.7.067.2

Смажко І.О., студент гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ SWIR ОБ'ЄКТИВА

**Анотація:** В даній роботі здійснено автоматизований синтез оптичної системи шестилінзового об'єктива з фокусною відстанню 100 мм, відносним отвором 1:2 та кутовим полем зору 11,7°, призначеного для функціонування в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні SWIR (0,9 – 1,7 мкм). У статті запропоновано методику синтезу нових оптичних систем, на основі сучасного методу глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції Коші. Наведені результати розрахунку SWIR об'єктива підтверджують відмінну якість виправлення аберацій та результативність запропонованого методу.

**Ключові слова:** оптична система, об'єктив, модуляційна передавальна функція, глобальна оптимізація, short wave infrared (SWIR).

### ВСТУП

На відміну від середньохвильового та довгохвильового інфрачервоного випромінювання, що надходить від самих об'єктів, короткохвильове інфрачервоне (SWIR) випромінювання є більш наближеним до видимого діапазону. В цьому діапазоні можна спостерігати не лише власне, а й відбите випромінювання. Ця властивість дозволяє отримувати зображення з високою роздільною здатністю. Іншою перевагою SWIR приладів є можливість їх використання у нічний час. Завдяки атмосферному явищу світіння нічного неба, утворюється в п'ять-сім разів більше випромінювання, ніж виключно від зірок. Тому SWIR камери разом з нічним світлом дозволяють спостерігати об'єкти з великою чіткістю в безмісячні ночі. Подібна техніка застосовується в випадках, коли використання приладів видимого випромінювання ускладнене або неможливо. Водяна пара, туман та такі речовини як силікон є прозорими у SWIR діапазоні. Крім того, кольори, які у видимому діапазоні спостерігаються як майже ідентичні, чітко розрізняються в діапазоні SWIR [1].

До недавнього часу комерційно доступні приймачі випромінювання на базі InGaAs мали відносно низьку роздільну здатність (зазвичай, 640x512 пікселів з розміром кожного елемента 30 мкм). Для порівняння, більшість поширених ПЗЗ (CCD) та КМОН (CMOS) приймачів має кількість пікселів в декілька мільйонів. Тому можна вважати, що розробка сенсорів SWIR дуже сильно відстала від їхніх аналогів для видимого діапазону. Тепер сенсори та камери SWIR переходять у фазу швидкого розвитку. На початковій стадії розвитку в фотоапаратах SWIR використовували лінзи, розраховані для видимого діапазону, на які наносилось просвітлююче покриття для мінімізації відбиття в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні. Використання таких об'єктивів призводило до отримання знімків низької роздільної здатності з великими значеннями оптичних аберацій. Проте обмежувальним фактором для якості зображення були приймачі, а не лінзи, тому цей вплив не був помітним [2].

Оскільки скло є прозорим для довжин хвиль 0,9...1,7 мкм, то SWIR об'єктиви можуть виготовлятися за тими ж технологіями, які використовуються для компонентів видимого діапазону. Це знижує витрати виробництва та робить можливим використання фільтрів і вікон в рамках однієї системи.

Існуючі підходи до проектування подібних систем ґрунтуються на теорії аберацій 3-го або 5-го порядку [3] або ж на оптимізації готових рішень. Подібні

класичні методики мають ряд недоліків, тому й виникла необхідність в універсальному підході, який не потребував би якісної вихідної системи та досвіду висококваліфікованого розробника.

### ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Для синтезу оптичної системи (ОС) об'єктива пропонується використовувати один із сучасних методів глобальної оптимізації (ГО) – адаптивний метод диференційної еволюції Коші [4, 5]. Особливістю цього методу є те, що кожен змінний пошуковий параметр має свої значення параметрів диференційної еволюції. Сутність такого підходу зводиться до того, що на кожній новій ітерації алгоритму його параметри визначаються на основі середніх значень показників, отриманих під час попередніх ітерацій (тобто, фактично ці параметри адаптуються до реальної оціночної функції). Відмінністю цього методу є також те, що нові значення показників генеруються на основі розподілу Коші, який дозволяє отримувати випадкові значення з більшим відхиленням від середніх значень, в порівнянні з гаусоподібним (нормальним) розподілом.

Як приклад для розрахунку було обрано об'єктив OB-SWIR 100 з каталогу компанії Optec [6]. Його оптична система має фокусну відстань 100 мм, кутове поле зору  $12^\circ$ , діафрагмове число F/2. Значення поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) по всьому полю перевищує 40% для просторової частоти 25 ліній/мм. Об'єктив призначений для роботи у спектральному діапазоні 0,9...1,7 мкм з основною довжиною хвилі 1,2 мкм. Під час його параметричного синтезу було встановлено обмеження на мінімальну та максимальну осьові товщини 2 мм і 7 мм, відповідно, мінімальну товщину на краю – 2 мм та максимальне допустиме значення дисторсії – 0,5%. Оптична схема отриманого об'єктива представлена на рис. 1.

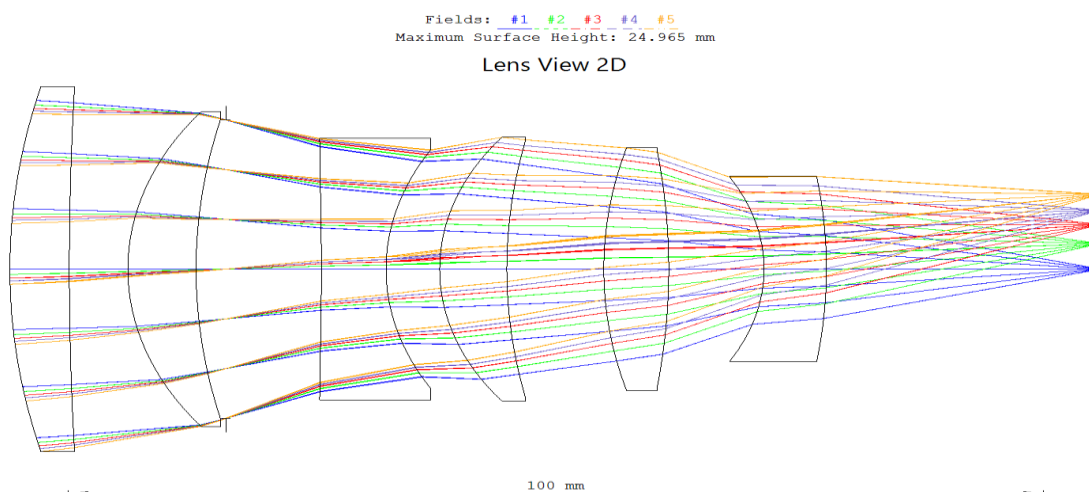


Рисунок 1. Оптична схема з ходом променів розробленого об'єктива для SWIR діапазону

Як видно з рис. 2, максимальне значення середньоквадратичних радіусів світлових плям в поліхроматичному світлі не перевищує 10 мкм.

Wavelengths: + 0.9 × 1.1 ■ 1.3 ▲ 1.5 • 1.7

Reference Point: Centroid

### Classic Spot Diagram

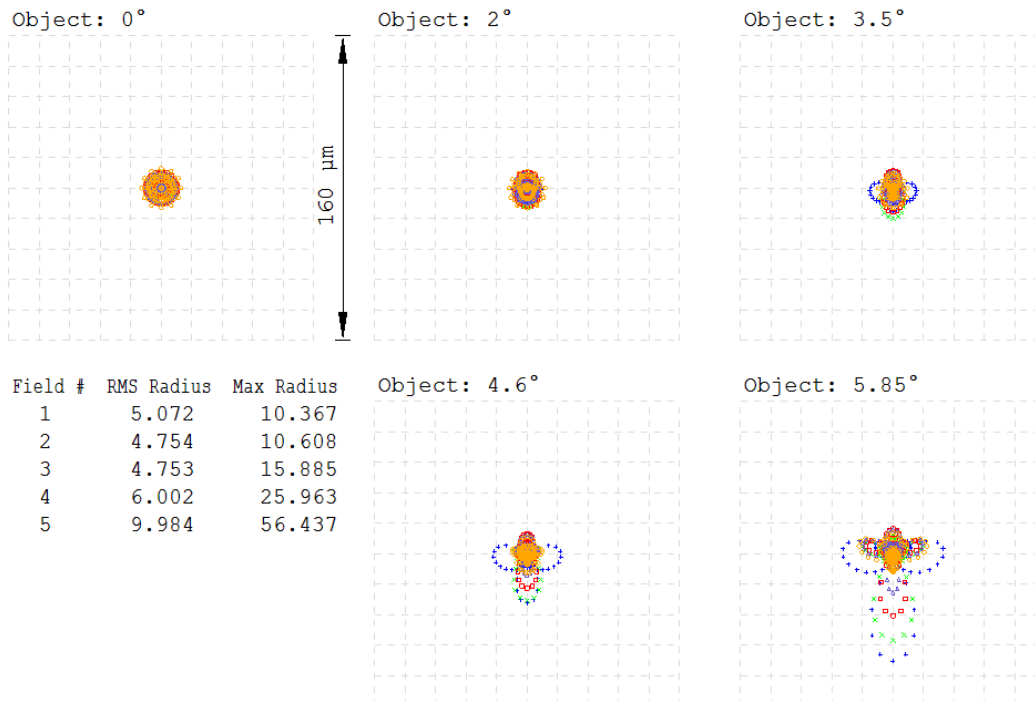


Рисунок 2. Точкові діаграми розробленого об’єктива для SWIR діапазону

Представлені на рис. 3 графіки поліхроматичних МПФ розробленого об’єктива для різних точок поля зору (в центрі, середній зоні та на периферії зображення) свідчить про відмінну якість корекції аберацій. Дисторсія об’єктива не перевищує 0,24 %.

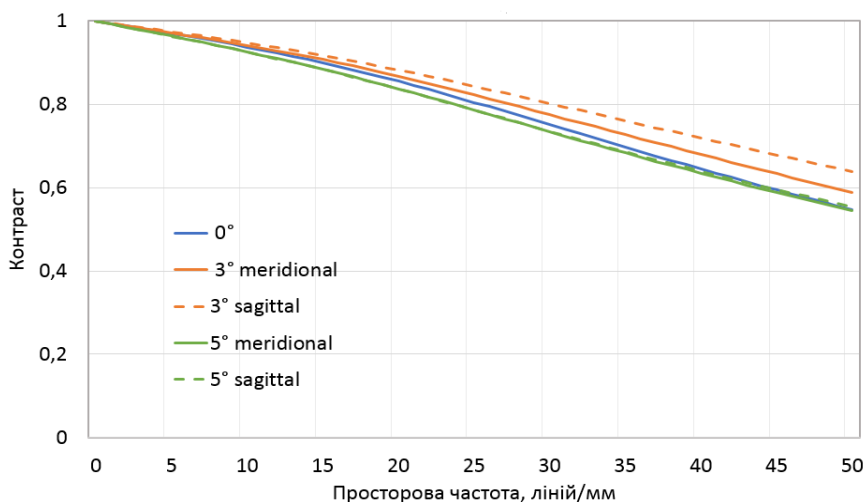


Рисунок 3. Поліхроматичні модуляційні передавальні функції розробленого об’єктива для різних точок поля зору

## ВИСНОВКИ

Запропонований підхід, що базується на алгоритмах глобальної оптимізації, дозволяє в автоматизованому режимі розрахувати оптичну систему для SWIR

діапазону відповідно до встановлених конструктором вимог. За якістю зображення розроблений об'єктив не поступається виробам провідних виробників подібної техніки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Птицын А. Что мы видим и что не видим? // Фотоника. – 2015. – №. 3. – С. 142-151.
- [2] Gardner M. C. et al. Challenges and solutions for high performance SWIR lens design // Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIII. – International Society for Optics and Photonics, 2016. – Т. 9987. – С. 99870С.
- [3] Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. / H. Gross, H. Zügge, M. Peschka, F. Blechinger ; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. – ISBN 978-3527403790
- [4] Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn, J. An // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734
- [5] Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn // Journal of Computers. – 2014. – Vol. 9, No 9. – Pp. 2139-2145. – DOI 10.4304/cp.9.9.2139-2145
- [6] SWIR catalog 2018 [Електронний ресурс]. // Optec S.P.A. company. – 2019. – Режим доступу: [http://www.optec.eu/pdf/ob-swir/catalogo\\_completo.pdf](http://www.optec.eu/pdf/ob-swir/catalogo_completo.pdf)

## **УДК 621: 681.7**

*В.С. Стаднічук, студент групи ПО-81мн, д.т.н., професор В.Г. Колобродов  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **ДЕТЕКТУВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ХАФА**

**Анотація.** У даній роботі розглянуті і проаналізовані існуючі методи обробки зображень в оптико-електронних системах активної безпеки допомоги водінню, основні причини виникнення ДТП, концепції автономного водіння. Запропоновано розробку власного універсального оптико-електронного приладу для всіх типів автомобілів. Основним недоліком таких систем є відсутність мобільності. Аналіз існуючих систем активної безпеки виявив ряд безперечних переваг оптико-електронних систем, а також довів ефективність їх застосування.

**Ключові слова:** ADAS, Autonomous Driving Car, SLAM, LIDAR, SAE, обробка зображень

#### **ВСТУП**

В даний час комп'ютеризація в автомобілебудуванні розвивається швидкими темпами і відіграє величезну роль у безпеці дорожнього руху. За допомогою комп'ютерних технологій автоматизується широке коло процесів, які в недалекому минулому покладалися на людину.

Актуальною, затребуваною і цікавою темою цього дослідження є аналіз і розробка власного універсального приладу «консультування» водія (ADAS) в питанні активної безпеки.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

При русі автомобіль знаходиться в своїй смузі і не повинен з неї виїжджати, але водій може втратити контроль над автомобілем, внаслідок чого транспортний засіб може почати переміщатися на сусідню смугу, що може привести до особливо сумних наслідків у разі переміщення на зустрічну смугу. За статистикою National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 40-60% всіх аварій на трасах прямо або побічно пов'язані з тим, що автомобіль залишає свою смугу [1,2].

Недолік ринкових рішень систем безпеки пов'язаний з відсутністю мобільності і універсальності. Кожен автовиробник розробляє подібні системи виключно під свій модельний ряд і доступні дані системи для автомобілів преміального сегмента. А на дорогах загального користування їх кількість не перевищує 5% [3].

Виходячи з даної статистики був зроблений висновок про те, що найбільш небезпечним і поширеним є вихід автомобіля за межі своєї смуги руху, що, в свою чергу, провокує серйозні ДТП. У зв'язку з цим було прийнято рішення про розробку приладу, що попереджає водія про схід зі смуги руху.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

В результаті даного дослідження був розроблений і налагоджений алгоритм виявлення дорожньої розмітки та визначення положення автомобіля щодо цієї розмітки. Було випробувано два алгоритму пошуку дорожньої розмітки: статистичний аналіз зображення і перетворення Хафа. Розглянемо етапи виявлення розмітки кожним алгоритмом:

- 1) Попередня обробка
  - 1.1) Освітлення

Зображення - це матриця чисел, що відповідають за інтенсивність (яскравість) кожного пікселя. Тому для зміни яскравості півтонування просто множимо матрицю чисел зображення на довільний коефіцієнт  $k$  (рис. 1 і 2).



Рисунок 1. Еталонне зображення



Рисунок 2. Освітлене зображення

### 1.2) Бінарне перетворення

Алгоритм вимагає перетворення кольорового зображення в бінарне. Бінарне зображення (дворівневе, двійкове) - різновид цифрових растрових зображень, коли кожен піксель може представляти тільки один з двох кольорів (рис. 3) [4]. Також необхідно провести попередню обробку зображень (освітлення/затемнення, видалення шумів, видалення неінформативних ділянок).



Рисунок 3. Бінарне зображення



Рисунок 4. Морфологічне

відкриття

### 1.3) Морфологічне відкриття

Являє собою послідовне застосування ерозії і нарощення. Призводить до з'єднання областей фону, раніше роз'єднаних вузькими ділянками пікселів об'єктів [9]. Морфологічне відкриття згладжує контури об'єкта, обриває вузькі перешийки, ліквідує виступи невеликої ширини (рис. 4).

### 1.4) Очищення граничних елементів на зображення

Ця функція виконує операцію придушення світлової структури, околиця якої пов'язані з краями зображення (рис.5).



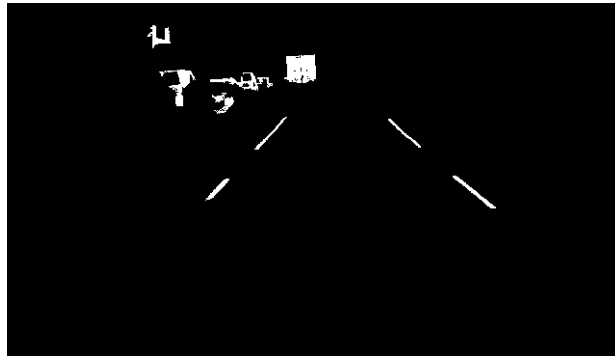


Рисунок 5. Очищення граничних елементів

## 2) Перетворення Хафа

Перетворення Хафа (Hough Transform) - алгоритм, чисельний метод, застосований для виявлення елементів з зображення (патент 1962 р Поля Хафа). Це перетворення використовується при аналізі зображень, при цифровій обробці зображень, а також для пошуку об'єктів, що належать певного класу фігур (рис. 6).

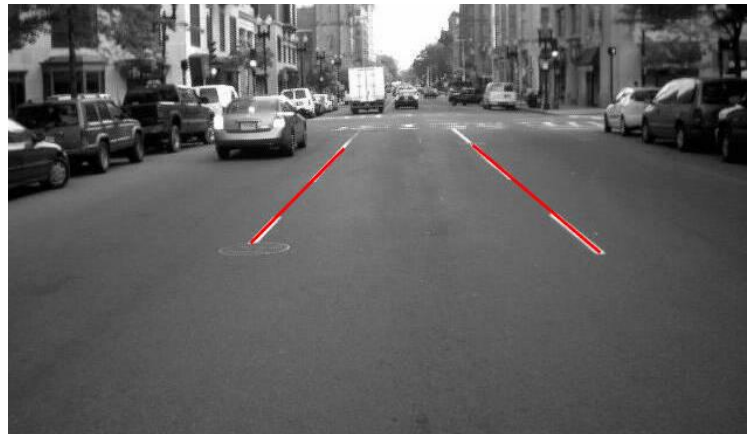


Рисунок 6. Результат роботи алгоритму із застосуванням перетворення Хафа

Однак ця модель вимагає певні «тепличні умови». Перейдемо до реальних дорожніх ситуацій. Після статичних зображень необхідно перейти до потокової обробці кадрів - відео. Зсув автомобіля щодо смуги руху будемо оцінювати за допомогою допоміжної горизонтальної лінії, яка розбита на сектори (рис. 7). По краях зелена область - авто в межах своєї смуги. Жовта зона - наїзд колеса на розмітку. Червона зона - виїзд зі своєї смуги. Оцінка зміщення відбувається за допомогою координат розмітки смуги по відношенню до положення «индикационной» прямиї.

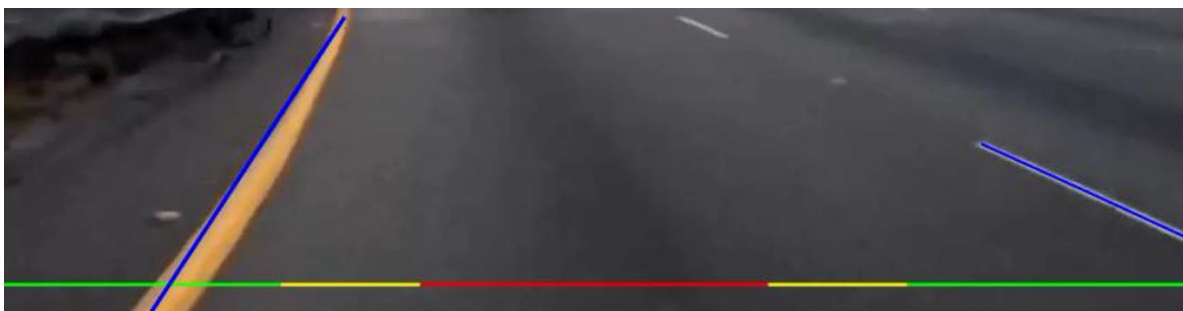


Рисунок 7. Визначення положення автомобіля по відношенню до смуги руху шляхом потокової обробки інформації

## **ВИСНОВКИ**

В рамках цього дослідження був розроблений і налагоджений алгоритм, який повинен зменшити кількість ДТП, пов'язаних з неуважністю водія. Пристрій добре зарекомендував себе в польових випробуваннях. Дана система може використовуватися як складова автономного автомобіля. Система допомоги руху по смугах - це якісний крок до наближення автономного водіння і підвищення безпеки на дорогах загального користування. Подальший розвиток подібних систем є обов'язковим, оскільки вони вже контролюють ситуацію на дорозі і забезпечують безпечне пересування. Такі системи працюють вкрай непомітно для водія, але вносять додаткову ясність у водінні.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Liu C., Ye T. J. Run-off-road crashes: an on-scene perspective. – 2011. – №. HS-811 500.
- [2] Lin C. F., Ulsoy A. G. Time to lane crossing calculation and characterization of its associated uncertainty //Journal of Intelligent Transportation Systems. – 1996. – Т. 3. – №. 2. – С. 85-98.
- [3] Liu X. Free Wind Path Detecting in Google Map Using Image Processing. – 2010.
- [4] Sezgin M., Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation //Journal of Electronic imaging. – 2004. – Т. 13. – №. 1. – С. 146-166.
- [5] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms //IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. – 1979. – Т. 9. – №. 1. – С. 62-66.

## УДК 681.7.067.3

Тростянська О.В., студентка гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКУЛЯРА ДЛЯ МІКРОДИСПЛЕЯ

**Анотація.** За допомогою сучасного методу глобальної оптимізації в роботі здійснено автоматизований параметричний синтез оптичної системи окуляра. Окуляр має кутове поле зору 40 градусів та призначений для роботи з кольоровим мікродисплеєм формату 0,61 дюйма та віддаленням зіниці ока 25 мм. Результати розрахунку свідчать про якісну корекцію аберацій.

**Ключові слова:** окуляр, мікродисплей, оптична система, глобальна оптимізація.

#### ВСТУП

Перші мікродисплеї були комерційно впроваджені в кінці 1990-х років. З кожним роком галузь виробництва мікродисплеїв набуває все більшого розвитку. Вони широко застосовуються в наголовних дисплеях, цифрових камерах, військовій та медичній техніці. Іноді використовують більше одного мікродисплея, щоб забезпечити ширші кути огляду та вищу роздільну здатність [1]. Перевагами мікродисплеїв є висока роздільна здатність і низьке енергоспоживання [2].

Постійно з'являються нові технології виробництва та покращення якості зображення мікродисплеїв [1]. Сучасні мікродисплеї мають діагоналі від 0,3 до 0,7 дюйма [2]. Завдяки невеликому розміру їх можна використовувати у різноманітних компактних пристроях з відображенням інформації.

Незважаючи на те, що на даний час різними компаніями продовжуються науково-дослідні роботи по створенню різноманітних компактних окулярів [3], повністю стверджувати що ця задача виконана не можливо. В даній статті здійснена спроба синтезувати лінзовий окуляр для мікродисплея з розміром діагоналі 15,5 мм.

#### ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

В даній роботі було здійснено розрахунок оптичної системи п'ятилінзового окуляра для мікродисплея формату 0,61 дюймів, призначеного для функціонування у видимому спектральному діапазоні 0,47...0,65 мкм.

Методика зводилась до автоматизованого розрахунку оптичної системи в програмному забезпеченні PODIL з використанням вбудованих алгоритмів глобальної оптимізації.

Початкова оптична система задавалась у формі плоско-паралельних пластин. Значення радіуса кривизни останньої оптичної поверхні використовувалось для контролю фокусної відстані окуляра.

Для розрахунку були встановлені такі обмеження:

- на осьові товщини лінз: від 2 до 7 мм;
- на повітряні проміжки: від 0,1 до 3 мм;
- на мінімальну товщину лінз на краю: 1 мм;
- на максимальне значення дисторсії: 3,5 %.

Під час розрахунку загальна довжина системи не обмежувалась. Марки скла обиралися програмою автоматично з каталогу "CDGM".

Нижче на рис.1 представлена оптична система розробленого окуляра. Окуляр має кутове збільшення поля зору в просторі зображення  $40^\circ$ . Діаметр вихідної зіниці 5 мм, а віддалення зіниці від останньої поверхні – 25 мм.

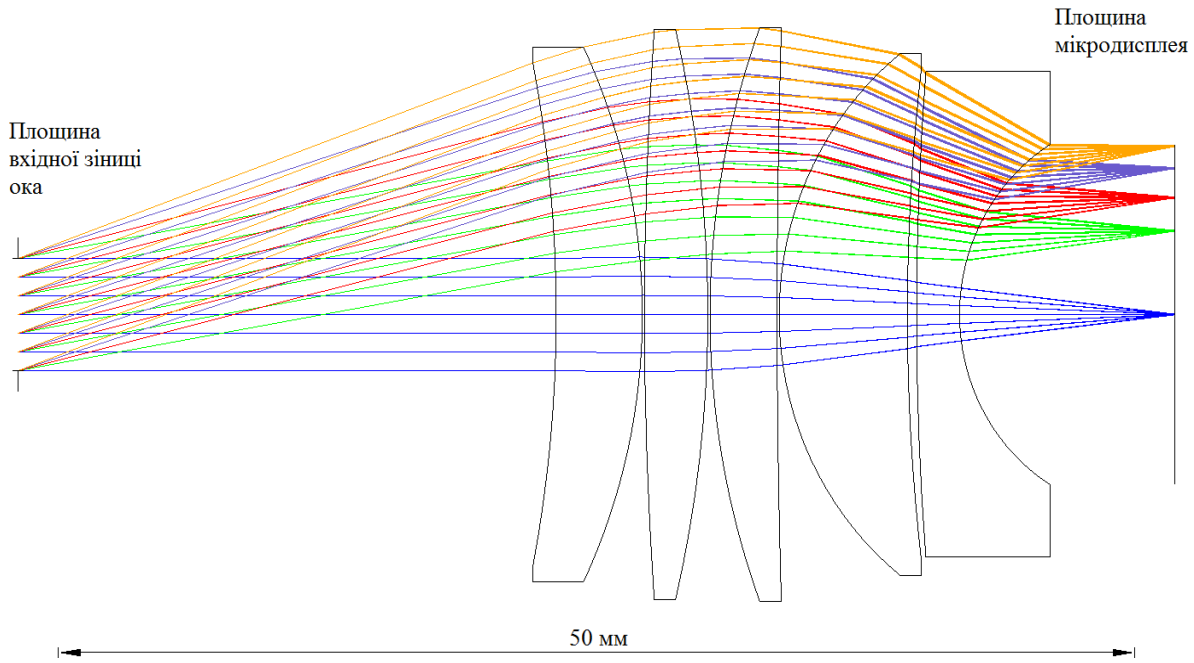


Рисунок 1. Оптична схема з ходом промені розрахованого окуляра

Якість зображення можна оцінити за точковими діаграмами представленими на рис. 2 та графіками поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) для різних точок поля зору (рис. 3). Максимальне значення відносної дисторсії дорівнює 3,4 %.

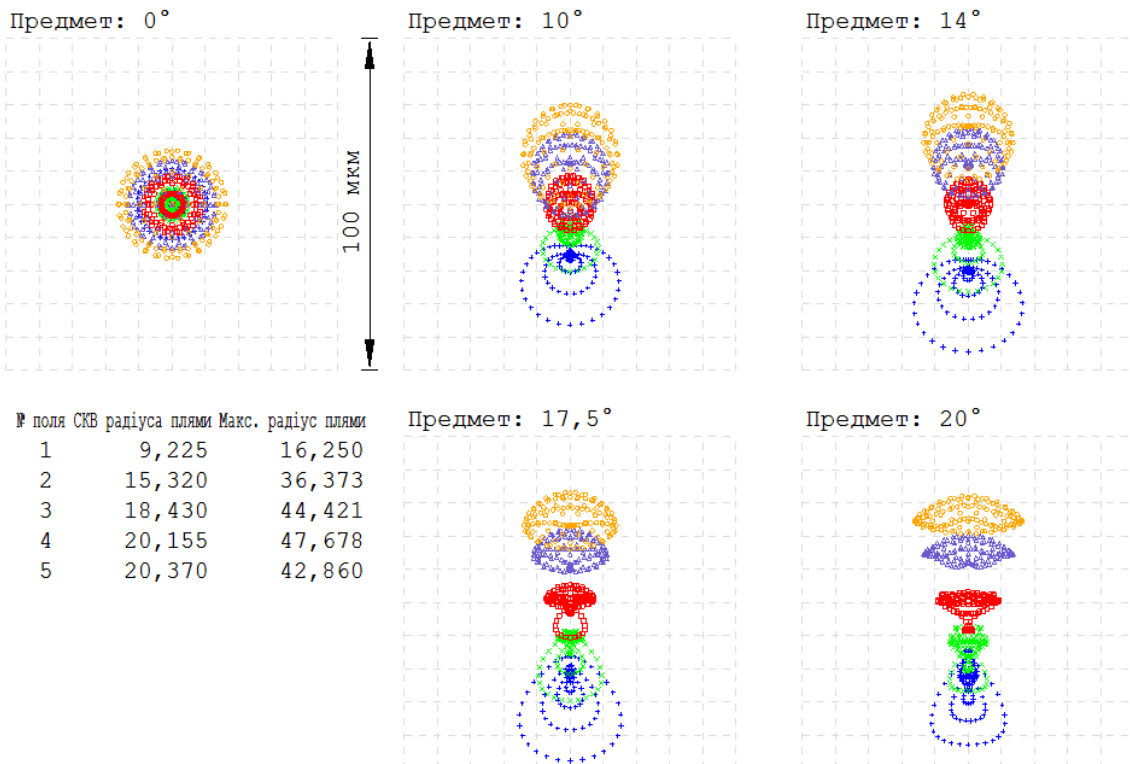


Рисунок 2. Точкові діаграми розробленого окуляра

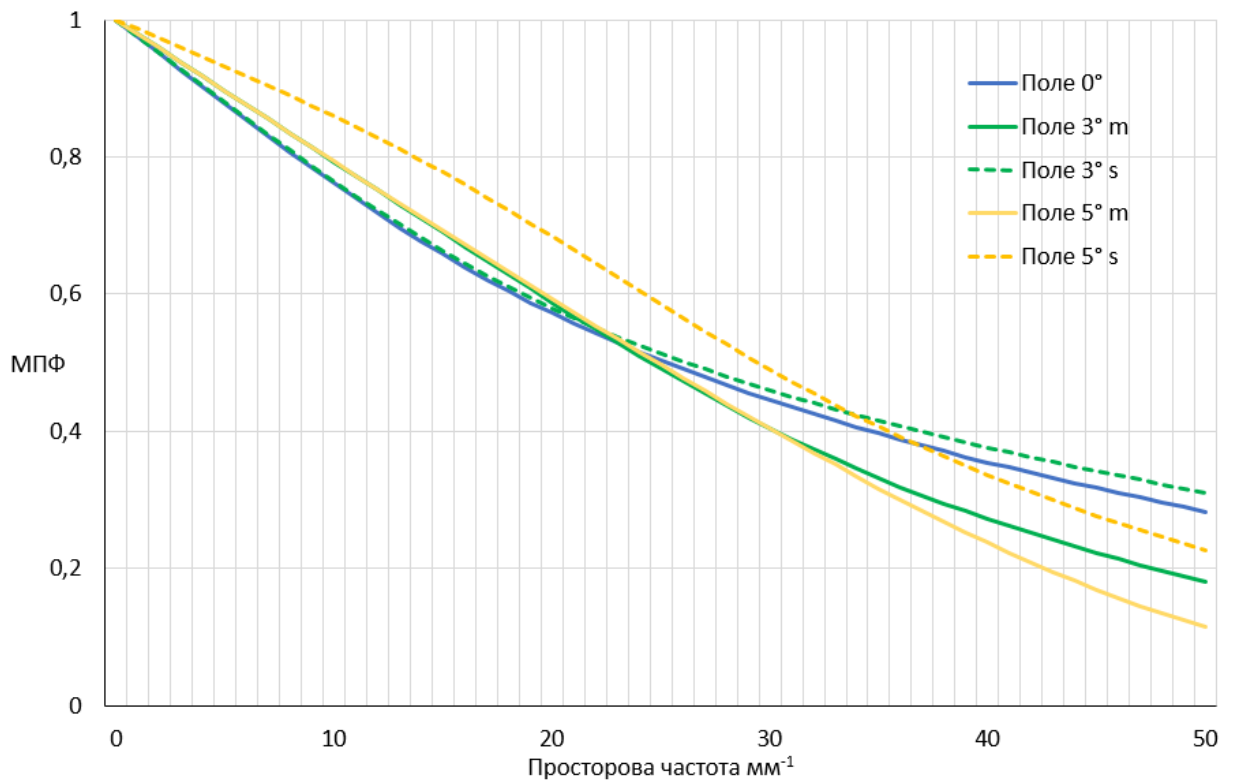


Рисунок 3. Графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розробленого окуляра для різних точок поля зору

## ВИСНОВКИ

Запропонований підхід, що базується на використанні програми проектування оптичних систем **PODIL** дозволив синтезувати оптичну систему окуляра для мікродисплея в автоматизованому режимі. Перевагами розрахованої оптичної системи є значне віддалення зіниці, невелика дисторсія та висока якість зображення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Microdisplay [Електронний ресурс] // Techopedia Inc.– 2019. – Режим доступу: <https://www.techopedia.com/definition/23572/microdisplay>
- [2] Microdisplays: Small Screens with Big Potential [Електронний ресурс] // Radiant Vision Systems – 2019. – Режим доступу: <https://www.radiantvisionsystems.com/blog/microdisplays-small-screens-big-potential>
- [3] Kopin Unveils ‘Lightning’ 2k x 2k 120Hz OLED Microdisplay for Mobile VR [Електронний ресурс] // Road to VR. – 2017. – Режим доступу: <https://www.roadtovr.com/kopin-unveils-lightning-2k-x-2k-120hz-oled-microdisplay-mobile-vr/>

## УДК 621.391

*О.В. Федорець, студент гр. ПІ-51-2, д.т.н., проф. Боровицький В.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ОГЛЯД ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ КАМЕР ТА СИСТЕМ

**Анотація.** Гіперспектральні камери дозволяють отримати очне гіперспектральне зображення, що збирає і обробляє інформацію про електромагнітний спектр. Гіперспектральні камери можна класифікувати за типом хвиль та за діапазоном їх довжини. Гіперспектральні камери також входять до складу зйомочних гіперспектральних систем, що використовуються у космонавтиці, для досліджень у польових або у лабораторних умовах.

**Ключові слова:** гіперспектральна камера, аерознімальна бортова гіперспектральна система, польова гіперспектральна система, настільна гіперспектральна система.

### ВСТУП

Вивчення гіперспектральних камер триває вже більше 30 років. За цей час знання в області гіперспектрального зображення розвинулись з теоретичного рівня до практичної розробки приладів, призначених для отримання гіперспектральних даних. Задачею гіперспектрального зображення є отримання спектру для кожного пікселя зображеної сцени, з метою знаходження об'єктів, визначення матеріалів, або здійснення процесів розпізнавання [1]. Експлуатаційні характеристики сучасних гіперспектральних камер забезпечують високу швидкість фіксації та дуже низький рівень шуму. Сьогодні існують камери на основі систем з плоскими лінзами, з сенсорами на основі дзеркального сканування та обертання, а також з сенсорами з переформатованими волокнами.

### МЕТА РОБОТИ

Здійснити огляд технічних параметрів і функцій гіперспектральних камер з метою їх подальшої класифікації за категоріями, а також дослідити де і в яких сферах гіперспектральні камери можуть бути застосованими.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У гіперспектральних камерах є сенсор зображення з багатоспектральними смугами, що поєднують в собі колір і ближню інфрачервону візуалізацію. Вони створюють зображення з високою роздільною здатністю та накопичують набори даних з тією ж швидкістю, що і отримують знімки. Гіперспектральні камери фіксують кольори, використовуючи більше 150 спектральних смуг у діапазоні довжини хвиль від 3500 до 1700 нм та забезпечують максимальну роздільну здатність у форматі 3650x2,048 px (7 Mpx) [5]. Ці камери виводять та передають гіперспектральні зображення протягом декількох секунд за рахунок сканування, яке відбувається всередині камери у мініатюризованому відділі. Він обробляє зображення у режимі реального часу та передає його на комп'ютер.

Гіперспектральні камери успішно застосовуються у різних сферах, зокрема у медицині, а саме хірургії, у харчовій промисловості, сільському господарстві, приладобудуванні, машинобудуванні та ін. Аналіз отриманих зображень дозволяє провести детальний огляд та вирішувати багато завдань: моніторинг стану сільськогосподарської рослинності (в польових умовах); дослідження в

області клітинної біології; геологічне картографування; лабораторний аналіз мінералів та їх класифікація; сортування продуктів харчування і визначення їх якості; сортування твердих побутових відходів; визначення уражених ділянок мозку під час нейрохірургічних операцій; визначення осередків онкологічних захворювань внутрішніх органів; діагностика очних захворювань; контроль якості медичних препаратів в фармакології [4].

Гіперспектральні камери розрізняють за діапазонами довжини хвиль. Отже, за даним критерієм існують чотири типи гіперспектральних камер, технічні характеристики яких наведено у табл.1.:

### **1. Гіперспектральні камери ближнього ультрафіолетового діапазону (з діапазоном хвиль 350–800 нм)**

Гіперспектральні камери для зйомки в ближній ультрафіолетовій (NUV - Near Ultraviolet) області спектру з діапазоном хвиль 350-800 нм. Такі камери мають високу просторову роздільну здатність. Вони обладнані призначеними для користувача високопродуктивним об'єктивами, оптимізованими для отримання ультрафіолетового зображення, які мають високу просторову роздільну здатність, охоплюють більш широкий спектральний діапазон. Характеризуються підсиленням відгуком в блакитній зоні спектра, відмінною температурною стабільністю [6].

### **2. Гіперспектральні камери короткого інфрачервоного діапазону (з діапазоном хвиль 450–950 нм)**

Гіперспектральні камери короткого інфрачервоного діапазону (SWIR - Short-wavelength infrared) розподіляються на три типи. Гіперспектральні камери першого типу базуються на новітніх оптичних технологіях. Камери були розроблені для цілей високоточної зйомки, тому мають високу спектральну роздільність - 3600 spectra/cube. Змінні призми дозволяють вибирати різні варіанти діапазонів для зйомки.

Гіперспектральні камери другого типу є кадровими, нескануючими спектрометрами. Володіючи можливістю вести зйомку в ближній інфрачервоній зоні, камери можуть застосовуватися як в лабораторних, так і в польових умовах. Унікальний принцип роботи камер гарантує легке отримання гіперспектральних зображень, обробку в реальному режимі часу, аж до подання їх у вигляді відеоряду.

Гіперспектральні камери третього типу є найпростішими з усього набору кадрових камер. Вони поєднують в собі високу точність гіперспектральних камер з простотою зйомки, характерною для звичайних фотокамер. При використанні камер для аерофотозйомки весь обсяг даних передається на наземні станції в процесі польоту, що дозволяє швидко аналізувати зображення.

### **3. Гіперспектральні камери середнього інфрачервоного діапазону (з діапазоном хвиль 600–1000 нм)**

Гіперспектральні камери середнього інфрачервоного діапазону (MWIR - Mid-wavelength infrared) базуються на технології однокристалльної системі фільтрування. Зйомка ведеться у шістнадцяти або двадцяти п'яти спектральних каналах. Дані зберігаються на карту пам'яті. Є вбудований процесор, який дозволяє зберігати і автоматично обробляти отримані зображення. Додаткове

обладнання дозволяє встановлювати камеру на безпілотні літаючі апарати для проведення аерофотозйомки.

#### **4. Гіперспектральні камери довгого інфрачервоного діапазону (з діапазоном хвиль 900-1700 нм)**

Сюди відносять гіперспектральні камери для зйомки в дальній інфрачервоній (LWIR - Long-wavelength infrared) області спектра. До цієї категорії відносять також гіперспектральні камери для зйомки в дальній інфрачервоній області спектра з високою частотою отримання кадрів.

Таблиця 1. Технічні параметри гіперспектральних камер

№п/п	Параметри	Камери		Камери інфрачервоного випромінювання	
		ультрафіолетового випромінювання	Камери з коротким діапазоном	Камери з середнім діапазоном	Камери з довгим діапазоном
1.	Спектральний діапазон, нм	350-800	450-950	600-1000	900-1700
2.	Спектральна роздільна здатність, нм	2,5	20	4	5,5
3.	Число спектральних каналів	184	16-25	125	180
4.	Радіометрична роздільна здатність, біт/піксель	12	10	12	14
5.	Максимальна частота кадрів, кадри/сек	67	145	180	250
6.	Ступінь спектрального викривлення, μм	4	2	5	10
7.	Характеристика світлової плями, μм	8	7	6	10

Гіперспектральні камери часто входять до складу гіперспектральних знімальних систем. Серед них виділяють аерознімальну, польову і настільну гіперспектральні системи.

Аерознімальна бортова гіперспектральна система (Airborne Hyperspectral Imaging Systems) – це бортова система повністю укомплектована обладнанням і програмним забезпеченням, необхідним для отримання геоприв'язаних просторових гіперспектральних даних [3]. Вона містить в собі гіперспектральну камеру, програмне забезпечення для трансформування знімків, комп'ютер для зберігання даних, службове програмне забезпечення для обробки і аналізу гіперспектральних даних, інерційну навігаційну систему GPS / IMU, що забезпечує точність позиціонування даних, гнучку систему монтажу сенсора і ін. Бортові системи зазвичай компактні можуть бути встановлені як на пілотованих, так і на безпілотних апаратах. Сервісне обслуговування передбачає радіометричне і спектральне калібрування отриманих зображень.

Польова гіперспектральна знімальна система (Field Hyperspectral Imaging Systems). Змонтована на штативі, польова гіперспектральна система призначена для використання на місцевості (поза приміщенням). Система включає в себе гіперспектральну камеру, штатив з ноутбуком, що обертається, сканувальний



пристрій, блок живлення, програмне забезпечення для обробки і аналізу гіперспектральних даних, модуль для радіометричного калібрування [2].

Настільна лабораторна гіперспектральна знімальна система (Benchtop Hyperspectral Imaging Systems). Настільна система включає в себе гіперспектральну камеру, монтажну стійку, освітлювальне обладнання, сканувальний пристрій, блок живлення, програмне забезпечення для обробки і аналізу гіперспектральних даних, модуль для калібрування.

## **ВИСНОВКИ**

Гіперспектральні камери використовуються у різних сферах, в тому числі у медицині, а саме хірургії, офтальмології, фармакології, у харчовій промисловості, геології, біології, сільському господарстві, приладобудуванні, машинобудуванні та ін. Аналіз гіперспектральних камер за їх властивостями, діапазоном довжини хвиль і за типом хвиль дозволяє прийти до висновку, що гіперспектральні камери можна класифікувати за чотирма категоріями: гіперспектральні камери ближнього ультрафіолетового діапазону (350-800 нм), короткого інфрачервоного діапазону (450-950 нм), середнього інфрачервоного діапазону (600-1000 нм) та довгого інфрачервоного діапазону (900-1700 нм).

Гіперспектральні камери входять до складу гіперспектральних зйомочних систем: аерознімальних бортових гіперспектральних систем, польових гіперспектральних знімальних систем, настільних лабораторних гіперспектральних, знімальних систем.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Chang, C. I. (2003). *Hyperspectral imaging: techniques for spectral detection and classification* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- [2] Cloutis, E. A. (1996). Review article hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17(12), 2215-2242.
- [3] Goetz, A. F., Boardman, J. W., Kindel, B. C., & Heidebrecht, K. B. (1997, October). Atmospheric corrections: on deriving surface reflectance from hyperspectral imagers. In *Imaging Spectrometry III* (Vol. 3118, pp. 14-23). International Society for Optics and Photonics.
- [4] Hagen, N. A., & Kudenov, M. W. (2013). Review of snapshot spectral imaging technologies. *Optical Engineering*, 52(9), 090901.
- [5] Landgrebe, D. (1999). Information extraction principles and methods for multispectral and hyperspectral image data. *Information processing for remote sensing*, 82, 3-38.
- [6] Muhammed, H. H. (2005). Hyperspectral crop reflectance data for characterizing and estimating fungal disease severity in wheat. *Biosystems Engineering*, 91(1), 9-20. [0].

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Боровицький В. М.*



## **Секція 3.**

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

УДК 621.865.8

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

## **ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ**

**Анотація.** В даній статті описано важливість використання промислових роботів при зварювальних роботах. Описано початок їх використання на виробництвах та види зварювальних робіт, які роботи можуть виконувати.

**Ключові слова:** Роботизоване зварювання, дугове зварювання, зварювання опором, роботехнічний процес, точкове зварювання, лазерне зварювання, плазмове зварювання.

### **ВСТУП**

Роботизованим зварюванням називається використання механізованих програмованих інструментів (роботів), які повністю автоматизують процес зварювання, виконуючи процес з'єднання та обробляючи деталь. Процеси зварювання, такі як зварювання металеву дугою, є зазвичай автоматизовані, але іноді людина-оператор готує матеріали, які будуть зварюватися. Зварювання роботом найчастіше використовується при зварюванні опором та дуговому зварюванні, та на сьогоднішній день найбільшої популярності ці машини набули в автомобільній промисловості [1].

### **КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У 1962 році, роботизоване зварювання знайшло своє перше практичне застосування. Робот, розроблений Джорджем Деволом і Джозефом Енгельбергером, під назвою «Unimation 001» був впроваджений на заводі General Motors для точкового зварювання на складальній лінії, оскільки це завдання було небезпечне для людей. Але тільки в 1980-х роках роботизоване зварювання почало набирати популярність, в основному в автомобільній промисловості. Інші автомобільні компанії побачили вигоди GM від автоматизації зварювання і почали впроваджувати роботизовані процедури точкового зварювання й на своєму виробництві. Популярність роботів в першу чергу обмежується високими витратами на обладнання, а внаслідок цього й обмеженням їх використання на малих підприємствах [2].

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Роботизоване дугове зварювання почало швидко зростати порівняно недавно, і вже зараз близько 20% усіх зварювальних робіт виконується роботами. Основними складовими роботів для дугового зварювання є маніпулятор, який ще називають механічним блоком, та контролера, який виконує роль «мозку» машини. За допомогою маніпулятора робот рухається, і дизайн цих систем можна розділити на декілька загальних типів. Основні це SCARA роботи і декартові координатні роботи, і кожна з цих систем використовує різну систему координат для керування рукою роботу при зварюванні [3].

На даний час існує декілька різних типів роботизованого зварювання, які мають свої переваги й недоліки.

Типи робототехнічних процесів зварювання:

Дугове зварювання: процес з'єднання заготовок за допомогою однієї або декількох електричних дуг, внаслідок яких на кромках залишається шов. Зварювання електричною дугою використовують, коли потрібно досягти високої точності, або при великій кількості повторів.

Зварювання опором: між двома металевими пластинами металу проходить струм, в результаті чого утворюється басейн, і ці дві частини з'єднуються між собою. Найбільш якісною формою такого зварювання є з'єднання деталей малого перетину, наприклад дротів, труб, дротів та деталей з термообробкою.

Точкове зварювання: різновид зварювання опором, точкове зварювання з'єднує тонкі метали, які є стійкими до проведення електричного струму. Зазвичай він використовується в автомобільній промисловості для з'єднання металевих каркасів.

Зварювання TIG: ручне дугове зварювання неплавким електродом, яке відбувається в середовищі інертного газу. Найчастіше в якості інертного газу використовують аргон, а неплавкого електроду – вольфрам. Використовують коли точність має велике значення.

Зварювання MIG: процес високої швидкості осадження, який включає безперервну подачу дроту до нагрітого наконечника. Цей процес також відомий як автоматичне дугове зварювання металевим електродом, це найкраще застосування, коли потрібна просто та швидко виконати зварювання.

Лазерне зварювання: лазерний генератор постачає через волоконно-оптичний кабель лазерне випромінювання за допомогою роботизованої різальної головки, щоб зварити їх в одне ціле. Лазерне зварювання, включаючи дистанційне лазерне зварювання для важкодоступних місць зварювання, часто використовується для великих підприємств, які вимагають високої точності, таких як автомобільний сектор, медицина або ювелірна промисловість.

Плазмове зварювання: іонізований газ проходить через мідну насадку для отримання підвищених температур. Плазмове зварювання використовують, коли потрібна гнучкість, оскільки швидкість зварювання та температуру легко регулювати [4].

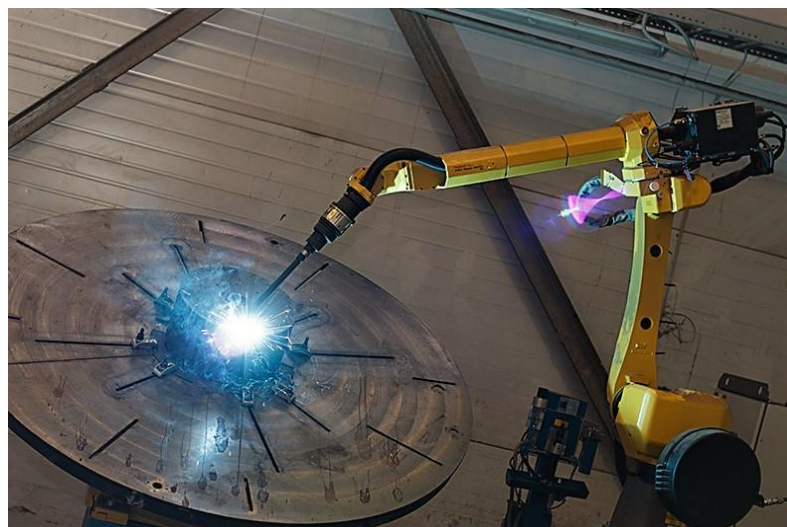


Рисунок 1. Приклад роботизованого зварювання [5].

## ВИСНОВОК

Хід робота при зварюванні може залежати від одного з наступних методів: або його положення попередньо запрограмоване, або використовувати машинний зір. Також ці методи можна комбінувати. Багато переваг роботизованого зварювання доводять, що ця технологія є необхідною на виробництвах, тому що допомагає багатьом великим виробникам покращувати пропускну здатність, повторюваність і точність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Pires, Welding Robots. Pires, J. Norberto, Loureiro, Altino, Bölmsjo, Gunnar, 444 N. Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611. – 206. – P. 1 – 287
- [2] Occupational Safety and Health Administration Publication No. 3067. *Robtic Welding, Intelligence and Automation*. U.S. Department of Labor. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20210. – 2007. – № 65. – P. 23–362.
- [3] **Nayak**, *Inteligent Seam Tracking fr Robtic Welding*. **Nayak**, Nitin R., Asok, Ray. Northbrook, Illinois. – 1993. – P. 3 – 173.
- [4] **Chen**, Transactions on Intelligent Welding Manufacturing. Chen, Shanben, Zhang, Yuming, Feng, Zhili (Eds.), Washington, D.C.. – 2017. – P. 63 – 214.
- [5] Сайт «Nordica Sterling» / Компанія Nordica Sterling – Роботизоване зварювання корпусів вентиляторів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nordicasterling.com.ua/realzovan-proekti/robotizaczuya-zvaryuvannya/zvaryuvannya-ventilyatorv.html>

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

**УДК 621.91.01:004.94**

*Л.П. Давидюк, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНО - ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ**

**Анотація.** В статті розглядаються питання визначення пружно - деформованого стану деталі в процесі та після її механічного оброблення. Наведено переваги використання методу скінченних елементів як чисельного методу вирішення практичних завдань при 3D моделюванні, а також методу застосування системи FEMAP для комп'ютерного моделювання поверхневого стану деталі.

**Ключові слова:** метод скінченних елементів, режими різання, пружно - деформований стан, залишкові напруження, система FEMAP.

### **ВСТУП**

При проектуванні операцій механічної обробки одним із ключових завдань є призначення раціональних режимів різання. Від режимів різання багато в чому залежить якість оброблюваної поверхні, продуктивність і точність обробки, а також пружно - деформований стан деталі в процесі та після її оброблення.

Незважаючи на велику кількість робіт в області дослідження якості поверхневого шару і аналізу пружно - деформованого стану, як і раніше недостатньо вивчена задача перерозподілу залишкових напружень в поверхневому шарі деталей складної просторової форми, що призводить до їх викривлення і порушення геометричної точності. Крім того, багато які з існуючих в даний час методів розрахунку залишкових напружень і деформацій складні для ефективного використання в виробничих умовах або мають ряд суттєвих обмежень.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

В даний час в теорії та практиці технології приладобудування широко використовуються різні методики для визначення режимів різання, які умовно можна розбити на кілька груп – теоретичні, теоретико-експериментальні та експериментальні. При цьому розрахункові методики складні і громіздкі для обчислень. Вони знайшли обмежене застосування в практиці виробництва. Методики, що засновані на експериментальних даних, досить прості і дають прийнятний результат, проте їх головним недоліком є те, що в них використовуються коефіцієнти та інші дані, які отримані експериментальним шляхом в конкретних умовах. Ці дані буває важко перенести на умови, що відрізняються від вихідних. Багато деталей складної геометричної форми, виготовляють з важкооброблюваних матеріалів, тому сили і моменти різання при їх обробці можуть бути досить великими, що нерідко викликає вібрації інструменту і незадовільну якість обробленої поверхні. Крім того, при неправильному призначенні режимів різання, надмірні напруги, викликані силами різання, можуть привести до деформації і навіть до поломки різального інструменту [1]. Тому поставлена задача розроблення методики комп'ютерного аналізу стану поверхневого шару деталі після її механічного оброблення.

## **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ**

Рішенням даної задачі є розробка нових розрахункових методів, заснованих на використанні сучасних систем комп'ютерного моделювання і чисельного аналізу, з відповідним науковим узагальненням відомих теоретичних і практичних розробок в даній області.

Аналіз наукової літератури дозволив встановити, що є доцільно управляти величиною залишкових деформацій і напружень за допомогою режимів різання, тобто за допомогою зміни швидкості різання, подачі і глибини різання. Основною перевагою використання цих параметрів, крім того, що вони мають найбільший вплив на формування напружено-деформованого стану деталі, є простота їх зміни технологом, що дозволяє використовувати вже існуючий технологічний процес, внісши в нього мінімальні коригування.

Аналіз літературних джерел також показує, що найбільш перспективним методом є метод скінченних елементів, застосування якого дозволяє з мінімальними витратами часу домагатися потрібних результатів. З його допомогою можна моделювати процес різання, здійснювати розрахунок напружень, що виникають в деталях, виконувати їх попередню оцінку, прогнозувати можливі деформації, аналізувати геометричну точність деталей і їх придатність для складання і експлуатації, розробляти рекомендації по призначенню технологічних умов обробки. При взаємодії заготовки та інструменту можуть бути змодельовані різні контактні умови. В результаті розрахунку можуть бути отримані не тільки сили різання, але і вся картина напружено деформованого стану, як заготовки, так і інструменту (напруги, деформації, інтенсивності напружень і деформацій, контактні навантаження і т. д.). Причому все це можна виконати ще на етапі технологічної підготовки виробництва до того, як деталі будуть виготовлені [2].

Метод скінченних елементів широко використовують для вирішення практичних завдань механіки деформованого твердого тіла, зокрема для виконання розрахунків на міцність на етапі 3D-проектування конструкцій. Ідея методу полягає в тому, що будь-яку безперервну величину можна апроксимувати кусочно-безперервною функцією, яка будується на значеннях досліджуваної величини в кінцевому числі точок розглянутих елементів.

Метод скінченних елементів - це варіаційний метод. Функціонал енергії для всієї розглянутої області тут представляється у вигляді суми функціоналів окремих її частин - скінченних елементів. По області кожного елемента, незалежно від інших, задається свій закон розподілу шуканих функцій. Така кусочно-безперервна апроксимація виконується за допомогою спеціально підібраних апроксимуючих функцій, які називаються також координатними або інтерполюючими.

З їх допомогою шукані безперервні величини (переміщення, напруги і т.д.) в межах кожного кінцевого елемента виражаються через значення цих величин в вузлових точках, а довільне задане навантаження замінюється системою еквівалентних вузлових сил.



При такій кусочно-безперервній апроксимації забезпечується умова спільності лише в вузлах, а в інших точках на межі кінцевого елемента ця умова задовольняється в загальному випадку наближено (в зв'язку з цим розрізняють кінцеві елементи різного ступеня спільності). Метод скінченних елементів застосовується для різних завдань механіки деформованого твердого тіла, гідро- і газодинаміки, електромагнетизму і т. д. Однією з основних завдань у цій галузі є завдання визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, деталі після її обробки чи в процесі експлуатації (або більш строго - твердого тіла) при заданих умовах термомеханічного навантаження [3].

Остаточним завданням визначення НДС механічної конструкції є відшукування в кожній точці конструкції напружень, деформацій і переміщень, що виникають в ній в результаті впливів на конструкцію механічних, газо- і гідродинамічних, теплових і інших навантажень в процесі її реальної роботи.

Програмні комплекси FEMAP і MSC / NASTRAN for Windows - це системи, засновані на методі кінцевих елементів і призначені для розрахунку статичних напруг і деформацій, стійкості, визначення власних частот і форм коливань, аналізу теплових сталей і перехідних процесів, а також завдань статички і динаміки в нелінійній постановці для широкого класу машинобудівних і інших конструкцій. Програми поєднують в собі потужні аналітичні можливості процесора і легкість роботи з графічним призначенням для користувача інтерфейсом.

Найбільш загальна блок-схема алгоритму розв'язання задачі із застосуванням комп'ютерних технологій інженерного аналізу на основі методу скінченних елементів умовно представлена трьома великими блоками: пре-процесорний, аналітичний і пост-процесорний. Пре-процесорний блок включає в себе підготовку вихідних даних, тобто генерацію повної скінчено елементної моделі об'єкта проектування в пам'яті комп'ютера. Сюди, наприклад, входять: формування геометричної моделі (вигляду об'єкта); завдання властивостей використовуваних матеріалів; опис властивостей скінченних елементів; генерація звичайно-елементної сітки; завдання варіантів граничних умов, тобто опорних частин моделі; завдання варіантів зовнішнього впливу різної природи [4].

Аналітичний, або процесорний, блок – це безпосереднє рішення глобальної системи алгебраїчних рівнянь, отриманої після реалізації варіаційного підходу методу скінченних елементів для вирішення диференціального рівняння розглянутого фізичного процесу. результатом цього рішення є визначення поля невідомої величини в вузлових точках скінчено-елементної моделі об'єкта. Щодо цієї величини визначаються інші – залежні величини. Наприклад, при вирішенні задач міцності, з реалізацією варіаційно - енергетичного підходу методу переміщень теорії пружності, в якості базового невідомого використовується вектор переміщення, на основі якого в подальшому визначаються вектора деформацій, напружень та ін.

Результати роботи у середовищі Femap зображені на рис.1. Справа від 3D моделі деталі знаходиться кольорова шкала, за якою можна визначити фактичні значення розв'язку задачі. В результаті розрахунку отримані епюри

деформованої моделі в якій колірний діапазон залежить від рівня напружень в даному місці деталі. Робота пост-процесорного блоку спрямована, в основному, на візуалізацію результатів розрахунку (рис. 1).

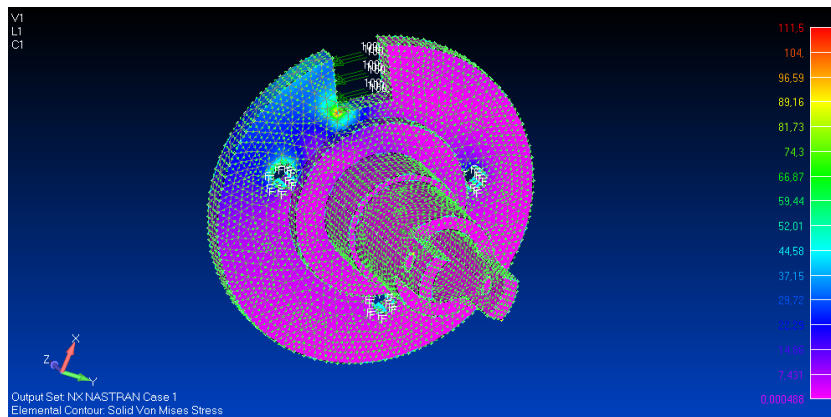


Рис.1. Діаграма напружень деталі.

В результаті формуються розрахункові залежності для знаходження допустимих величин сил і моментів різання, а також необхідні залежності для визначення або коригування режимів різання для конкретних технологічних умов обробки деталей. Таким чином, застосовуючи запропоновану методика і сучасні системи кінцево - елементного аналізу можна значно спростити завдання технолога при проектуванні операцій обробки різанням.

## ВИСНОВКИ

Застосування методів комп'ютерного аналізу дозволяє знизити витрати на матеріальні та трудові ресурси, тому що реальний експеримент замінюється віртуальним, скоротити тривалість технологічної підготовки виробництва, підвищити якість прийнятих технологічних рішень, а, отже, і якість виробів, що випускаються, спростити і прискорити процес складання виробів і їх стабільність при експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Болотеин А.Н. Анализ напряжённно-деформированного состояния деталей после механической обработки средствами компьютерного моделирования [Текст] / *Вестник РГТУ имени П. А. Соловьёва. – Рыбинск: РГТУ, 2014. – №1(28). – С. 54 – 61.*
- [2] Шинкаренко Г.А. Проекційно-сіткові методи розв'язування початково-крайових задач. – Київ: УМК ВО, 2011. – 88 с.
- [3] Секулович М. Метод конечных элементов / *Пер. с серб. Ю.Н. Зуева; Под ред. В.Ш. Барбакадзе. – М.: Стройиздат, 2008. – 664 с.*
- [4] Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике/ *Перевод с английского. Под редакцией Победри Б.Е. – М.: МИР, 1975. –542 с.*

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

**УДК 621.91.01:338.27:004**

*Доценко О.К., студент гр. ПБ-81мп, Рижук Я.О. студент гр. ПБ-81мп, к.т.н.,  
Стельмах Н.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗРОБКА САПР ДЛЯ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Анотація.** В роботі розглянуто принцип побудови системи автоматичного проектування для зберігання, обробки та порівняння даних для адитивного виробництва.

**Ключові слова:** адитивні технології, САПР, 3D-друк, база даних.

### **ВСТУП**

В даний час поставлено питання про перехід від виготовлення частин конструкції приладів або деталей для прототипування стандартним способом, до виготовлення на основі адитивних технологій, тому що це підвищує коефіцієнт використаного матеріалу, істотно скорочує виробничі витрати, а також призводить б до збільшення швидкості виробництва виробів. Впровадження і використання адитивних технологій в проектуванні і виробництві являється актуальним завданням, оскільки при цьому досягається високий техніко-економічний ефект. Фактично доведено, що виготовлення прототипів деталей і конструкцій на основі адитивних технологій призводить до підвищення коефіцієнта використання матеріалу, що в свою чергу – до істотного скорочення виробничих витрат.[1]

### **ПІДГОТОВКА ДО ПРОЕКТУВАННЯ САПР**

Під компонентами САПР виготовлення виробів для протипопування на основі адитивних технологій мається на увазі розробка програмного модуля, призначеного для зберігання, обробки і оцінки даних про основні параметри деталей або частин приладів, витратних матеріалів і технологій адитивного процесу, а також для здійснення розрахунку витрат необхідних коштів для виготовлення компонентів за допомогою адитивних технологій.

База даних повинна містити в собі інформацію про:

- 3D-принтери, за допомогою яких планується здійснювати процес виготовлення деталей;
- технологію 3D-друку;
- опис конструкційних параметрів деталі;
- витратні матеріали, які використовуються для друку.

Маючи великий обсяг даних, що включає різні властивості об'єктів, групування можливо зробити різними способами. «Табл.1»

Перший спосіб – коли створюється максимально можлива кількість властивостей об'єкту. Даний спосіб з однієї сторони максимально описує властивості, які має принтер, деталь, або процес друку, а з іншої сторони не має чіткої структуризації. Також, при відсутності даних про ту чи іншу властивість, необхідно виключення параметру порівняння або оцінки даного параметру, доопрацювання і визначення значення в процесі підготовки або виготовлення.

Другий спосіб – створення структурованої бази даних, яка має прописані чіткі властивості для кожного об'єкта. Позитивним аспектом являється

визначена структура бази даних, що має відповідні критерії для порівняння і оцінки характеристик.

Третій спосіб – змішана база даних. Формування основної частини БД відбувається за декількома характеристичними властивостями, що притаманні для кожного об'єкта. Інші властивості (індивідуальні) прописуються для кожного значення параметру окремо, що дає змогу отримати повну структуровану БД із ключовими і допоміжними властивостями. [2]

Таблиця 1. Приклад можливого структурування властивостей об'єкта

<i>Об'єкт</i>	<i>Ім'я стовбця</i>	<i>Тип даних</i>	<i>Значення NULL</i>	<i>Опис</i>
Принтер	BPLength	float	ні	Довжина робочої зони
	BPWidth	float	ні	Ширина робочої зони
	BPHeight	float	ні	Висота робочої зони
	LThickness	float	ні	Товщина шару
	Technology_ID	int	ні	Ідентифікатор технології
	Manufacturer_ID	int	ні	Ідентифікатор виробника
	AdditionalProperties	xml	да	Додаткові властивості

### **ПІДГОТОВКА ДАНИХ ПРО ВИРОБИ**

Для оптимального використання і зберігання та, в подальшому, можливого порівняння виробів, необхідно щоб конструкція і властивості були найбільш повно описані за заданими значеннями. Починаючи від габаритних розмірів: довжина, ширина, висота; до необхідної точності, шорсткості поверхневого шару, даних про наявність отворів, даних про складні конструкційні елементи, використання у агресивному середовищі та додаткові властивості, які являються важливими для виготовлення конкретного прототипу деталі.

Разом із даними, до бази даних буде вноситись картинка головного виду деталі, що дасть змогу оцінити конструкцію елемента не відкриваючи модель, та сама модель файлу у форматі STL (Компас, Catia, AutoCAD за необхідністю).

Після безпосереднього друку моделі до БД будуть вноситись дані про кількість витраченого матеріалу, час роботи та можливі помилки при друці та примітки, що дасть змогу скорегувати конструкцію деталі або режими друку при подальшому використанні цієї моделі [3-4].

### **ПІДГОТОВКА ДАНИХ ПРО МАТЕРІАЛ ДЛЯ ДРУКУ**

Матеріал, який використовується для друку, має різні хімічні та фізичні властивості, цінову політику, по різному витримує навантаження та має різні технологічні процеси, при яких його необхідно використовувати.

Розподілення матеріалу виконується за двома ступенями-критеріями – за типом, що дозволить відбирати необхідним матеріал за основними властивостями, та за фізико-хімічними властивостями – для орієнтування та вибору необхідного матеріалу в межах однієї групи, що дозволить скоротити вибір і пошук по базі даних.

Відображення розподілення за даними критеріями показано в Таблиці 2.

Таблиця 2. Приклад можливого двоступеневого розбиття властивостей

<i>Об'єкт</i>	<i>Ім'я стовбця</i>	<i>Тип даних</i>	<i>Значення NULL</i>	<i>Опис</i>
Матеріал	ID	int	ні	Ідентифікатор таблиці
	Name	Nvarchar (300)	ні	Назва матеріалу
	MaterialType_ID	int	ні	Ідентифікатор типу матеріалу
	AdditionalProperties	xml	так	Додаткові властивості матеріалу
Тип матеріалу	ID	int	ні	Ідентифікатор матеріалу
	Name	int	ні	Назва матеріалу
	AdditionalProperties	xml	так	Додаткові властивості матеріалу
	ForPrint	Nvarchar (300)	ні	Принтери, де може використовуватись матеріал

## **ВИСНОВОК**

У зв'язку з нарощуванням виробництва прототипування деталей із використанням адитивних технологій, необхідність у збереженні і обробленні інформації про дані вироби стає все більш актуальною і необхідною. Розробка САПР дозволить структурувати дані для виробництв, дасть можливість вибору і порівняння даних та скоротить час на прийняття рішення.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] 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
- [2] Стельмах Н.В. Формування моделі опису структури складального виробу в приладобудуванні // Н.В. Стельмах // Наукові вісті НТУУ КПІ. - 2013. - 1. - С. 106–110.[doi.org/10.20535/1810-0546.2013.1.90717](https://doi.org/10.20535/1810-0546.2013.1.90717)
- [3] Доценко О. К., Стельмах Н. В. Моделювання елементів підтримок виступаючих частин надрукованих деталей. – 2018.
- [4] Программное обеспечение для 3D принтеров [Електронний ресурс]. – 2019.

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

## УДК 621.391

*Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

*Анотація.* У даній роботі описана система діагностики різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва, яка базується на вимірюванні потужності різання та вимірюванні сигналу акустичної емісії. Дана система контролює інтенсивність зношування різального інструменту та може прогнозувати його працездатність, що підвищує точність, ефективність та якість механічної обробки.

**Ключові слова:** процес різання, різальний інструмент, автоматизація, діагностика, ЧПК, зношення.

#### **ВСТУП**

Обсяги виробництва збільшуються разом зі збільшенням кількості споживачів, прогрес не стоїть на місці і розробляється все нова та нова продукція, а це змушує шукати нові технології виробництва, та вдосконалювати вже відомі. В умовах великих обсягів виробництва необхідно перевіряти кожен етап виготовлення, для того щоб процес не зупинявся і не втрачались прибутки. Дуже важливою частиною контролю виробництва є діагностика стану різального інструменту безпосередньо в момент обробки деталі. Зараз існує дуже багато різних систем для діагностики ріжучого інструменту, які базуються на вимірі сили різання, електричних параметрів, сигналу акустичної емісії та багато інших, які дають можливість перевіряти стан ріжучого інструменту саме в процесі різання [1]. Але все новіші технології потребують постійного покращення існуючих можливостей, і в тому числі систем діагностики. Вдосконалення систем діагностики повинно дати приріст в точності, надійності та простоти використання в умовах автоматизованого виробництва, а також це повинно спростити для людини сам процес виготовлення деталей.

#### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

При різанні робочі поверхні різального інструменту піддаються дії різного роду впливу, а саме фізико-механічного та хімічного, що зменшує ефективність різального інструменту через деформацію, зношення та несправності інструменту. Постійне зношення інструменту сприяє погіршенню його конструктивних параметрів та в загальному зменшує ефективність, внаслідок чого якість і точність механічної обробки знижується, а процент браку лише збільшується, від чого зменшується продуктивність виробництва. Внаслідок чого виробництво стає збитковим та не виправдовує вкладені в нього ресурси та сили [2].

Для того щоб уникнути цих проблем, необхідно використовувати системи діагностики різального інструменту на верстатах з ЧПК, що дасть можливість вчасно змінювати ріжучий інструмент ще до того як він неочікувано вийде з ладу та зіпсує деталь. Система діагностики дозволить проводити контроль стану різального інструменту в режимі реального часу, а також знизить ймовірність неправильної оцінки працездатності різального інструменту і невірних дій системи автоматизованого контролю процесу обробки. А також система діагностики повинна мати можливість використання в умовах автоматизованого

виробництва без серйозних конструктивних змін технологічно-оброблювальних систем (ТОС) [3].

## **МЕТА РОБОТИ**

Покращення існуючих систем діагностики ріжучого інструменту, на основі створення системи на основі контролю параметрів потужності різання та параметрів акустичної емісії.

## **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Процес різання відбувається за допомогою багатьох фізико-хімічних явищ, таких як механічні, електричні, адгезійні, дифузійні, теплові і ін. які виникають в результаті взаємодії інструменту із заготовкою. Всі ці явища несуть в своїх параметрах інформацію про процес різання і якщо знати залежність параметрів від зносу, то можна оцінити величину зносу різального інструменту [3].

Після експериментальних досліджень було зроблено висновок, що найбільш інформативним параметрами, за допомогою яких можна дізнатись про стан різального інструменту є потужність різання та акустична емісія [4].

Дана система має два контури контролю. Перший контур – швидкореагуюча підсистема аварійної зупинки, яка на підставі потужності різання, у випадку її виходу за допустимі межі, безпечно і в той же час швидко аварійну зупинку. Зупинка спричиняється через кілька факторів, такі як збільшення сили різання та наявність в матеріалі твердих включень тощо, або ж поломка інструменту. Другий контур – підсистема прогнозування стану різального інструменту, за допомогою комбінаційного параметра [5] АЕ:

$$W_m = (A^2 * N_\epsilon) / P_c, \quad [1]$$

де  $A^2 * N_\epsilon$  потужність акустичної емісії;  $A$  – амплітуда сигналу АЕ;  $N_\epsilon$  – активність сигналу АЕ;  $P_c$  – потужність різання.

Система діагностики різального інструменту складається з датчика вимірювання сигналу акустичної емісії 1 (рис.1) сигнал від якого через підсилювач 2 і фільтр низьких частот 3 надходить на вхід АЦП 6. Інший діагностичний сигнал від датчика вимірювання потужності різання 4, через підсилювач 5, також надходить на вхід АЦП. Обробка і аналіз параметрів проводиться за допомогою ЕОМ 12, до складу якої входить: блок оцінки інтенсивності і розмір зносу 7, де на підставі даних про максимальне і мінімальне значення потужності різання 8 здійснюється моніторинг аварійного стану, в разі виходу значення потужності різання з допустимих меж на виконуючий механізм 15 (блок керування двигуном, блок керування приводом) подаються відповідні сигнали аварійної зупинки. Також в блоці 7 спостерігається інтенсивність і значення зносу різального інструменту, при якому використовується поправочний коефіцієнт  $k_w$ , який знаходиться в БД 9. При оцінюванні зносу інструменту враховуються режими роботи ТОС, які передаються в блок 7 від блоку ЧПК 13, який керує процесом обробки на підставі керуючої програми 14. Після визначення зносу дані про нього передаються на блок 10, де відбувається моделювання процесу обробки, за допомогою якого обчислюється залишкова

стійкість інструменту, а також проводиться прогнозування зносу інструменту, а також проводиться прогнозування зносу інструменту, на основі даних отриманих від ЧПК. У блоці 11 формуються керуючі, корекційні сигнали для зміни режимів обробки які надходять на блок ЧПК. У разі, коли корекція процесу обробки неможлива, то здійснюється зупинка процесу обробки або заміна різального інструменту. У блоці ЧПК, на основі керуючих сигналів від блоку 11, вносяться зміни в команди управління, які надходять на виконуючі механізми 15.

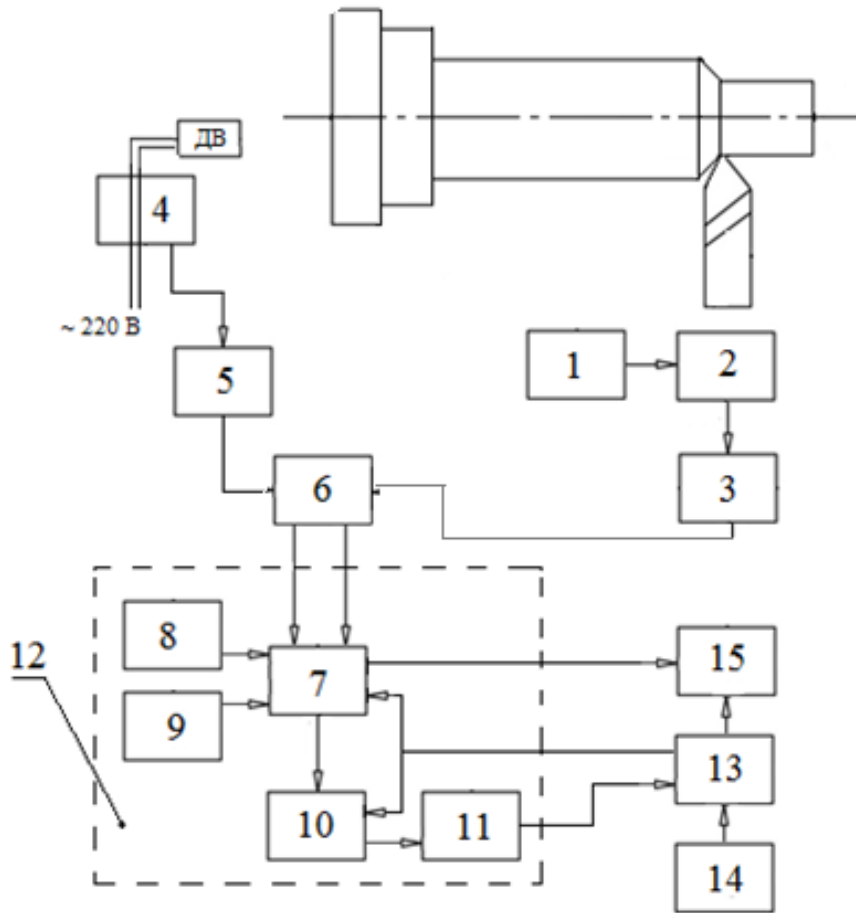


Рисунок 1. Блок-схема діагностики працездатності ріжучого інструменту в умовах автоматизованого виробництва

## ВИСНОВКИ

Описана система діагностики різального інструменту дає можливість проводити контроль зношення та поломки ріжучого інструменту, допомагає підвищити точність та надійність процесу механічної обробки, дає можливість зменшити кількість браку, що безпосередньо і необхідно в автоматизованому виробництві.

На основі даної системи можна розробити систему автоматизованого контролю стану всіх вузлів технологічно-оброблювальних систем та процесу обробки в цілому, що надасть можливість підвищити якість та надійність готової



продукції і повністю виключити непередбачувані поломки оброблювальних систем.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Григорьев С. Н. Диагностика автоматизированного производства. Москва: Машиностроение, 2011. – 600с.
- [2] Шевченко В. В. Контроль состояния режущего инструмента с помощью электрических сигналов / Приборостроение: возможности и перспективы, 25-26 апреля 2006 г., Киев, 2006, с. 112-113.
- [3] Остафьев В. А., Тымчик Г. С. , Шевченко В. В. Адаптивная система управления. Механизация и автоматизация управления. Киев, 1983, №1, с. 18-20.
- [4] Подураев В. Н., Барзов А. А., Горелов В. А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. //Москва: Машиностроение, 1988.- 56с.
- [5] Скороход А. А., Шевченко В. В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного производства. Современные научные исследования и инновации. 2014. №4 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014>.

## УДК 629.9

*А. С. Затуленко, студентка гр. ПБ-51, асистент Заєць С. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

*Анотація.* В даній статті описано вплив процесу зношування різального інструменту на точність механічної обробки.

*Ключові слова:* знос різального інструмента; заточка і доведення.

#### **ВСТУП**

У сучасних умовах швидкого розвитку різних конструкцій машин велике значення набуває проблема точності в технології машинобудуванні та приладобудуванні. Підвищення точності сприяє покращенню експлуатаційних якостей машин, забезпечує економію матеріалу, скорочує трудомісткість технологічного процесу виготовлення деталей, а також знижує трудомісткість складання машин. Проблема точності пов'язана з важливою проблемою забезпечення взаємозамінності виробів. Розробка проблеми точності повинна бути в напрямку вивчення зв'язків між різними явищами механічної обробки, виявлення первинних похибок, аналізу їх виникнення, дослідження шляхів їх усунення і підвищення точності.[1]

#### **ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА**

Зношування різального інструмента дуже відрізняється від зносу деталей машин, так як зона різання, в якій працює різальний інструмент, має високу хімічну чистоту поверхонь що піддаються тертю, високу температуру та тиск в точці дотику.

При нормальних умовах роботи різального інструмента основною причиною затуплення є знос який відбувається при стиранні його робочих поверхонь. Такий знос є характерним для всіх інструментів в металообробній промисловості.[2]

Процес зношування різального інструменту мають такі особливості: великий питомий тиск на інструмент, високу твердість інструментального матеріалу в порівнянні з оброблюваним, високу температуру контакту поверхонь тертя інструменту і деталі, видалення продуктів зносу та постійне оновлення поверхонь тертя деталі.[3]

На характер розподілу похибок в межах обробки партії заготовок істотно впливає знос ріжучого інструменту. Ріжучий інструмент в процесі різання формує нову поверхню з утворенням стружки, впливаючи на опрацьований матеріал. При цьому сам ріжучий інструмент піддається впливу з боку оброблюваного матеріалу, працює в умовах дії високих тисків на поверхнях контакту, високих температур, а також в умовах тертя поверхонь інструменту і заготовки. Такі умови роботи викликають інтенсивний знос поверхонь ріжучого інструменту, який в тисячу разів перевершує інтенсивність зношування поверхонь тертя деталей машин.

Робочі поверхні ріжучого інструменту зношуються як від механічного впливу, так і в результаті молекулярно-термічних процесів, що відбуваються в зоні різання. Одним з поширених видів зносу є абразивний, при якому руйнування матеріалу відбувається внаслідок зрізання і дряпання більш твердими і високошвидковими в порівнянні з ним частинками. Адгезійний обумовлений молекулярною взаємодією контактуючих поверхонь і виражається в прилипанні та зварюваності частинок матеріалів. Здатність атомів одного тіла проникати в інше тіло, що знаходиться з ним в контакті, обумовлює третій вид зношення дифузний. Питомий вплив кожного з них залежить від умов обробки, а так само від властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу ріжучої частини інструменту.

Графічне зображення закономірності наростання величини зносу (Рис. 1) за час роботи різального інструменту називається кривою зносу. На кривій зносу можна виділити три основних ділянки: 1 - період початкового зносу, який триває всього декілька хвилин. На цій ділянці відбувається прискорений знос, що є наслідком стирання виступаючих ділянок окремих нерівностей і загладжування слідів на заточеній поверхні інструменту. У цей період шорсткість оброблюваної поверхні зазвичай зменшується; 2 - період характеризується нормальним зносом інструмента. Він починається з моменту, коли величина шорсткості стає невеликою. При цьому знос поступово збільшується приблизно пропорційно часу роботи інструменту (це найбільш тривалий період роботи); 3 - період швидкого катастрофічного зношування, який супроводжується неприпустимими при нормальній експлуатації значним викришуванням і навіть поломками інструменту.

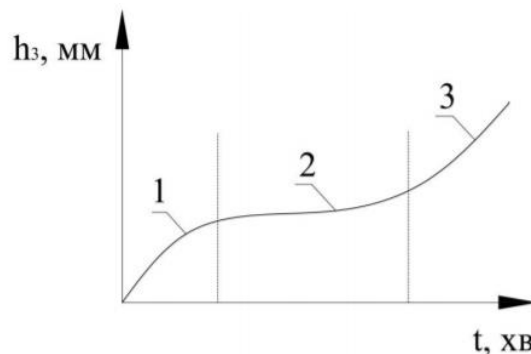


Рис. 1. Графік зміни зносу інструменту за час його роботи

Тільки по задній поверхні зношування різального інструменту виникає при обробці крихких матеріалів, при різанні яких утворюється стружка надлому, яка не є суцільним міцним тілом. Знос різального інструменту тільки по передній поверхні відбувається при обробці в'язких металів з великими площами перерізу, при яких утворюється стійкий нарост, що виключає контакт задньої поверхні з оброблюваним матеріалом. На практиці різальний інструмент зношується одночасно по задній і передній поверхнях, що виражається в зменшенні ріжучого леза інструмента, отже, призводить до збільшення відстані між ріжучою кромкою інструмента і оброблюваною поверхнею.[4]

Відновлення на інструменті заданих геометричних параметрів ріжучої частини і його ріжучих властивостей, втрачених в результаті зносу і затуплення, здійснюється шляхом заточки і доведення. Якісні і своєчасні заточка і доведення інструменту дозволяє не тільки встановити його геометричні параметри, але сприяють поліпшенню якості поверхні оброблюваних заготовок, підвищення продуктивності праці робітників основного виробництва, скорочення витрат інструменту, ритмічної і безперебійної роботи металорізальних верстатів.

Якщо на швидкорізальному різці здійснити доведення основних елементів ріжучої частини, то при тій же величині його стійкості можна збільшити швидкість різання на 10-15%. Якщо швидкість різання залишити в тих самих межах, то стійкість доведеного швидкоріжучого різця зросте майже в 2 рази, що зменшить витрати на інструмент і знизить допоміжний час, яке пов'язане зі зміною інструменту і переналагодження верстата.[5]

### **ВИСНОВОК**

Отже, величина зносу безперервно збільшується в міру роботи інструменту: найбільш інтенсивно - в початковий період, більш-менш рівномірно - на протязі певного проміжку часу, а потім - з різко зростаючої інтенсивністю. Якщо робота не буде припинена своєчасно, то наслідком може бути катастрофічний знос інструменту або його поломка. Це доведено численними дослідженнями, проведеними в області різання металів, і підтверджується наведеним графіком зносу. Застосовуючи заточку і доведення передньої і задньої поверхні інструмента, можна різко скоротити період первісного зносу і надати позитивний вплив на характер і інтенсивність подальшого зносу інструменту, на збільшення його стійкості і тим самим поліпшити точність механічної обробки поверхні деталі.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Корсаков О. В. Точность механической обработки: Москва, 1961. – 3с
- [2] Лоладзе Т. Н. Міцність і зносостійкість ріжучого інструменту / Т. Н. Лоладзе. - М.: Машинобудування, 1982. – 320 с.
- [3] Коробов Ю. М. Електромеханічний знос при терті і різанні металів / Ю. М. Коробов, Г. А. Прейс. - Київ: Техніка, 1976. – 200 с.
- [4] Лурье Г.Б. Износ режущего инструмента / Г.Б. Лурье. - М.: Высшая школа, 1991. – 354 с.
- [5] Попов С. А. Заточка и доводка режущего инструмента: Москва «Высшая школа», 1986. –129с.

*Наук. керівник – асистент Заєць С. С.*

**УДК 629.7.035**

*П.І. Карасьов, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ГВИНТОВОГО РУШІЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

**Анотація:** Ця стаття присвячена огляду вибору принципу приведення в дію безпілотного літального апарату. В роботі було виконано порівняння та проаналізовано доцільність використання штовхаючого та тягнучого гвинта при конструюванні безпілотного літального апарату з максимальними характеристиками дальності та стабільності польоту.

**Ключові слова:** Безпілотний літальний апарат (БПЛА), повітряний гвинт, тягнучий гвинт, штовхаючий гвинт, аеродинаміка, повітряний потік.

### **ВСТУП**

Конструкція повітряного гвинта, як механізму, що перетворює обертальний рух в поступальний відома людству вже досить давно. Однак практичне застосування його в якості рушія в повітряному середовищі фактично почалося тільки з появою перших аеропланів. Насправді гвинт може виконувати функцію не лише елемента, що тягне, але й штовхає. Все залежить від його розташування, як рушія, відносно решти елементів конструкції літального апарату. Однак, мається на увазі не лише зміна точки прикладання сили, а важливим є те, що разом з цією зміною відбувається зміна умов роботи всього літального апарату. Зміни ці впливають на аеродинаміку, конструктивне виконання, вагу і центрування, безпеку і зручність льотної і наземної експлуатації та інші подібні особливості літального апарату. Після виконання необхідних конструкторських розрахунків, порівняння всіх наявних практичних рішень приймається зазвичай компромісне рішення (що часто буває в авіації) і виконується вибір на користь тієї або іншої конструктивної схеми.

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ**

Розглянемо поняття ефективності повітряного гвинта, тобто його ККД. Конструктивні умови установки штовхаючого гвинта на літальному апараті можуть сприяти збільшенню його ефективності в порівнянні з ефективністю тягнучого гвинта, що працює в тих же умовах. Адже як відомо, ККД повітряного гвинта дорівнює відношенню його корисної тягової потужності до потужності ним споживаної (або інакше кажучи ефективної потужності двигуна). Корисна тягова потужність завжди менша споживаної, тому що частина її витрачається на інші цілі, з тягою непов'язані [1]. Наприклад, це закрутка потоку повітря, що викидається або подолання аеродинамічного опору при взаємодії її з елементами конструкції, яке може бути чималим, тому що швидкість цього струменя значно більша швидкості польоту, а «взаємодіяти» доводиться з різними елементами конструкції, зокрема з крилом, хвостовим оперенням і з фюзеляжем (в першу чергу).

У підсумку маємо чим менше і менших за площею елементів конструкції літального апарату обдувається струменем від повітряного гвинта, тим нижчий приріст опору і відповідно, вище ефективна (або корисна) тяга рухової установки. Для тягнучого повітряного гвинта уникнути обдування струменем від

нього елементів конструкції неможливо. А значить корисна тяга і ККД відповідно, будуть знижені, для штовхаючого ж гвинта є варіанти. Для літаючих апаратів початку століття штовхаючий гвинт безумовно спричиняв чималий додатковий опір при охолодженні фермового фюзеляжу і цілої системи тяг і розчалок [3, 4, 5].

Для сучасних же літаків, з двигуном, змонтованим за хвостовим оперенням, або перед ним, що штовхає гвинт може виявитися в цьому сенсі вигідним. Даний проект БПЛА - як приклад. Тут перешкод для струменя за гвинтом практично немає.

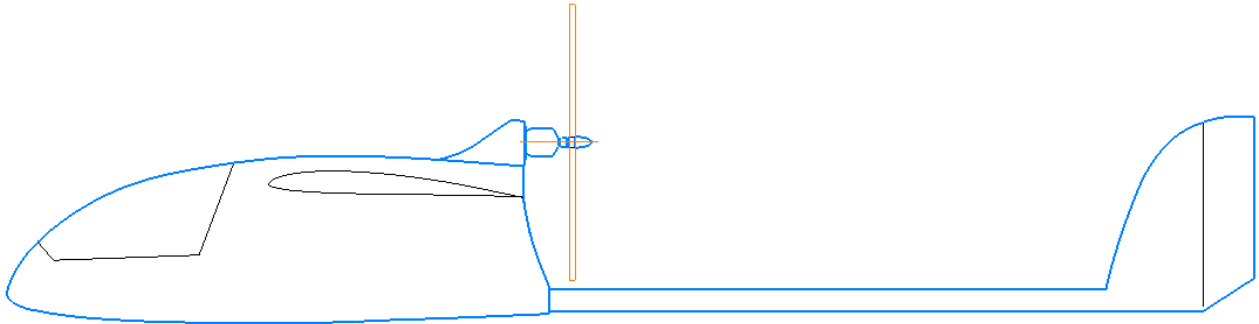


Рисунок 1. Зображення відсутності перешкод для повітря

Таке відчутне зменшення аеродинамічного опору може позитивно вплинути на аеродинамічну якість літака і його крейсерські характеристики, а саме дальність польоту, а також тягнучий повітряний гвинт обдуває крило, а значить літальний апарат отримує деякий приріст підйомної сили, що може поліпшити, наприклад, злітно-посадочні характеристики. У штовхаючого гвинта цих властивостей звичайно немає, і додаткової «дармової» підйомної сили він позбавлений. Однак, при цьому додатковому обдуву може піддаватися хвостове оперення (якщо гвинт розташований перед ним) [3, 5], що збільшує його ефективність. Хоча, і тут є ложка дьогтю: ця ефективність може виявитися досить залежною від режиму роботи двигуна і гвинта, може виявитися зайвою або недостатньою, що звичайно треба якось враховувати при створенні ЛА.

Але з іншого боку, якщо гвинт, що тягне зазвичай сприймає і «переробляє» незбурений потік, то штовхаючий багато в чому позбавлений цієї можливості. У площину, що омивається лопатями штовхаючого гвинта, цілком ймовірно потрапляння потоку, взаємодіючого з поверхнями, розташованими перед гвинтом, а значить ймовірно обуреного і містить вихори різної інтенсивності і обсягу. Це, в свою чергу, негативно впливає на ефективність роботи гвинта і тепер уже знижує його ККД, в деяких випадках досить відчутно. Такого роду явища можуть, наприклад, відчутно проявитися при установці двигунів на задній кромці крила [1].

При цьому проблема зниження ефективності може супроводжуватися зростанням циклічних і вібраційних навантажень на елементи конструкції гвинта, так як кожна з його лопатей циклічно потрапляє під вплив вихору, що сходить з кромки крила, що ставить не тільки завдання збільшення ефективності гвинта, але і його міцності. В цьому плані практично гарантовано збільшення гучності штовхаючого гвинта. Причому шум цей може відчуватися в кабіні

навіть сильніше, ніж при тягнучому розташуванні гвинта. Як з цих «сторін» надає більший вплив на льотні та експлуатаційні характеристики літального апарату мабуть залежить від параметрів кожної конкретної конструкції і умов її експлуатації. Втім це відноситься і до всіх інших особливостей тягнучих і штовхаючих гвинтів.

## **АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Гвинт, що тягне, закручуючи повітряний потік і змушуючи його спірально обертатися навколо літака, породжує тим самим бічну силу, що впливає на киль. Це змушує вживати заходів технічного або експлуатаційного характеру для забезпечення стійкості літака.

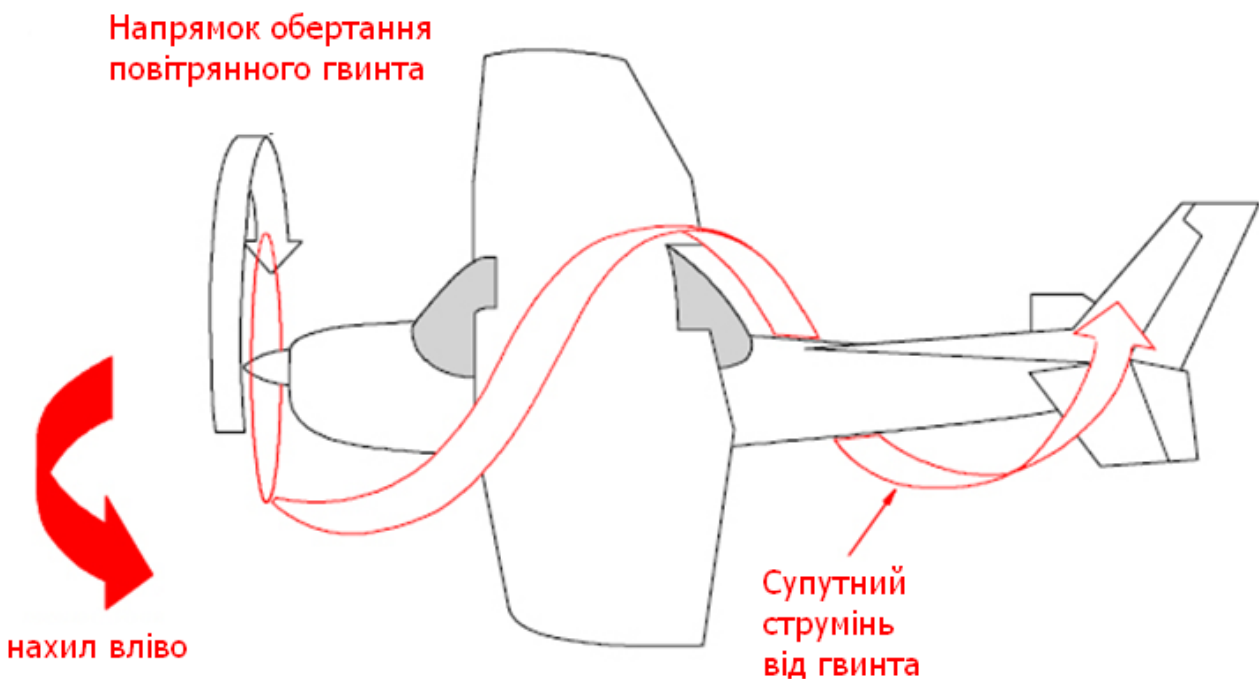


Рисунок 2. Зображення бічної сили при використанні тягне гвинта.

Для штовхаючого ж гвинта такі заходи фактично не потрібні. Адже бічної сили може просто не бути. Правда багато що залежить тут від місця розташування гвинта по відношенню до хвостового оперення. А сам повітряний струмінь від штовхаючого гвинта, встановленого в кінці фюзеляжу може відігравати певну стабілізуючу роль в дорожньому відношенні, що дозволяє пушер мати киль меншої площі і бути менш чутливим до бічного вітру при зльоті та посадці [6].

## **КОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ**

При використанні штовхаючого гвинта через заднє розташування досить важкого двигуна буває досить непросто забезпечити правильну центровку з дотриманням норм стійкості для даного літального апарату, а в експлуатації перед вильотом ще й виконувати правильний розподіл корисних вантажів в ньому. При цьому через зміщення центру ваги до задньої частини літака може проявитися схильність до плоского штопору (більша ніж у літака з тягне гвинтом). Заднє розташування штовхаючого гвинта, особливо за хвостовим

оперенням підвищує ймовірність торкання лопатями поверхні ЗПС під час зльоту або посадки. Для виключення такої можливості на літаках необхідно або збільшувати висоту шасі, а це зайва маса, або вкорочувати лопаті, зменшуючи тим самим ефективність гвинта. Можна ще підняти двигун з гвинтом вище, що й було зроблено в даному проекті. Але при цьому, якщо лінія тяги піднімається вище центру ваги, можливе виникнення шкідливого крутного моменту, що опускає ніс на пікірування. Це також вимагає вжиття додаткових заходів для поліпшення стійкості літака у вигляді встановлення двигуна під кутом в додаткові 3 градуси [2, 6].

## **ВИСНОВОК**

При проектуванні даного БПЛА було вирішено застосовувати штовхаючий гвинт з метою підвищення аеродинамічних якостей літака і відповідно досягнення максимальної крейсерською дальності, що і було необхідно для безпілотного літального апарата, який буде використовуватись для аерофотозйомки.

Тобто було використано здатність штовхаючого гвинта підвищити аеродинамічну якість, що виражається в зменшенні коефіцієнта опору ( $C_x$ ) літального апарату за рахунок відсутності обдування деяких поверхонь, в даному випадку крила. Проте слід зазначити, що відсутність обдування негативно впливало на злітно-посадочні характеристики. Такий спосіб зменшення  $C_x$  виявився найбільш раціональним.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Александров В.Л. Воздушные винты Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1951, 476 - с.
- [2] Келдыш В.В. Проектирование и аэродинамический расчет воздушных винтов Труды ЦАГИ. — Издательство бюро новой техники, 1946. — Выпуск 588 — 65 с.
- [3] Стельмах Н.В. Формування моделі опису структури складального виробу в приладобудуванні // Н.В. Стельмах // Наукові вісті НТУУ КПІ. - 2013. - 1. - С. 106–110.[doi.org/10.20535/1810-0546.2013.1.90717](https://doi.org/10.20535/1810-0546.2013.1.90717)
- [4] Справочник авиаконструктора. Том I. Аэродинамика самолета Издание Центрального аэро-гидродинамического института, 1937. — 512 с. ил.
- [5] Справочник авиаконструктора. Том III. Прочность самолета М.: Издание Центрального аэрогидродинамического института, 1939. — 654 с.
- [6] Карасьов П. I., Стельмах Н. В. Автоматизация полётного контролю беспилотных летательных аппаратов. – 2018.
- [7] Справочник авиаконструктора. Том II. Гидромеханика гидросамолета М.: Издание Центрального аэрогидродинамического института, 1938. — 280 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.*



УДК 681.2:538.5

О.В. Кириєнко, студент, гр. ПБ-51, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНТРОЛЬ ЯКІСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ

**Анотація.** Наведено аналіз застосування вихрострумowego методу для контролю різального інструменту в умовах виробництва. Приведено еквівалентну схему системи для вихрострумowego контролю деталей.

**Ключові слова:** діагностика, вихрострумовой метод, об'єкт контролю, електромагнітне поле.

### ВСТУП

Виробничі обсяги на даний момент все збільшуються, потреби у новій продукції змушують шукати нові технології виробництва та вдосконалювати вже відомі. У таких умовах, для виготовлення якісної продукції у великих кількостях, необхідно проводити ретельний контроль виробництва на всіх етапах виготовлення. Надзвичайно важливою складовою є діагностика працездатності різального інструменту безпосередньо в момент процесу обробки деталі. В даний час існує безліч систем діагностики та визначення дефектів ріжучого інструменту, деталей, заготовок, заснованих на вимірюванні сигналу акустичної емісії, сили різання, електричних параметрів, електромагнітних збурень, що виникають в металах [1].

Електромагнітний метод є найбільш безпечний та ефективний для контролю якості продукції в нинішніх реаліях. Якість за визначенням загального управління якістю – це відповідність вимогам споживача. Якщо розглядати якість з технічного боку, то це перш за все точність, швидкодія, довговічність, зручність, досконалість [2].

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Якість продукції визначається як технічним рівнем (якість проекту) так і добротністю виготовлення виробу (якість матеріалізації та тиражування проекту). Постановкою задачі являється визначення й підвищення рівня якості виготовлення продукції, здійснюючи зіставлення фактичних значень властивостей виробів до початку експлуатації з вимогами нормативної і технічної документації(креслення, технічні умови, стандарти). Чи вища якість виготовлення продукції, тим більше фактичні властивості виробу наближаються до запроєктованих [3].

З розвитком виробництва та в умовах жорсткої конкуренції проблема якості не спростовується, а навпаки постає дуже гостро, тому вирішувати її традиційними методами, тобто лише шляхом контролю якості готової продукції, практично неможливо. Для цього використовують надійні методи управління якістю на всіх етапах її виготовлення.

В даний час електромагнітні методи широко використовуються для контролю якості деталі як в процесі її виробництва на приладобудівних заводах, підприємствах паливно-енергетичного оборонно-промислового, транспортного, машинобудівного комплексів, так і при ремонті складних технічних об'єктів – теплових і атомних станцій, нафтохімічного устаткування, авіа і ракето-

космічної техніки, морського, річкового, автомобільного та трубопровідного транспорту.

Розвиток і вдосконалення електромагнітних методів і засобів контролю якості зумовлено зростанням обсягів виробництва, складністю виробів, високими вимогами до інформативності та достовірності результатів, а також продуктивності.

Електромагнітний метод заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збуджуючою котушкою з електропровідних об'єктах контролю цим полем. В якості джерела електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка (одна або кілька), яка називається вихрострумовим перетворювачем (ВСП).

### РЕЗУЛЬТАТИ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з найважливіших параметрів вихрострумового неруйнівного контролю, який обмежує його використання, є глибина проникнення вихрових струмів. Встановлено, що цей параметр характеризує загасання плоскої електромагнітної хвилі в електропровідному об'єкті контролю і залежить від електрофізичних параметрів матеріалу об'єкту контролю та частоти збудження електромагнітного поля [4]:

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \sigma \mu_0 \gamma \mu^*},$$

де:  $\omega$  – кутова частота сигналу,  $\omega = 2\pi f$ , – циклічна частота сигналу;  $\sigma$  – питома електропровідність матеріалу об'єкту контролю;  $\mu_0$  – магнітна сила,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – відносна магнітна проникність матеріалу об'єкту контролю.

Дослідження глибини проникнення показали, що на неї доволі суттєво впливають діаметри обмоток об'єкту контролю, товщина зазору між об'єктом контролю зміщення об'єкту контролю до краю об'єкту контролю. В роботі [5] запропоновано ввести поняття реальної глибини проникання вихрових струмів, яка є доволі складною функцією багатьох аргументів. Уточнюючи зміст поняття глибини проникнення вихрових струмів дослідники дійшли висновку, що цей параметр має зв'язок з мінімальною товщиною об'єкту контролю і може бути меншим в 2,8 разів від розрахованого значення. Також було встановлено, що така глибина є ефективною глибиною проникання вихрових струмів.

Синусоїдальний (або імпульсивний) струм, що діє в котушка ВСП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електромагнітному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів діє на котушки перетворювача, наводячи в них ЕРС або змінюючи їх повний електричний опір. Реєструючи напругу на котушках або їх опір, отримують інформацію про властивості об'єкту, а також про стан перетворювача відносно нього. Приклад еквівалентної схеми для вихрострумового контролю деталей наведено на рисунку 1.

Об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути електропровідні прутки, дрiт, труби, листи, корпуси атомних реакторiв, пластини, покриття, у тому числі багаточарові, кульки і ролики підшипників, кріпильні деталі та інші вироби.

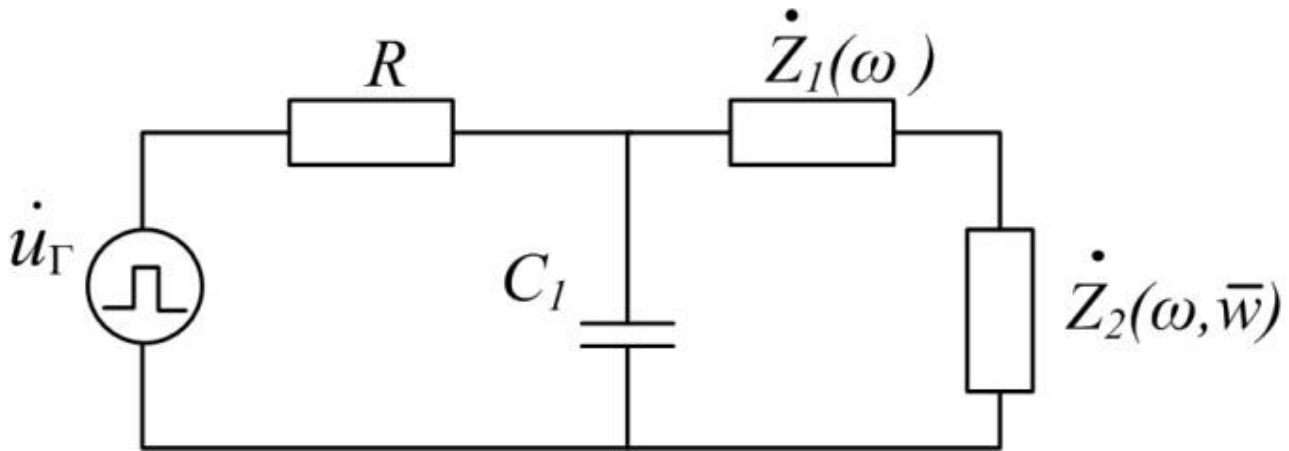


Рисунок 1. Спрощена еквівалентна схема системи «ВСП - магнітний ОК»

Особливостями вихрострумowego контролю є те, що його можна проводити без контакту перетворювача й об'єкта. Їх взаємодія відбувається на відстанях, достатніх для вільного руху перетворювача відносно об'єкта [6]. Сигнали перетворювача практично не впливають на вологість, тиск і забрудненість газового середовища.

Простота конструкції перетворювача – ще одна перевага ВСП. В більшості випадків котушки поміщають в запобіжний корпус і заливають компаундами, завдяки цьому вони стійкі до механічних і атмосферних дій, можуть працювати в агресивних середовищах в широкому інтервалі температур і тиску.

Підсумовуючи вищесказане важливим є те, що електромагнітний метод застосовується для контролю деталей, виготовлених з електропровідних матеріалів, який в основному придатний для виявлення поверхневих і близько розташованих до поверхні пошкоджень. Він дозволяє визначити форму і розмір деталі, виявити поверхневі і глибинні тріщини, порожнечі, неметалеві включення, міжкристалічну корозію, шорсткість, напругу і являється одним із основних методів контролю якості на всіх стадіях виготовлення деталей.

## ВИСНОВКИ

Контроль якості деталей приладів на основі електромагнітного методу на даний момент є прогресивним та універсальним. Суть даного методу полягає в тому що електромагнітне поле змінюється при наявності у деталей приладів порожнини та тріщин. В порівнянні з рентгенівським методом, електромагнітний метод є екологічно безпечним і економічно вигідним.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Остафьев В. А. Адаптивная система управления. / Остафьев В. А. Тымчик Г. С., Шевченко В. В. // *Механизация и автоматизация управления*. – 1983. – №1. – С. 18-20.
- [2] Гличев А. В., Клунов М. И. Управление качеством продукции: Учебное пособие / Гличев А. В., Круглов М. И. // - Москва: Экономика, 1979. – 230 с.
- [3] Гончарова Н. П., Солнинко К. С. Качество продукции: пути повышения: / Гончарова Н. П., Солонинко К. С. // - Київ: Вища школа, 1987. – 70 с.
- [4] Исследование импульсной вихретоковой системы контроля диэлектрических покрытий / Ю. Ю. Лысенко, Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин // *Ж-л «Научные известия на НТСМ»*. - Созополь, Болгария, 2014. – №150. – С. 28–30.
- [5] Pulsed Eddy Current Non-Destructive Testing of the Coating Thickness [Electronic resource] / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // *The e-Journal of Nondestructive Testing*. – 2014. – № 12, Vol. 19. – Access mode: [http://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/187\\_Lysenko\\_Rev1.pdf](http://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/187_Lysenko_Rev1.pdf) (last access: 05.07.17).
- [6] Імпульсний вихрострумний контроль товщини діелектричного покриття на магнітній основі / Лисенко Ю. Ю., Куц Ю. В. // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія приладобудування. – Київ, 2015. – Вип. 49. – С. 68–74.

**Наук. керівник - к.т.н., доцент Шевченко В.В.**

УДК 621.7

В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, асистент Заєць С. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНТРОЛЬ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ОСНОВІ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ

**Анотація.** У даній статті описано метод контролю режимів різання на основі віброакустичного моніторингу процесу металообробки.

**Ключові слова:** режим різання, віброакустика, моніторинг, стійкість, знос інструменту.

### ВСТУП

Одна з головних причин зниження точності обробки на металоріжучих верстатах зміна розмірів ріжучого інструменту внаслідок його зносу. Найчастіше трудомісткість обробки заготовки порівняна з ресурсом інструменту. Переривання процесу механічної обробки через знос інструменту часто призводить до браку дорогої деталі.

Контроль стану і заміна інструменту в реальних виробничих умовах здійснюється на основі розрахункової стійкості [1,2]. Залежно від якості інструменту його варіаційна стійкість в одній партії коливається від 15 до 35% [3-5]. Якщо час роботи інструменту визначається найгіршим зразком в партії, то найбільш стійкі зразки при фіксованому напрацюванні використовують свій ресурс лише на 65%.

Вимірювання зносу інструменту можна здійснювати після кожного циклу обробки [1,6], але в цьому випадку все одно важко спрогнозувати момент настання критичного стану інструменту наприклад, поломки, відколу, викришування тощо. Без інформації про інтенсивність зношування інструменту неможлива оптимізація процесів різання, тому що саме вона визначає тривалість різання до моменту заміни інструменту.

Вирішити цю проблему дозволяє віброакустична діагностика, застосовуючи в процесі механічної обробки свої добре відпрацьовані методи віброакустичного контролю стану об'єкта діагностування. Віброакустичний контроль процесу різання дозволяє: підвищити точність формоутворення і розмірну точність за рахунок корекції траєкторії інструменту, з урахуванням поточного значення зносу; вести оптимальне управління за критерієм зносу інструменту.

### ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Розглянемо один з можливих методів вибору необхідного поєднання параметрів режиму механообробки, що забезпечує задану тривалість різання, на базі віброакустичного контролю стану ріжучого інструменту.

Як приклад, шляхом комп'ютерного моделювання розглянемо управління процесом різання при поздовжньому точінні на верстаті 16К20Т1.

Контроль рівня звуку здійснювався протягом усього процесу обробки деталі за допомогою мікрофона, встановленого поблизу зони різання. Сигнал з мікрофона подавався на "звукову карту" комп'ютера, де піддавався оцифруванню і подальшій обробці за певними алгоритмами.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати експерименту та їх комп'ютерної обробки наведені на рис.1 і 2. На рис.1 показані характеристики звуку, що генеруються процесом різання на вихідному і скорегованому режимах різання. На рис.1 (г) представлено співвідношення між необхідною ( $T_{пр} = 1 \dots 20$  хв) і прогнозованою ( $T_{пр} = 20 \dots 100$  хв) стійкістю інструменту.

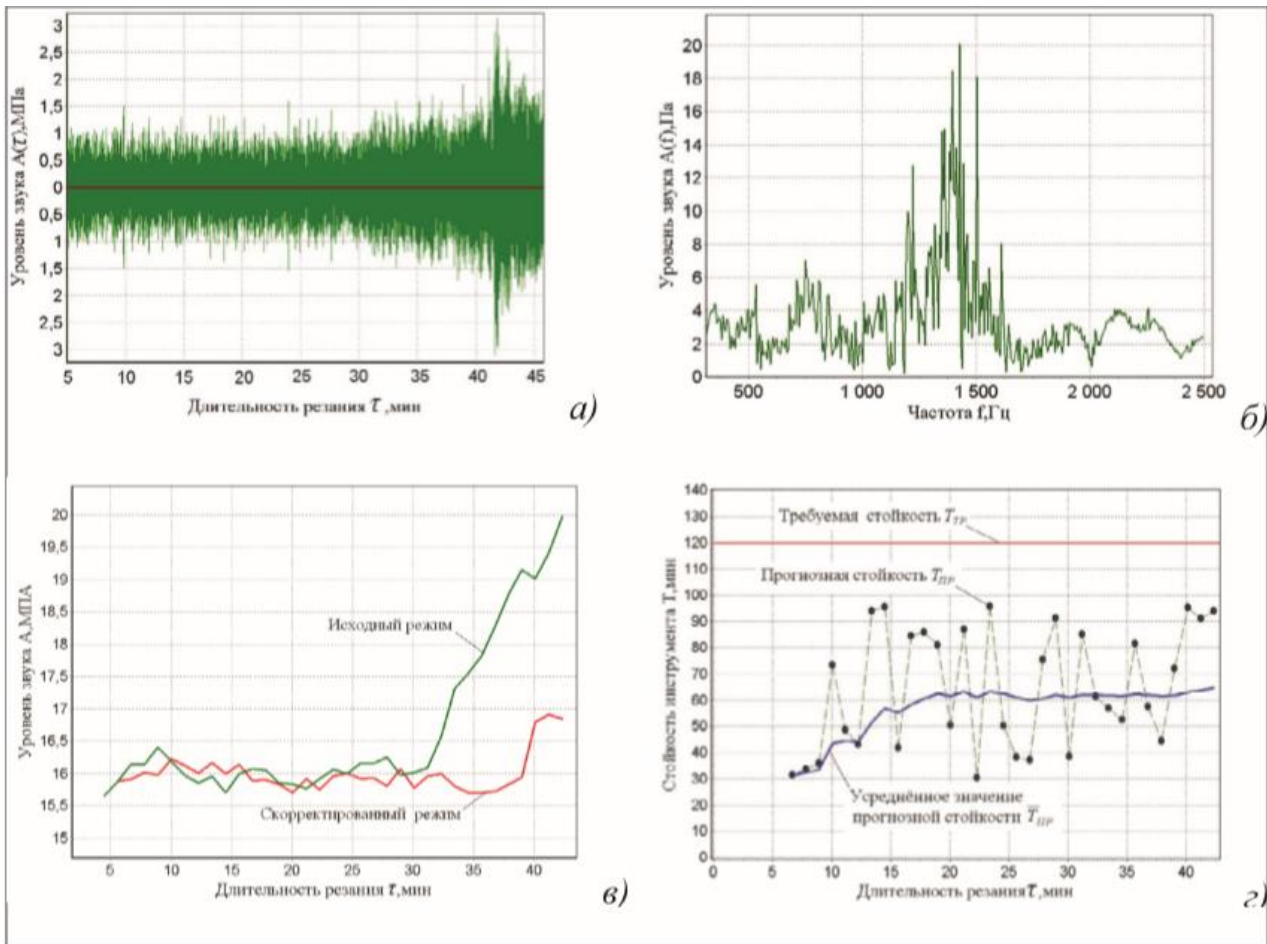


Рис.1. Характеристики звуку: а) тимчасова реалізація звуку; б) спектр звуку; в) тренд рівня звуку на початковому і скорегованому режимі різання; г) порівняння необхідної і прогнозованої стійкості інструмента

Як видно, прогнозована стійкість нестабільна за величиною, що пояснюється неоднорідністю структури матеріалу заготовки, що оброблюється. Так локальне підвищення твердості викликає зростання навантаження і, відповідно, локальне зростання градієнта рівня звуку. Зростання градієнта тягне за собою збільшення швидкості зносу інструменту і, відповідно, більш песимістичний прогноз його стійкості.

Нестабільність прогнозованої величини стійкості в свою чергу обумовлює нестабільність вибору величини регульованих параметрів режиму різання (рис.2). Дана обставина є абсолютно не прийнятною для систем автоматичного регулювання. З метою пошуку способу боротьби з цим явищем в розрахунках регульовані параметри знаходилися двома способами.

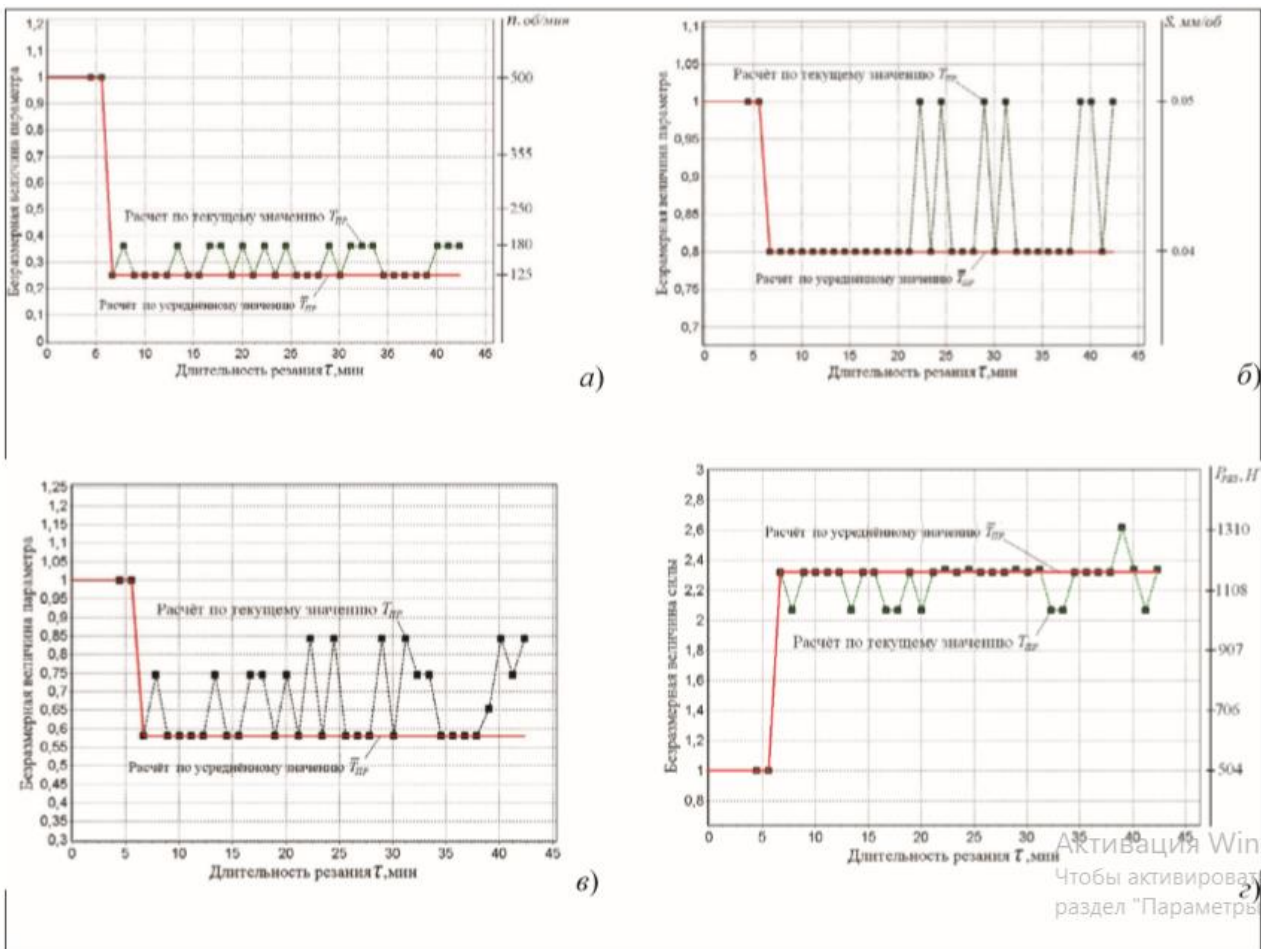


Рис.2. Характеристики режими різання при двох способах оцінювання прогнозованої величини стійкості інструмента: а) швидкість різання; б) подача; в) швидкість зносу; г) сила різання

При першому - використовувався поточний прогноз стійкості інструмента, а при другому - усереднена прогнозна величина (рис.1 г). Як і слід було очікувати усереднення дозволило істотно підвищити стабільність вибору регульованих параметрів (рис.2). На рис.2 приведена циклограма режимів різання і показано зміна швидкості зносу і сили різання, що відповідають даній циклограмі. Як бачимо, для завершення технологічного процесу необхідно зменшити швидкість зносу інструменту майже в два рази. Для виконання цієї умови слід зменшити подачу  $S$  на один щабель (з 0.05мм/об до 0.04 мм/об), а швидкість  $v$  знизити до мінімуму (рис.2 а і б).

## ВИСНОВОК

Впровадження в практику механообробки даного методу управління процесом різання дозволить уникнути браку, тому що він дозволяє «тримати руку на пульсі» і гнучко змінювати режим різання в залежності прогнозу стійкості інструмента. Тим самим забезпечується завершення поточного технологічного переходу без втрати якості обробки. Оснащення різців змінною твердосплавною ріжучою пластиною і зниження її ціни знімає гостроту питання, пов'язаного з витратою державок для різців. У цьому випадку на перше місце виходить проблема якості виготовленої деталі. Особливо гостро це питання



стоїть при одиничному і дрібносерійному виробництві, при обробці довгомірних і великогабаритних заготовок, де орієнтація на середньостатистичну міцність інструменту не припустима. Вирішити цю проблему можна тільки шляхом прогнозування фактичної стійкості інструменту, безперервно контролюючи процес металообробки. Один з методів такого контролю розглянуто в цій роботі. Цей метод може бути рекомендований для використання в практиці механообробки на верстатах з ЧПУ.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Иглин С.П. Математические расчеты на базе МАТЛАВ - СПб.: БХВ-Петербург, 2005- 640 с.
- [2] Подураев В.Н. Активный контроль износа инструмента методом акустической эмиссии / В.Н. Подураев, А.А. Барзов, А.В. Кибальченко // *Вестник машиностроения*, 1985.- №4.-С. 14-19 .
- [3] Грановский Г.И., Грановский В. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985.- №10.-С. 21-29.
- [4] Макаров А. Д. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. *Уч. пособие. Уфа, 1974, 372 с .*
- [5] Манжурнет В.К. Косвенный контроль размеров детали при точении по силе резания // *Технология и автоматизация машиностроения : Респ. Межвед. Научн. - техн. Сб ( Харьков), 1972.- Вып.9.-С.81-84.*
- [6] Кабалдин Ю.Г. Синергетический анализ причин возмущения вибраций при резании / Ю.Г. Кабалдин А.М. Шпилев, А.А. Просолович // *Вестник машиностроения, 1997.-N 10.-С. 21-29.*

*Наук. керівник – асистент Заєць С. С.*



УДК 001.83

*А.Г. Козловський, студент гр. ПБ-71мн, к.т.н., доц. Безуглий М.О.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СФЕРИЧНОГО РЕФЛЕКТОРА ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

**Анотація.** На основі аналізу актуальної проблеми затрати часу конструктором на оформлення креслення, як один із головних документів конструкторської документації, згідно діючого в Україні ГОСТ 2.307-68, у даній статті було розроблено прикладну програму, що дозволяє вирішити поставлену проблему системи автоматизованого проектування – розробка алгоритмів для документування, а саме оформлення вихідної технологічної документації засобами автоматизованого проектування. Розглянуто геометричні особливості сферичного рефлектора, фізичний зміст проходження, відбиття та фокусування світлового потоку в піддослідному зразку. Описано методику створення конструкторської документації засобами автоматизованого проектування на мові Python. На основі виготовлення готового креслення сферичного рефлектора показаний принцип застосування таких програм для формування будь-якої технічної документації з проставленням автоматичних розмірів, урахуванням технічних вимог, баз, шорсткості, квалітетів та покриття.

**Ключові слова:** сферичний рефлектор, конструкторська документація, світловий потік, креслення, конструктор, авто розмір, система автоматизованого проектування.

### **ВСТУП**

Сьогодні доволі активно розвиваються такі сфери діяльності як комп'ютерне програмування, сучасна нарисна геометрія, комп'ютерна графіка, проте створення конструкторської документації динамічними та технічними засобами є застарілим. Так, програмні середовища для створення конструкторської документації щороку оновлюються та процес оформлення креслень залишається незмінним. Наприклад, остання версія Kompas 18.1 надає деякі нові зручні функції у користуванні, до яких конструктор, неодмінно, звикає, але затрачає від 50 до 90% часу тільки на оформлення (конструкторська документації) КД.

Розвиток сучасних сфер виробничої діяльності також з кожним днем набуває швидких динамічних обертів, пов'язаних із використанням дієвих прогресивних технологій, методик, методів, технічних засобів, оснасток та інших засобів, необхідних для забезпечення умов та потреб виробництва. Відповідно до цього виробництва повинні шукати, розробляти, запозичувати нові прогресивні технології із залученням засобів автоматизованого проектування та прикладних програм систем автоматизованого проектування (САПР). Адже, розробка конструкторської документації на фоні національних підприємств є застарілою. Окрім того, використання стандартів типу ГОСТ є доцільним у зв'язку відсутності національних стандартів ДСТУ.

Одним із таких прогресивних кроків «уперед» є спрощення конструкторського процесу за рахунок використання засобів автоматизованого проектування на різних мовах програмування. Так, створені програми є мультифункціональними (прикладні програми САПР – система автоматизованого проектування) дозволяють розробити і оформити креслення відповідно до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), зокрема ГОСТ 2.307-68 (Нанесення розмірів і граничних відхилень).

## **МЕТА РОБОТИ**

В основу написання статті було поставлено задачу розробити програму для створення конструкторської документації сферичного рефлектора [1], як програми-зразка для використання готових прикладних програм САПР у конструкторських бюро, на виробництвах, цехах, у науково-дослідних лабораторіях, освітніх та авторських центрах, пов'язаних із створенням зразків що потребують внесення змін у геометричні параметри деталі, тобто виготовлення різних дослідних зразків.

Зараз ведуться розробки щодо спрощення процесу не тільки виготовлення, але й конструювання виробів, що в значній мірі дозволяє зекономити час, електроенергію, витрати на матеріали та іншого роду затрати, що відображаються на собівартості продукції.

## **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДЖЕРЕЛ**

Сьогодні спростити процес оформлення креслення за рахунок автоматичного проставлення розмірів в програмних середовищах дозволяють програми компаній відомих на цілий світ, зокрема такі програмні засоби як Tekla structures [2], ArchiCAD [3], AutoCad – KIM project (engineering solution), Solidworks, T-flex [4] та ін. Деякі з них підтримують експертну систему автоматичного проставлення розмірів у тому числі і на просторовій моделі (наприклад, DimExpert в SolidWorks [5]). Головною проблемою є відсутність обрання баз в ручному режимі, обрання декількох баз (наприклад, від торця і міжосьова відстань від отвору, послідовне проставлення отворів), неможливість прив'язки конкретних розмірів до однієї із баз. Адже, чим складніша деталь, тим більш виникає «конструкторських нюансів» (технічних рішень), які повинні бути вирішені в середовищі однієї програми, в якій працює конструктор. Таким чином, системи проставлення отворів є не досконалою, тобто такою, що не задовольняє потребам реального виробництва і конструктор змушений вносити різного роду коригування, на що витрачається чимало часу.

Саме тому сьогодні ведуться пошуки на розробку нових технічних 3-D рішень, що дозволять спростити всі технологічні процеси починаючи від проектування і закінчуючи виготовленням (чи утилізацією).

Таким чином, розроблена програма на основі засобів автоматизованого проектування є також «перехідним» зразком у системі САПР, адже вона дозволяє виготовити креслення на основі вводу геометричних параметрів та технічних вимог користувачем. При цьому, користувач повинен мінімально взаємодіяти з інтерфейсом програми шляхом натиснення електронні кнопки мишкою або клавіатурою (кожній кнопці програми відповідає певна кнопка клавіатури – що є досить зручним) і керуватись підказками у вигляді діалогового вікна.

Результат виконання програми зображено на рис. 1.

Дана програма дає змогу швидко виготовити креслення сферичного рефлектора. Розміри розставляються автоматично згідно ГОСТ 2.307-68 (Нанесення розмірів і граничних відхилень), таким чином, що дозволяють

провести виміри, тобто, у даному випадку, це внутрішній розмір виходу сфероїда за торець, що теж є важливим параметром.

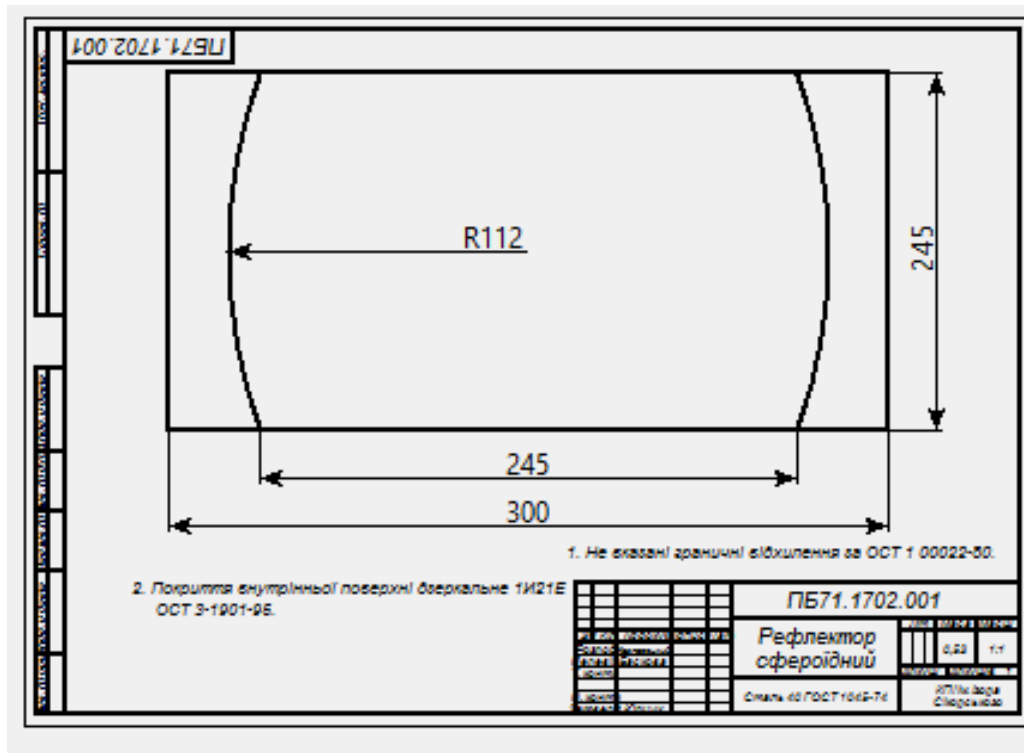


Рис.1. Результат виконання програми.

Оскільки в основі рефлектора покладений сфероїд, який використовується в оптиці для дослідних цілей, то його слід розміщувати таким чином, щоб фокусна відстань на виході співпадала з торцем деталі [6]. Таким чином, під час проведення дослідів світловий потік, що надходить з лазера повинен потрапляти на перший фокус рефлектора і фокусуватися на другому. Дана програма має конкретне призначення для формувань КД сферичних рефлекторів, оскільки для проведення досліджень в оптиці необхідно різні види сферичного рефлектора зі змінними геометричними параметрами форми, зрізами, отворами, змінною кривизною радіуса та іншими немало важливими параметрами для оптичних досліджень за певних умов [7]. Одним із призначень сфероїдного рефлектора є проведення експериментів у мутних середовищах [8].

Виготовлення дослідного зразка можливе з використанням Пристрою для точіння внутрішніх сферичних поверхонь [9].

В основі програми покладено розроблення креслення із виділенням окремої лінії як об'єкта, до якого можуть застосовуватись параметри із набору (шорсткість, бази, виноска, маркування, клеймо та ін.). Окрім того, спеціально призначені кнопки дозволяють змінювати як геометричні параметри ліній, радіусів, кривих, так і позначення, розміри та інші редагування пов'язані з оформленням.

В основу логіки програми закладено автоматична прив'язка до розмірів деталі з врахуванням можливості фізичного виміру величин. Проте автоматичне розставлення розмірів потребує перевірки конструктора. Саме для цього і

призначений діалог з користувачем з візуальним представленням креслення під час конструювання.

## **ВИСНОВКИ**

Отже, час затрачений на конструювання деталі залишається незмінним, проте прикладні програми САПРИ, а саме розроблена програма для створення конструкторської документації сферичного рефлектора засобами автоматизованого проектування дозволяє зменшити час та спростити роботу конструктора, оформивши креслення за запрограмованим шаблоном і проставивши розміри автоматично з (або без) вибору баз.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Bezuglyi M. A. Control of a shape of ellipsoidal reflectors of biomedical photometers/ M.A. Bezuglyi, Linycheva O.V., Bezugla N.V., Bik N.V., Kostyl S.A // Visnik of Igor Sicorsky Kyiv polytechnic institute. Instrumental design series. – 2017, №1 (53). – С.62-69.
- [2] Инструмент простановки размеров. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://teklastructures.support.tekla.com/190/ru/ext\\_dimensioning\\_tool](https://teklastructures.support.tekla.com/190/ru/ext_dimensioning_tool)
- [3] Левковец Л. Б. ArchiCAD 12. Базовый курс на примерах. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 624 с.: ил.
- [4] T-FLEX CAD User Manual. Fundamentals. 2D Design. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tflex.com/resources/manuals/>
- [5] DimXpert. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/sldworks/t\\_using\\_dimxpert.htm](http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/sldworks/t_using_dimxpert.htm).
- [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] M. Bezuglyi, N. Bezuglaya, O. Kuprii and I. Yakovenko, "The non-invasive optical glucometer prototype with ellipsoidal reflectors," 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/RTUCON.2018.8659864.
- [8] Безугла Н.В. Просторова потокова біометрія середовищ еліпсоїдальними рефлекторами / Н.В. Безугла, М.О. Безуглий, Ю.В. Чмир. // Біомедицинські прилади і системи. Вип. №15/ - С. 87-93
- [9] Патент України на корисну модель UA 122829 U, B23B 5/40. Пристрій для точіння внутрішніх сферичних поверхонь / В.П. Юрчук, В.М. Бакалова, А.Г. Козловський, В.В. Старовіт, Є.В. Штифорук. - № u201708416; заявл. 16.08.2017р.; опубл. 25.01.2018р.; бюл. №2/2018р.

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

УДК 621.391

*А.М. Лантух, студент гр. ПБ-51, к.т.н., доцент Шевченко В.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ВИКОРИСТАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ В ПРОЦЕСАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ПАКЕТІВ**

**Анотація.** В даній роботі були проведені дослідження акустичної емісії (АЕ) в рамках моніторингу процесів механічної обробки. АЕ безпосередньо пов'язана зі станом інструменту, так як акустична хвиля генерується за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин. У дослідженні, опублікованому в даній роботі було виміряно декілька параметрів АЕ під час механічної обробки. В той час як ці параметри вказують на ступінь зносу ріжучого інструменту, їх інформативність для промислового використання обмежена. Для набуття більшої інформативності була використана теорема вейвлет-пакетів (ВП), за допомогою якої ми ввели додаткові коефіцієнти ентропію та силу. Отримали адекватну модель для визначення стану інструменту.

**Ключові слова:** акустична емісія; вейвлет-пакети; ентропія; механічна обробка; аналіз АЕ

### **ВСТУП**

Метод акустичної емісії має ряд значних переваг у порівнянні з іншими під час моніторингу процесів механічної обробки. Основною з них є та, що акустична емісія має більш широкий спектр коливань, набагато ширший ніж у відповідних коливань, що спричинені вібраціями обладнання та шумами навколишнього середовища. При цьому на операції різання вона не має жодного впливу. З іншого боку, акустична емісія пов'язана напряму зі станом інструменту, так як коливання генеруються за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин.

Науковці встановили, що процеси деформації та руйнування є основним джерелом акустичної емісії у механічній обробці металів. Вони виділяють три зони, де може виникати акустична емісія: 1) зона первинної деформації: ріжучий край інструменту, поступово наближаючись до матеріалу та виконуючи тиск на нього, формує зріз фронтальної зони; при цьому лицьова сторона інструменту частково деформується, а стружка здійснюється над нею; 2) зона вторинної деформації: виникає у проміжку між стружкою та ріжучим краєм у момент стирання та часткової деформації інструменту; 3) зона третинної деформації: виникає у місці тертя нової поверхні, що вивільняється з-під ріжучого краю інструмента та з-під стружки; коли стружка відділяється та падає, незалежно від того постійно чи періодично, вона пошкоджує металеву частину інструменту. Очевидно, що це можна вважати додатковим джерелом акустичної емісії.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метод акустичної емісії має ряд значних переваг у порівнянні з іншими під час моніторингу процесів механічної обробки. Основною з них є та, що акустична емісія має більш широкий спектр коливань, набагато ширший ніж у відповідних коливань, що спричинені вібраціями обладнання та шумами навколишнього середовища. При цьому на операції різання вона не має жодного впливу. З іншого боку, акустична емісія пов'язана напряму зі станом інструменту, так як коливання генеруються за рахунок пластичної деформації, стирання, руйнування та поширення тріщин.

Науковці встановили, що процеси деформації та руйнування є основним джерелом акустичної емісії у механічній обробці металів. Вони виділяють три

зони, де може виникати акустична емісія: 1) зона первинної деформації: ріжучий край інструменту, поступово наближаючись до матеріалу та виконуючи тиск на нього, формує зріз фронтальної зони; при цьому лицьова сторона інструменту частково деформується, а стружка здіймається над нею; 2) зона вторинної деформації: виникає у проміжку між стружкою та ріжучим краєм у момент стирання та часткової деформації інструменту; 3) зона третинної деформації: виникає у місці тертя нової поверхні, що вивільняється з-під ріжучого краю інструмента та з-під стружки; коли стружка відділяється та падає, незалежно від того постійно чи періодично, вона пошкоджує металеву частину інструменту. Очевидно, що це можна вважати додатковим джерелом акустичної емісії.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Попередні теоретичні дослідження співвідносять значення RMS сигналу з різноманітними параметрами різання на основі формули (1). Це рівняння співвідносить між собою першу та другу зони деформації акустичної емісії. Якщо ж ми захочемо застосувати формулу (1), то вплив третинної зони деформації нам потрібно буде мінімізувати. Мінімізувати акустичну емісію, що спричинена відділенням стружки, можна за рахунок переміщення стружки за межу робочої зони. Джерела акустичної емісії, що пов'язані із третинною зоною деформації можуть бути зменшені за допомогою збільшення гостроти ріжучого краю інструменту, а також врахуємо лише початкові стадії виробничого процесу (процесу обробки).

$$\text{RMS} = C \sin \alpha \left( \tau_k b_1^2 U \left( \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha \cos(\varphi - \alpha)} * t_1 + \frac{1}{2} (1 + 2l_1) \frac{\sin \alpha}{\cos(\varphi - \alpha)} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1)$$

де:  $l$  – довжина зони контакту ріжучого інструменту та стружки,  $b_1$  – ширина різання,  $l_1$  – довжина зони різання,  $\alpha$  – передній кут,  $\varphi$  – кут зсуву,  $\tau_k$  – напруга зсуву,  $U$  – швидкість різання,  $C$  – константа.

Рівняння 1 є не найкращим наближенням до реальних експериментів, хоча воно і описує вплив геометрії і швидкості на процеси різання. Оскільки поки йде руйнування геометрії ріжучого інструменту відбувається зміна константи і змінних відповідно, вони приймають різні значення і саме з цих причин результати не можна вважати оптимальними. Крім того, при механічній обробці важлива частина акустичної емісії генерується в третинній зоні. Через це потрібно статистичне дослідження декількох параметрів сигналу АЕ.

Метод аналізу сигналів, що був використаний в ході даної роботи ґрунтується на перетворенні вейвлет-пакетів (Wavelet Packet Transform).

Це узагальнення стандарту вейвлет перетворення дозволяє контролювати точність аналізу в шуканій частотній області. Є широкий набір сигналів з кінцевою енергією, які пов'язані з цим методом - ортогональних баз. Для того, щоб оптимально представити сигнал, потрібно підібрати адекватні критерії (для вибору кращої бази). Елементарними функціями, що складають основи, є хвильові пакети. Їх можна розглянути як вейвлети фіксованої тривалості та патерну коливаний. Таким чином набір стандартних вейвлетів розширюється, що поєднує їх в широкому діапазоні за частотою і часом.

Метод вейвлет пакетів, що запропонував Маєр, є результатом послідовного застосування пари сполучених фільтрів, пов'язаних зі схемою короткомасштабного аналізу.

Маючи готовий сигнал, ми можемо проаналізувати його за допомогою узагальненого алгоритму Маллата, що заснований на рекурсивних діях кон'югованих фільтрів. Ця процедура організована наступним методом: формуються коефіцієнти, які представляють собою сигнал в класах елементарних функцій, які організовані в бібліотеці ортонормованих базисів. Коли цей процес підійде до завершення, ми повинні будемо обрати коефіцієнти, що відповідають оптимальній основі.

Після цього ми можемо представити сигнал у вигляді:

$$s(t) = \sum_J c_J \varphi_J(t) \quad (2)$$

де  $J$  – пакет хвиль в оптимальній базі,  $c_J$  – відповідний коефіцієнт.

Оскільки базис ортонормований, енергія сигналу визначається за формулою:

$$\int |s(t)|^2 dt = \sum_J |c_J|^2 \quad (3)$$

Інформація, зводиться до коефіцієнтів  $J$ , що будуть залежати від обраного нами критерію. Зокрема, якщо використовувати критерій мінімальної ентропії, ми підберемо основу, яка зведе до мінімуму число значимих коефіцієнтів в поданому сигналі.

Ентропія  $S$  являє собою параметр, що відображає значення ступеню внутрішнього розладу або неорганізованості сигналу у відношенні заданого базису: відносно високе значення ентропії свідчить про відсутність простої та ідентифікованої структури. Навпаки, ситуація, коли значення ентропії є низьким, це вказує на наявність структури здатної до розпізнавання навіть на рівні елементів паттернів, що в свою чергу, робить результати більш точними та корельованими, та робить використання та подальші обрахунки більш надійними. Це може потребувати введення параметрів для корекції результатів, а це може ускладнити підрахунки та знизити достовірність отриманих результатів.

## **ВИСНОВКИ**

Показником зносу обладнання можна вважати параметри АЕ у зв'язці з параметром енергії. При реєстрації максимального значення прийнятого сигналу можемо спостерігати зміну інших параметрів - це може призвести до погіршення роботи даної системи. Параметри АЕ встановлюють залежність з витратою енергії системи і це дає нам можливість отримувати достатньо точні результати вимірювань. Найголовнішим недоліком даного методу можна вважати чутливість цих параметрів до умов їхнього використання і необхідність детального нагляду на устаткуванням.

Потужність можна розрахувати за допомогою ВП в заданому діапазоні частоти – це є чудовим показником справності обладнання.

Завдяки цьому ми можемо автоматизувати існуючу систему для контролю обладнання, яка зможе в режимі реального часу спостерігати за станом

інструментів, показувати час коли інструмент максимально зношується, аналізувати вхідні дані та пропонувати ідеї для поліпшення системи до наступного втручання в неї.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Остафьев В. А. Адаптивная система управления / В. А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В. В. Шевченко // *Механизация и автоматизация управления*. – 1983. -№1. – с. 18-20.
- [2] Heiple, C. R. Origin of Acoustic Emission produced during single point machining / C. R. Heiple, S. H. Carpenter, D. L. Armentrout and A. Mc Manigle // *Materials Evaluation*. – 1994. – 52. – 590-596.
- [3] Kamarthi, S. V. Flank wear estimation in turning through wavelet representation of Acoustic Emission signals / S. V. Kamarthi, S.R.T. Kumara, and P.H. Cohen // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2000. – 122. – 12-19. – doi:10.1115/1.538886
- [4] Kannatey-Asibu, Jr. E. Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting / Jr. E. Kannatey-Asibu and D. A. Dornfeld // *Journal of Engineering for Industry*. – 1981. – 103. – 330-340. – doi:10.1115/1.3184493
- [5] Mallat, S. Multiresolution Representation and Wavelets. – Grasp. Lap 153. – *University of Pennsylvania*. – Philadelphia. – 1988.
- [6] Meyer, Y. Wavelets: Algorithms and Applications. – SIAM. – Philadelphia. – 1993.

***Науковий керівник - к.т.н., доцент Шевченко В.В.***



**УДК 681.2:658.511.4**

*О.С. Ланіга, аспірант, асистент Волошко О.В., к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ОБ'ЄКТНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЕТАЛІ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ**

*Анотація.* У системах автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) початкова інформація, що характеризує форму і розміри поверхонь деталі, задається проектувальником в режимі діалогу. Пов'язано це в першу чергу з низькою формалізацією даних, необхідних для розробки технологічних процесів (ТП). Представляється методика, що дозволяє використовувати 3D-модель деталі як джерело початкових даних для автоматизованого проектування ТП її механічної обробки та дає можливість поєднати сукупність конструкторських та технологічних параметрів в одній єдиній інформаційній моделі деталі (ІМД).

**Ключові слова:** 3D-модель, технологічний процес, модульний ТП, САПР ТП, стандарти STEP.

### **ВСТУП**

В сучасному виробництві все більше і більше використовуються верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) та обробляючі центри. При цьому завданнями їх операторів стає не безпосереднє виготовлення деталей, а управління процесом обробки, контроль за правильністю виконання програм верстатів з ЧПК тощо.

Старі методики підготовки виробництва виділяють дві основні сутності: креслення деталі, тобто об'єкт, який треба виготовити, та технологічний процес обробки деталі, тобто методи отримання цього об'єкту з заданими властивостями. Таке нецілісне сприйняття процесу обробки деталі може призвести до виникнення помилок проектування через неузгодження її креслення з існуючими ТП її виготовлення. Крім того, в САПР ТП початкова інформація, що характеризує форму і розміри поверхонь деталі, режими різання, послідовність операцій і переходів задається проектувальником в режимі діалогу [1, 2].

При використанні комп'ютеризованих верстатів такий підхід є низькорівневим та неефективним, оскільки при змінах умов виробництва він потребує значних витрат часу на корегування існуючих ТП та керуючих програм для верстатів з ЧПК. Для можливості швидко реагувати на зміни умов виробництва та вносити відповідні корективи до ТП і отримати економічну ефективність від застосувань автоматизованих засобів виробництва потрібно забезпечити цілісне представлення процесу виготовлення деталі. Тому важливо розробити більш ефективний підхід до проектування ТП обробки деталей, який дозволить підвищити рівень автоматизації САПР ТП та покращити якість проектних робіт.

### **МЕТА РОБОТИ**

Головною метою дослідження є розробка методики автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин та її реалізація у вигляді модуля CAD/CAM з використанням комплексу стандартів STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Часто для скорочення часу проектування на виробництвах використовують групові технологічні процеси, тобто ТП на конструктивно різні, але технологічно однорідні вироби. Проектування технології ведеться для типового представника або комплексної деталі, що концентрують в собі характеристики типу або груп і замінюють собою всю сукупність деталей. Це спрощує процес проектування, що здійснюється за звичайною методикою для одиначної технології. Також застосовується модульна технологія, тобто технологія, що ґрунтується на представленні деталі сукупністю модулів поверхонь (МП), побудови ТП деталі із модулів технологічного процесу виготовлення (МТПВ), які є закінченими частинами процесу по виготовленню МП [3]. В першому чи в другому випадку визначення типу деталі, форм поверхонь, їх взаємне розташування, введення габаритів деталі, розмірів, точності її поверхонь виконується технологом-проектувальником або вручну при ручному проектуванні, або в режимі діалогу при автоматизованому проектуванні. Набагато ефективніший буде такий спосіб отримання початкових даних для проектування ТП обробки деталей, при якому частина інформації отримується автоматично із 3D-моделі деталі (наприклад, розміри поверхонь, їх шорсткість, допуск тощо), а частина – вибирається із бази даних (наприклад, необхідні дані для розрахунку припусків та між операційних розмірів або режими різання). Лише ті дані, які неможливо отримати із 3D-моделі деталі або бази даних, вказуються проектувальником в режимі діалогу (наприклад, розміри заготовки, спосіб її отримання тощо).

Пропонується представити форму, геометричні параметри деталі та технологічний процес її виготовлення, включаючи й програми для верстатів з ЧПК, у вигляді єдиної інформаційно моделі деталі. Дана методика визначає деталь як одну єдину сутність, яка включає в себе певні властивості такі, як геометричні параметри, масив ТП обробки її окремих МП тощо. Для реалізації вище запропонованого підходу необхідно креслення деталі або її 3D-модель представити в універсальному форматі даних, що може застосовуватися у більшості сучасних САД-систем, та який був би легко доступним для подальшого аналізу й обробки даних. Таким універсальним форматом є прикладні протоколи стандартів STEP, які в достатньому обсязі та зручному для автоматичної обробки вигляді описують 3D-модель деталі. Прикладним протоколом STEP називають ІМД певного призначення, яка описує з високим ступенем повноти множину об'єктів з її властивостями та виражену засобами мови EXPRESS [4]. На основі даних прикладного протоколу можна отримати геометричні форми поверхонь деталі, їх розміри та взаєморозташування.

Використання 3D-моделі деталі як джерело початкових даних для автоматизованого проектування ТП обробки деталей є більш високорівневим методом побудови сучасних САПР ТП. Він дає можливість поєднати сукупність конструкторських та технологічних параметрів в одній єдиній ІМД.

Дана модель, представлена в об'єктно-орієнтовному вигляді, повинна володіти такими властивостями як:

- посилання на об'єкт, що відображає конструкторські параметри деталі – тобто список поверхонь деталі з їх геометричними параметрами і вказанням їх розташування відносно один одної;
- посилання на об'єкт, що відображає технологічний процес обробки самої деталі – тобто список ТП обробки конкретних поверхонь деталі, а також відповідні керуючі програми для верстатів з ЧПК.

ІМД відображає всі необхідні для її виготовлення дані та легко зберігається в базі даних. Вся інформація, що міститься в ІМД чітко структурована, що дозволяє забезпечувати контроль правильності обробки даних тощо. З ІМД, представленої як об'єкт, також можливо проводити різноманітні дії, зокрема порівнювати її з іншою моделлю, розширювати, проводити певний аналіз чи розрахунок тощо. Крім того, ІМД є основою для впровадження CALS-технологій (Continuous Acquisition and Life Cycle Support), тобто безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу виробу чи продукту [5].

На відмінну від модульної технології при використанні єдиної ІМД встановлюється зв'язок між геометричними параметрами деталі з її ТП обробки, тобто внесення змін в конструкцію деталі призведе до зміни ТП і керуючих програм для верстатів з ЧПК. За рахунок такого підходу значно знижується можливість виникнення помилок непогодження геометричних параметрів деталі з її ТП [6]. Крім того, таке об'єктне представлення деталі дозволяє забезпечити контроль правильності обробки даних.

Для автоматизованого проектування ТП механічної обробки конкретної деталі, використовуючи запропоновану методику, необхідно спочатку виконати підготовчий етап: задати комплексну деталь та визначити ТП механічної обробки її МП. Для цього пропонується завантажити у САПР ТП 3D-модель комплексної деталі у вигляді прикладного протоколу стандарту STEP. Під час завантаження автоматично будуть визначені для даної деталі всі поверхні, їх розміри, точність тощо. Суміжні поверхні будуть утворювати множину МП. Для кожної конкретної МП задаються ТП їх обробки з урахуванням точності, шорсткості поверхонь тощо. При завантаженні в САПР ТП 3D-моделі деталі, що проектується, також автоматично визначаються її множина МП. Далі відбувається порівняння МП комплексної деталі і деталі, що проектується. На рівні програмного забезпечення це означає, що кожна поверхня представляє собою деякий об'єкт і, фактично, відбувається порівняння об'єктів за їх певними властивостями, наприклад, за формою, взаємному розташуванні тощо. Якщо МП, що проектується, вдалося знайти, то для неї із попередньо заданих ТП для комплексної деталі вибирається множина ТП її механічної обробки. Потім на дану множину накладаються обмеження у вигляді конкретних розмірів поверхні, що проектується, їх точності, шорсткості тощо. Таким чином можливо отримати ТП механічної обробки всієї деталі в цілому.

Крім того, якщо для комплексної деталі, крім технологічних процесів її виготовлення, ще визначити заготовки керуючих програм на мові програмування однієї із систем автоматизованого програмування (САП), то в результаті проектування також можливо отримати проміжну керуючу програму для всієї деталі. Дану програму можна завантажити в конкретну САП, при необхідності

відкоригувати і перевірити правильність її виконання. Такий підхід дозволяє значно скоротити час на розробку керуючих програм. Більше того, в даному випадку керуюча програма буде як елемент проектування залежати від ТП виготовлення деталі.

Таким чином отримується ІМП, що містить всі необхідні для її виробництва дані такі, як: об'єктне представлення геометричних даних деталі, об'єктне представлення технології та керуючих програми для верстатів з ЧПК для виготовлення поверхонь деталі. Ці дані є взаємозв'язаними таким чином, що зміна геометричних даних призведе до зміни ТП і, відповідно, керуючих програм. Це дозволить уникнути помилок безпосередньо при виробництві деталі. Сукупність таких інформаційних моделей деталей доцільно зберігати в спеціальному репозиторії для подальшого використання.

## ВИСНОВКИ

Запропонована методика автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин на основі єдиної ІМД, що дозволяє отримати з 3D-моделі деталі початкові дані, підвищити рівень формалізації, зменшити час на обробку інформації. Також однією із основних переваг використання стандарту STEP є те, що він задає способи реалізації обміну даними, що представлені у відповідності до повної моделі виробу, при чому вони не залежать від програмних і апаратних засобів, що застосовуються учасниками життєвого циклу виробу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Антонюк В.С., Вислоух С.П., Лапіга О.С. Автоматизоване проектування операційної технології обробки типових поверхонь деталей // *Резание и инструмент в технологических системах: Международный. науч.-техн. сб.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 77. – С. 3-7.
- [2] Лапіга О.С., Вислоух С.П. Сучасні тенденції розробки систем автоматизованого проектування операційної технології // *Нові технології: науковий вісник КУЕІТУ.* – Кременчук: КУЕІТУ, вип. №1(23), 2009. – С. 139-142.
- [3] Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин Т.III-3/ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Сулова – М.: МЗ8 Машиностроение, 2000. – 840с., ил.
- [4] Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – С. 336
- [5] Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. Введение в CALS-технологии: Учебное пособие. – Ковров: КГТА, 2002. – 137 с.
- [6] Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. Пособие. – М.: Логос, 2005. – С. 296.

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

## УДК 621.9

Морсков А.С., Чорна О. Д., Фіщук О. А. студент групи А-41, Волобуєва Г.В.,  
викладач

Київський індустріальний коледж Київського національного університету будівництва та архітектури

### ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

**Анотація.** В даній статті описано вплив різних факторів процесу механічної обробки, а саме вплив факторів на систему верстат, пристосування інструмент, деталь, для верстатів з ЧПУ. Оцінено вплив факторів навколишнього середовища, а також процесів що змінюють початкові властивості системи, і в свою чергу впливають на точність обробки на верстатах з ЧПУ.

**Ключові слова:** Точність обробки, багатоцільовий верстат з ЧПУ, процеси формоутворення.

### ВСТУП

На сучасному етапі розвитку приладобудування для виготовлення складних деталей використовується багатофункціональне обладнання у вигляді верстатів з числовим програмним керуванням - ЧПК, обробляючих центрів. Вони володіють вельми великими можливостями по обробці складних по конструкції деталей з багатьма ріжучими інструментами в автоматичному режимі без втручання робітників. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці та економічні показники виробництва

Багатоцільовий верстат з ЧПУ є одним з основних компонентів технологічної системи. Тому для встановлення номенклатури його вихідних параметрів необхідно дати оцінку тому, яку роль на ряду з іншими компонентами відіграє верстат в формуванні параметрів оброблюваної деталі і як з позиції точності обробки повинні бути розцінені його основні показники.

### ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Точність обробки – головний показник якості технологічної системи. Кожний крок в досягненні більш високих рівнів по параметрам точності – це результат нових технічних рішень при проектуванні, виготовленні і експлуатації технологічного обладнання.

В металообробці під точністю обробленої деталі розуміють точність розмірів, форми і взаємного розташування оброблених поверхонь, їх хвилястість та шорсткість. Точність обробки залежить від усіх компонентів технологічної системи: технологічної машини (верстата), інструмента, заготовки, пристосування, від їх технічного рівня та якості. Кожен з цих компонентів впливає на утворення похибок, тому необхідно встановити які вимоги необхідно висувати до окремих компонентів технологічної системи для того щоб досягти необхідного рівня вихідного параметра усієї системи – заданої точності обробки. Також треба встановити номенклатуру і вимоги до вихідних параметрів окремих елементів технологічної системи, які є вхідними для системи в цілому.[1]

На визначення даних показників впливають як початкові характеристики даного компонента технологічної системи, так і процеси (зношення, деформації, корозії і інші), що змінюють початкове значення системи.

Розглянемо вхідні параметри кожного з компонентів технологічної системи. Значення цих параметрів дає змогу встановити обґрунтовані вимоги і нормативи до якості і надійності даного компонента.

Металорізальний верстат є найбільш коштовним та складним компонентом технологічної системи. Для верстата необхідно виявити і встановити такі характеристики, з одного боку, які були б пов'язані з точністю обробки, а з іншого боку – характеризували б тільки верстат, його показники якості і надійності.

Аналіз процесів формоутворення при обробці виробів на верстатах різного технологічного призначення дозволяє зробити висновок, що основним вихідним параметром верстата, як елемента технологічної системи, необхідно щоб була характеристика формоутворюючих вузлів верстата [2].

Дійсно, якість верстата залежить від того, з якою точністю виконуються заплановані в технологічному процесі обробки взаємні переміщення інструмента та заготівки при сприйнятті ним всього комплексу силових і теплових дій. Так, ідеальний верстат, той що не вносить свого внеску в утворення похибок оброблюваної деталі, і який можна представити як верстат, котрий здійснює необхідні переміщення по заданим геометричним траєкторіям, що не змінюються при будь-якому впливі на його вузли. Однак, будь-яка складна система має властивості відхилятися від ідеальних характеристик, що закладенні при її проектуванні. Тому для верстата необхідно оцінювати відхилення від ідеальних траєкторій, які будуть характеризувати його якість як одного з основних компонентів технологічної системи.

Характеристики точності траєкторій залежать від призначення верстата і можуть містити такі показники, як точність положення траєкторії у вибраній системі координат, величину відхилення від номіналу на площині або просторі, точність фіксації закінчення траєкторії (точність позиціонування вузла), кривизну траєкторії, точність здійснення руху за часом, мікро відхилення та ін.

Ріжучий інструмент безпосередньо утворює поверхню заданої форми, працює в найбільш напруженому термодинамічному режимі. Основний його вихідний параметр – точність ріжучих кромок та прилягаючих поверхонь різання. Свій внесок в утворення похибок обробки інструмент вносить через відхилення від початкової конфігурації його ріжучої частини від ідеальної (заданої). До характеристик точності ріжучих кромок відносять також їх положення в просторі, яке може змінюватися при деформації тіла РІ.

Пристосування повинно забезпечувати задану точність положення інструмента або заготівки. Деформування та зношення затискних елементів змінюють початкові характеристики точності пристосування, зношення збільшує з часом відповідну складову сумарної похибки обробки.

Заготівка характеризується точністю форми і стабільністю властивостей матеріалу. Відповідно точність форми заготівки значно нижча від точності форми оброблюваної деталі. Нерівномірний припуск, деформація заготівки, нерівномірне розподілення твердості, технологічні дефекти матеріалу, зміни в поверхневому шарі в результаті впливу процесу різання на характеристики

точності форми - є вихідними параметри в загальній схемі формування точності обробки деталі.[2,3]

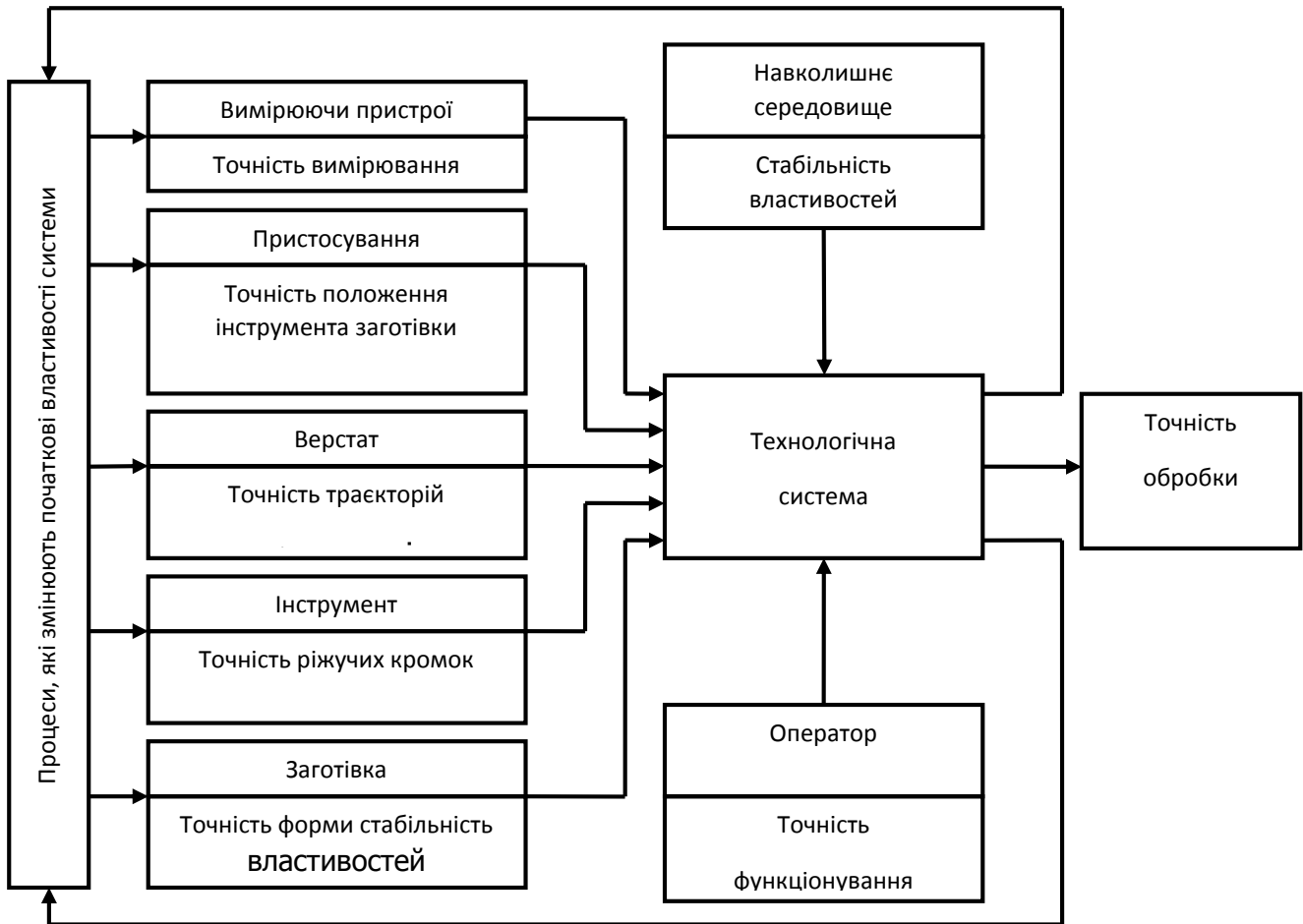


Рис.1. Схема компоновки технологічної системи.

Вимірювальні засоби необхідно враховувати, як самостійний компонент технологічної системи при активному контролі, коли вони виділенні в окремий комплекс. Похибка вимірювання оброблених деталей здійснює суттєвий вплив на досягнення необхідної точності обробки. Необхідно брати до уваги, що характеристики вимірювальних засобів, які є елементом управління і контролю параметрами металорізального верстата (наприклад, датчики зворотного зв'язку у верстатах з програмним керуванням) враховуються при оцінці його вихідних параметрів.

Оператор, котрий приймає участь в здійсненні технологічного процесу, також може вносити похибки в точність обробки, або навпаки, допомагати при досягненні більш високого рівня точності. Тут має місце реалізація взаємодії більш складної системи „людина - машина”.

Навколишнє середовище є тим елементом технологічної системи, в умовах якого функціонують всі компоненти. Тому стабільність його властивостей, в першу чергу, вимоги до температури, запиленість атмосфери, вологість, вібраційні впливи повинні бути регламентовані в залежності від впливу на точність обробки. Це відноситься і до технологічних середовищ, наприклад застосування ЗОР.

Таким чином, для забезпечення технологічною системою заданого рівня якості продукції необхідно регламентувати вимоги по точності і стабільності до вихідних параметрів всіх компонентів системи. Окремі компоненти технологічної системи можемо розглядати як незалежні. Але дії зворотних зв'язків необхідно враховувати, розглядаючи функціонування всієї системи. Наприклад, зміна інструменту призведе до зміни динамічного складу системи і, в першу чергу, верстату, що може інтенсифікувати процес зношення інструмента.

Стохастична природа вихідних параметрів пов'язана з розсіюванням початкових характеристик елементів технологічної системи в силу неоднорідності їх виготовлення, з роботою системи при різних режимах різання, з неоднорідністю заготовок, з випадковим впливом навколишнього середовища. Тому вихідні параметри кожного компонента технологічної системи повинні характеризуватися законами розподілення або числовими характеристиками (математичним очікуванням, дисперсією). Характеристики вихідних параметрів, отриманні для початкового періоду роботи системи, будуть потім змінюватися в процесі експлуатації.

### **ВИСНОВОК**

Залежність між вихідними параметрами компонентів технологічної системи і показниками точності обробки (як вихідним параметром усієї системи) встановлюється на основі аналізу прийнятого методу обробки.

Результати оцінки вихідних параметрів верстата та інших елементів технологічної системи повинні мати високу достовірність і об'єктивність для того, щоб гарантувати працездатність усієї системи на протязі заданого періоду експлуатації.

### **ЛІТЕРАТУРА**

- [1] Затуленко А.С., Заєць С.С., Діагностика процесу обробки кінцевими фрезами, на фрезерних верстатах з числовим програмним управлінням. - XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», Київ, 2018-98с.
- [2] Заєць С.С., Максимчук І.В., Педько К.О., Науковий вісник КУЕІТУ: Кременчуг – 2012(2) 87-92с.
- [3] Онкалюк О.І., Муха Р.Ю., Заєць С.С., Методи підвищення якості і продуктивності обробки деталі на багатоцільових верстатах. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: Луцьк 2016. -86с.



УДК 621.793

Д.В. Прихожа, магістрант гр. ПБ-81мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,  
к.т.н. Рутковский А.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПІМ ім. Г.С. Писаренка НАН України

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМУ ПІД ЧАС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЙОННО- ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ

**Анотація.** Наведено аналіз методів модифікації поверхневого шару матеріалу. Розглянуто залежність параметрів модифікованої поверхні від технологічних параметрів йонно-плазмового термоциклічного азотування. Спроектовано автоматизовану систему вимірювання та контролю відхилень від допустимих норм вакууму під час технологічного процесу йонно-плазмового термоциклічного азотування.

**Ключові слова:** автоматизована система контролю вакууму, йонно-плазмове термоциклічне азотування.

### ВСТУП

Під час експлуатації до деталей приладів висувають вимоги високої надійності та зносостійкості. Наприклад, під час роботи зубчастої передачі, зубці шестерень піддаються інтенсивному тертю і зношуванню. Тому для підвищення їх довговічності робочі поверхні повинні мати високу твердість і при цьому бажано щоб серцевина зубця мала добру в'язкість.

Досягти високої твердості та корозійної стійкості поверхонь деталей на невеликій глибині (0,1...0,5мм) можна за допомогою модифікації поверхневого шару матеріалу. Модифікацію поверхневого шару матеріалу можна досягти хіміко-термічною обробкою, в процесі якої відбувається не тільки зміна структури металу, а й хімічний склад поверхневого шару [1].

Щоб змінити хімічний склад поверхневого шару матеріалу потрібно наситити його необхідними хімічними елементами. Це здійснюється в результаті контакту поверхні виробу з середовищем, яке містить у великій кількості активний хімічний елемент.

В результаті довготривалого контакту при високих температурах (плазмо-хімічної реакції) поверхневого шару матеріалу з таким середовищем виникає проникнення хімічного елемента в поверхню деталі на певну величину, що призводить до зміни хімічних та фізичних властивостей поверхневого шару [2].

Підвищення твердості та корозійної стійкості робочих поверхонь деталей досягається утворенням в його поверхневому шарі хімічних з'єднань, наприклад, азоту з металами – нітридів. Нітриди надають сталі високу твердість, крім того після азотування деталі не потребують додаткової термічної обробки та в більшості випадків не змінюють геометричну форму [3].

### МЕТА РОБОТИ

Одним із перспективних напрямків модифікації поверхневого шару матеріалу є йонно-плазмове термоциклічне азотування робочих поверхонь зубчастих передач.

Для активізації газової фази застосовують різні види електричних розрядів, з яких найбільше поширення набув процес азотування в плазмі тліючого розряду (йонне азотування).

Йонно-плазмове термоциклічне азотування застосовують для обробки різних типів сталей і сплавів: інструментальних, мартенсито-старіючих сталей, корозійно-стійких, хромистих і хромнікелієвих сталей, чавунів тощо.

Будова і властивості поверхневого шару матеріалу деталей при йонно-плазмовому термоциклічному азотуванні залежать від таких технологічних факторів: напруги між електродами, складу газового середовища, ступені його розрядження, робочої температури, тривалості процесу, взаємного розміщення деталей та електродів.

Протягом всього технологічного процесу азотування важливо ретельно контролювати та витримувати параметри вакууму. При відхиленні технологічних параметрів вакууму від допустимих виникають дефекти поверхневого шару матеріалу.

Метою роботи є створення автоматизованої системи контролю параметрів вакууму під час технологічного процесу йонно-плазмового термоциклічного азотування.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для вимірювання та контролю відхилень від допустимих норм вакууму, запропоновано автоматизовану систему вакуумування.

Узагальнена структурна схема автоматизованої системи керування вакуумом представлена на рис. 1.

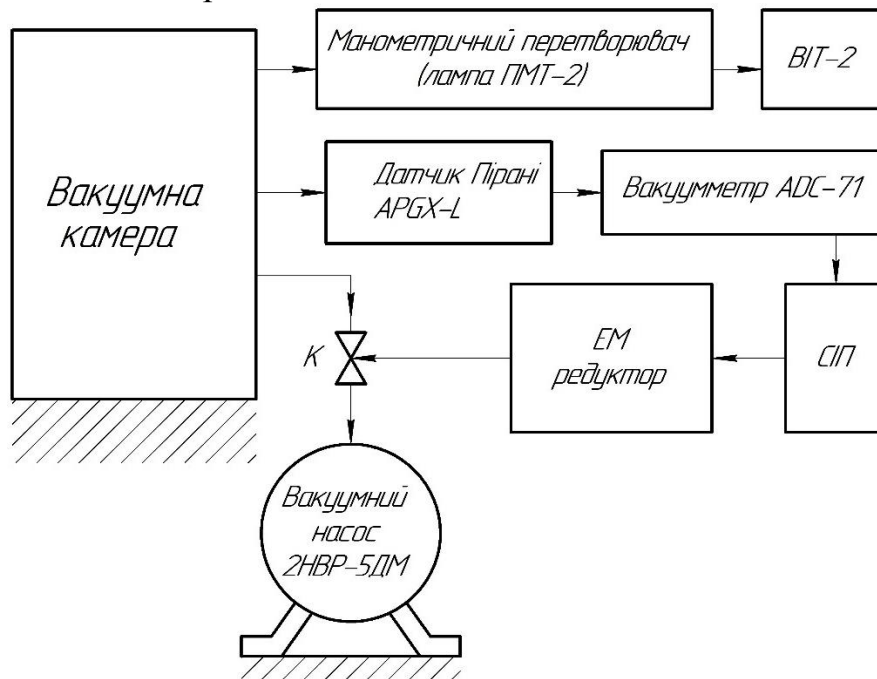


Рис.1. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи керування вакуумом

Автоматизована система вакуумування призначена для регулювання тиску в вакуумній камері.

До складу автоматизованої системи входять вузли: манометричний перетворювач (лампа ПМТ-2), вакуумметр йонізаційний-термопарний (ВІТ-2), датчик Пірані (APGX-L), вакуумметр (ADC-71), ступінчасто-імпульсний

перетворювач (СПП), електро-моторний редуктор (ЕМ редуктор), вакуумний насос (2НВР-5ДМ), сильфонний кран (К), вакуумна камера (рис.1).

Вакуумний насос призначено для відкачування газів з вакуумної камери. Для контролю вакууму в камері встановлено манометричний перетворювач, з якого сигнал поступає на вакуумметр йонізаційний-термопарний, де відображається показник тиску в вакуумній камері.

Принцип дії вимірювання тиску ґрунтується на тому що, тепловіддача металів понижується зі зменшенням тиску, а опір зростає прямо пропорційно температурі. Тобто, чим більше вакуум, тим рідше молекули газу стикаються з металевою ниткою, результатом є підвищення температури та опору нитки.

Датчик Пірані APGX-L призначено для виміру тиску в вакуумній камері. Робочий діапазон датчика: від 0,5 Торр до  $10^{-4}$  Торр. До його складу входить корпус, в якому розташовано металеву нитку, котру з'єднано з вимірювальним вакуумним середовищем. Нитка розжарювання з'єднана з електричним ланцюгом, з якого знімаються показання тиску.

З датчика Пірані поступає сигнал на вакуумметр ADC-71, який призначений для задання режимів роботи. На табло датчика встановлюються технологічні параметри обробки вакууму (верхня та нижня межа робочого тиску). Якщо параметри виходять за межі встановлених, тоді подається сигнал на ступінчасто-імпульсний перетворювач, який призначено для регулювання часу спрацювання повороту крану.

Система зміни вакууму в камері є інерційною, тому встановлено затримку на спрацювання електро-моторного редуктора.

В залежності від заданого сигналу за допомогою електро-моторного редуктора відбувається поворот сильфонного крана вправо або вліво, тобто закриття або відкриття відкачування вакуумної суміші із камери.

## **ВИСНОВКИ**

Для контролю та забезпечення технологічного процесу йонно-плазмового термоциклічного азотування з заданими параметрами робочого тиску розроблено автоматизовану систему контролю вакууму, яка дозволяє проводити вимірювання та контроль відхилень параметрів тиску від допустимих норм вакууму без втручання людини.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Райцес В.Б. Технологія хіміко-термічної обробки на машинобудівних заводах – М.: Машинобудування, 1998. – 294 с.
- [2] Рутковский А.В., Ляшенко Б.А. Модификация поверхности материалов низкоэнергетическим ионным воздействием. // Междунар. симп. ОТТОМ 10-14 сентября - Харьков. - 2001. - с.94-99.
- [3] Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Антонюк В.С. и др. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Вип №3(74) – 2015 - С. 28 – 33.

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

## УДК 621.914

*Д.Р. Смольніков, магістрант гр.ПБ-81мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ОСОБЛИВОСТІ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПРОСТОРОВО-СКЛАДНИМИ ПОВЕРХНЯМИ**

*Анотація.* В роботі розглянуто особливості виготовлення деталей, які мають просторово-складні поверхні. Визначені етапи технологічного процесу, розглянуто типи траєкторії руху різального інструменту при обробці таких поверхонь. Наведено методи підвищення точності виготовлення деталей з просторово-складними поверхнями.

*Ключові слова:* просторово-складні деталі, металообробка, фрезерування.

#### **ВСТУП**

На даний час, рівень технологічного та технічного прогресу зумовлює використання в виробі приладобудування деталей, які мають просторово-складні поверхні, використання яких дозволяє збільшити функціональні, технологічні та експлуатаційні можливості приладів. Виробництво таких деталей технологічно складний та трудомісткий процес.

Формоутворення просторово-складних поверхонь – досить складна інженерна проблема, викликана багатоплановістю задач по забезпеченню високої продуктивності обробки та досягненню заданої якості та точності утворених поверхонь.

В процесі обробки складних поверхонь деталей виробів доводиться вирішувати велику кількість технологічних задач, пов'язаних зі складністю пошуку оптимальної обробки даних поверхонь.

#### **МЕТА РОБОТИ**

Визначення особливостей технологічного процесу виготовлення деталей з просторово-складними поверхнями.

#### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Основним способом обробки деталей, що мають просторово-складну форму поверхонь, є об'ємне фрезерування на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) кінцевими циліндричними та радіусними фрезами, або торцевими фрезами.

Підвищення якості виготовлення деталей, які мають просторово-складну форму, може бути досягнуто за рахунок підвищення точності об'ємного фрезерування, що дає можливість одночасно зменшити кількість переходів при машинній обробці поверхонь та зменшити шар металу, який знімається при подальшій слюсарній обробці, в результаті чого може бути знижена сумарна трудомісткість виготовлення деталі.

Обробка деталей, що мають поверхні просторово-складної форми значно ускладнюється при обробці поверхонь складного профілю, які потребують, наприклад, обробки на п'ятикоординатному верстаті з ЧПК.

Багатокоординатна обробка деталей з просторово-складними поверхнями характеризується безперервною зміною параметрів різання, а саме параметрів

припуску, який видаляється, та перетинів зрізуваних шарів, критичних значень подачі та швидкості різання, що істотно впливає на нестабільність сили різання, й як наслідок, на точність оброблюваної поверхні [1]. При обробці деталей з просторово-складними поверхнями, які оброблюються зі ступінчастим припуском відбувається безперервна зміна геометричних параметрів зони різання, що впливає на точність виготовлення поверхонь. Підвищити точність виготовлення можна за допомогою керування силою різання, зміною жорсткості технологічної системи, зміною одного чи декількох параметрів режимів різання та комбінованого використання перерахованих способів. .

Так керування зміною геометрії зони різання можна здійснювати за допомогою верстату з ЧПК, який має можливість програмної зміни орієнтації інструменту відносно деталі. Регулювання глибини різання може бути досягнуто: зміною глибини різання на попередньому переході, з метою того щоб на чистовому переході при змінній глибині різання та заданій постійній подачі забезпечувалась необхідна точність поверхні, або введенням додаткового переходу.

Як правило, обробка складних поверхонь проводиться пошарово, якщо поверхня не має значних просторових змін напрямку нормалі в кожній точці обробки. При цьому обробка може проводитися з використанням трьохкоординатного верстата з ЧПК. В разі використання цього методу обробки, ріжучий інструмент, в якості якого використовуються циліндричні або радіусні фрези, рухається по плоскій кривій в перерізі шару, що розглядається. При цьому одна координата переміщення інструменту фіксується, а профілювання відбувається в результаті руху інструменту по двом іншим координатам.

Якщо поверхня має значні просторові зміни в напрямку нормалі в кожній даній точці, - то така поверхня може оброблятися тільки на п'ятикоординатному верстаті з ЧПК. Це пояснюється тим, що при пошаровій обробці таких поверхонь лінія профілювання є просторовою кривою[2].

Найбільш складною задачею при проектуванні операційного процесу є визначення раціональної траєкторії робочих переміщень інструменту при фрезеруванні кожної конкретної зони поверхні.

Підвищити ефективність виготовлення деталей з просторово-складними поверхнями можливо шляхом розширення функціональних можливостей комп'ютерних засобів систем CAD/CAM (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Machining) на основі оптимізації завдання траєкторій формоутворення поверхонь, що дозволить більш повно використовувати потенційні можливості багатокординатного верстата з ЧПК.

Так, в роботі [1] відзначено, що обробка деталей, які мають просторово-складну форму поверхонь може відбуватись за наступними траєкторіями:

- за еквідистантою;
- за зворотною еквідистантою;
- за зигзагоподібною траєкторією;
- по спіралі;

обробка вздовж параметричних ліній зі збереженням попутного або зустрічного фрезерування;

обробки вздовж параметричних ліній поверхні паралельними проходами з заданим кроком та кутом нахилу до вісі Х.

Траєкторія інструменту в залежності від обраної технології обробки задається суб'єктивно інженером - проектувальником, який в свою чергу може оперувати кутами нахилу ріжучого інструменту до оброблюваної поверхні. Необхідно відзначити, що в сучасному виробництві всі етапи обробки деталей, що мають просторово-складну форму проводяться на одному робочому місці, тобто за одну установку, змінюється лише ріжучий інструмент.

Особливістю обробки просторово-складних деталей, що визначає ефективність використання верстатів з ЧПК – є трудомісткість підготовки і налагодження керуючих програм (КП) обробки деталей. Керуючі програми містять інформацію про траєкторію руху ріжучого інструменту, режими різання і перелік всіх параметрів і команд, що необхідні для автоматичного виконання операції без втручання оператора-налагодчика. Однак існує розрив між постійно зростаючими можливостями верстатів з ЧПК та труднощами в розробці КП, які забезпечують необхідну якість поверхонь. Це відбувається через недостатню вивченість процесу об'ємного фрезерування, особливо динамічних процесів в зоні різання, й відсутності його формалізованого опису в широкому діапазоні коливання параметрів процесу різання. Від того, наскільки повно, розроблена, програма враховує конкретні умови обробки, залежить експериментальна трудомісткість її налагодження, яка може бути знижена за рахунок зменшення числа перепрограмувань, необхідність яких викликається невиконанням необхідної точності обробки. Так, при високих вимогах до точності розмірів і форми просторово-складних поверхонь час налагодження КП перевищує час обробки в 50-100 разів [3]. Для операцій об'ємного і контурного фрезерування тривалість машинного розрахунку КП складає близько 10 с, а підготовка вихідної інформації – 30-120 хв [4]. При цьому технологічні можливості верстатів з ЧПК, що дозволяють призначати раціональні режими різання на будь-якій ділянці оброблюваної поверхні, часто недовикористовуються.

При обробці деталей, що мають просторово-складну форму, з використанням фрезерних верстатів з ЧПК технологічний процес, як правило, складається з трьох етапів:

- чорнове фрезерування,
- чистове фрезерування,
- доводочні операції.

На етапі чорнового фрезерування, в більшості випадків, відбувається зняття припуску для досягнення максимального наближення форми оброблюваної заготовки до форми готової деталі. При цьому проводиться пошарове зняття припуску інструментом. Як правило, припуск знімається шарами з постійною шириною фрезерування.

В результаті під чистове фрезерування залишається ступінчастий припуск, висота сходинки якого задається суб'єктивно технологом й на виробництві коливається від 0,5 до 3 мм [5]. Етап чистового фрезерування полягає в знятті ступеневого припуску, залишеного після операції чорнового фрезерування і

наближення до остаточного контуру для отримання точності розмірів і форми готової деталі. При великій кількості «сходинок» на чисто оброблених поверхнях утворюється таке відхилення форми як хвилястість. Для уникнення такого виду відхилення форми та чистоти поверхні необхідно враховувати їх при виборі параметрів обробки на стадії чорнового фрезерування.

Доводочні операції використовуються для остаточної обробки деталі і досягнення заданих кресленням вимог по точності і шорсткості. Припуск під ці операції складає 0,1-0,5 мм [5].

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, основними особливостями обробки просторово-складних деталей на фрезерних верстах з ЧПК є вибір оптимальної послідовності обробки поверхні, вибір обладнання та ріжучого інструменту, визначення раціональної траєкторії обробки поверхні та етапів обробки, функціональні можливості комп'ютерних засобів проектування та трудомісткість створення керуючої програми.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

- [1] Батуев В. В. Повышение производительности и точности чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском: дис. канд техн. наук. – Челябинск: ЮУГУ, 2007. – 208 с.
- [2] Сарбанов, С.Т. Анализ структур операций фрезерования сложных поверхностей на станках с ЧПУ с целью повышения точности и производительности обработки: дис. канд. техн. наук / С.Т. Сарбанов. — М., 1978. —184 с.
- [3] Гимадеев, М. Р. Обеспечение точности деталей на обрабатывающих центрах 3+2 координаты [Текст] / М. Р. Гимадеев, В. М. Давыдов // *Информационные технологии XXI века : сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 535 с.*
- [4] Данилов, В. А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием [Текст] / В. А. Данилов. – Мн: Наука и техника, 1995. – 264 с.
- [5] Остафьев В. А. Исследование точности технологического процесса обработки типовых микромеханических компонентов [Текст] / Остафьев В.А., Диордица И.М., Петренко С.Ф., Филиппова М.В. // *Вісник Національного технічного університету України. Серія Приладобудування. – 2006. – №. 32. – С. 83-89.*

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

## УДК 681.2.001.5:519.68

*О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕВРИСТИЧНОЇ САМООРГАНІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

**Анотація.** В статті наведено огляд методів моделювання процесів і систем та аналіз методів математичного моделювання при розв'язанні технологічних задач. Представлено переваги використання методу групового врахування аргументів, структурні схеми алгоритмів самоорганізації та раціональний метод для розв'язання технологічних задач.

**Ключові слова:** Технологія приладобудування, моделювання, математичне моделювання, методи групового врахування аргументів.

#### **ВСТУП**

Моделювання – це процес побудови моделі, основна проблема якого зазвичай полягає у знаходженні компромісу між простим описом системи і ступенем її деталізації до нього. Існують різні види моделювання: фізичне моделювання полягає в заміні досліджуваного об'єкта або процесу вивченням аналогічного явища на моделі зменшеного або збільшеного масштабу в спеціальних лабораторних умовах. Макетне (наочне) моделювання реалізується шляхом побудови макету об'єкта, що вивчається, і визначенні на основі його аналізу тих чи інших корисних (прийнятних) властивостей оригіналу. Аналогове моделювання – метод дослідження, який використовує пряму (безпосередню) аналогію між величинами, властивими одному явищу, і формально такими ж величинами, притаманними іншому явищу, що входять таким же чином в рівняння процесів. Ситуаційне моделювання (ділові ігри) – це метод, в основу якого покладено відтворення в спеціальних лабораторних умовах певних ситуацій з метою розв'язання складних задач чи в навчальних цілях, які можуть мати місце в реальних системах. Імітаційне моделювання, як інструмент експериментального дослідження складних систем, охоплює методологію створення моделей систем, методи алгоритмізації та засоби програмних реалізацій імітаторів, планування, організацію і виконання на ЕОМ експериментів з імітаційними моделями, машинну обробку даних та аналіз результатів.

#### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Основним методом вивчення, оптимізації та дослідження складних процесів і об'єктів, до яких відносяться технологічні процеси, є математичне моделювання. Даний метод полягає в побудові математичної моделі та дослідженні її аналітичними або числовими методами для отримання необхідної характеристики досліджуваного реального процесу (системи). Математична модель – це логічний чи математичний опис компонентів і функцій, які відображають суттєві властивості об'єкта чи процесу, що моделюється. Варто зазначити, що будь-яка модель – це умовний образ реально існуючих закономірностей, певне наближення до об'єктивної дійсності. Тому спрощення під час побудови математичних моделей, зокрема для дослідження технологічних процесів, є не тільки вимушеними, а й навмисними, оскільки одночасне охоплення всіх аспектів реальності не завжди доцільне і нерідко перевищує можливості дослідників.



Зазвичай математичне моделювання здійснюється у чотири етапи: змістовний опис об'єкту або процесу, коли виділяються основні закономірності системи; формулювання прикладного завдання або завдання формалізації змістовного опису системи; побудова формалізованої схеми об'єкту або процесу; перетворення формалізованої схеми на математичну модель, якщо йде створення або підбір відповідних математичних функцій [1].

При розв'язанні технологічних задач доцільно використовувати наступні види математичних моделей: аналітичні – моделі, що представляють процеси функціонування об'єкта у вигляді математичних залежностей (алгебраїчних, диференціальних, інтегральних рівнянь тощо); статистичні – моделі, які описують стаціонарний об'єкт моделювання, що піддається випадковим впливам, якщо ж здійснюють моделювання нестаціонарних імовірнісних процесів, то використовують стохастичні моделі; моделі з розподіленими параметрами, тобто моделі, що описують просторове поширення явищ, а моделі з зосередженими параметрами нехтують просторовою складовою.

Найбільш перспективним методом моделювання при розв'язанні технологічних задач є метод евристичної самоорганізації моделей, що запропонований академіком А.Г. Івахненком. Цей метод використовує ідею самоорганізації на основі механізмів живої природи – схрещування (гібридизації) і селекції (добору) видів. Для розв'язання математичних задач метод самоорганізації реалізований як метод групового врахування аргументів (МГВА).

На практиці МГВА застосовується для розв'язання наступних задач: ідентифікація фізичних закономірностей; короткостроковий покроковий прогноз процесів і подій; довгостроковий покроковий прогноз; безмодельне прогнозування процесів за допомогою комплексування аналогів; апроксимація багатовимірних процесів; опис і прогнозування часових рядів; вибір обчислювальної схеми для вирішення диференціальних рівнянь; структурна ідентифікація об'єктів (модель вхід-вихід); класифікація / розпізнавання образів (пошук структур з вчителем); кластеризація / таксономія (пошук структур без вчителя); налаштування структури нейронних мереж (самоорганізація структури) [1].

Перевагами МГУА є можливість відновити невідому довільно складну залежність за обмеженою величиною вибірки. Кількість невідомих параметрів моделі може бути більше, ніж кількість точок навчальної послідовності. Також є можливість адаптації параметрів моделі для одержання нових даних експериментів.

На практиці застосовують такі основні види алгоритмів МГУА: однорядний алгоритм самоорганізації. Його використання є доцільним в задачах прогнозування, може працювати із зашумленими даними та дозволяє досліджувати нестаціонарні процеси; багаторядні алгоритми, що застосовуються для розв'язання некоректних чи недовизначених задач моделювання, тобто у випадку, якщо кількість точок у таблиці дослідних даних менше кількості аргументів, що входять в синтезовану модель; комбінаторний алгоритм МГУА. Цей алгоритм дозволяє поліпшити прогнозування моделей складних об'єктів і надати їм об'єктивний характер. Його доцільно використовувати в таких випадках: для довгострокового прогнозу; вибору класу рівнянь і виду опорної функції за допомогою ЕОМ, що виконує перебір багатьох варіантів за

критеріями вибору моделі; вибору множини вихідних і вхідних змінних, а також «провідної» змінної, що доручається ЕОМ; змінні, що погано прогнозуються, прогнозуються останніми; можливість прогнозування при неповному інформаційному базисі; самоорганізації фізичних і прогнозуючих моделей, що можлива при сильно зашумлених вхідних даних [2-4].

В структурі кожного з алгоритмів МГУА можна виділити три основних блоки: перетворення початкових даних відповідно до обраної системи опорних функцій, в якій обирається модель; генерування повної або неповної множини часткових моделей, що послідовно ускладнюються, в обраному базисі; обчислення значень деякого критерію селекції, що має властивості зовнішнього доповнення, і добору часткових моделей, які є кращими за цим критерієм.

В останній час створено нечіткий метод групового врахування аргументів (НМГУА). Даний метод відрізняється тим, що використовується у випадку, якщо нечітко задані вхідні змінні (у вигляді інтервалів невизначеності). В якості вихідних даних метод дозволяє отримати не точкову модель, що відповідає звичайному МГУА, а інтервал, в якому знаходиться рішення, і, відповідно, точність отриманих результатів моделювання підвищується.

Враховуючи наведені переваги застосування МГВА розв'язано задачу вибору раціональної структури методу для розв'язання технологічних задач.

## **ВИСНОВКИ**

За результатами аналізу особливостей різноманітних видів МГВА встановлено, що найбільш ефективним є використання багаторядного алгоритму з пороговим самовідбором. Він дозволяє отримати модель оптимальної складності, що дає можливість отримати залежність величини зносу різального інструменту від режимів різання. При визначенні цієї моделі має враховуватись матеріал оброблюваної деталі, матеріал різальної частини інструменту та параметри якості обробленої поверхні.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем: *навч. посіб. Слово, 2004. – 352 с.*
- [2] Вислоух С.П. Проектування технологічних процесів на основі розпізнавання образів. // *Вісник НТУУ "КПІ". Приладобудування. Вип. 26, – Київ, 2003. С. 65-73.*
- [3] Вислоух С.П., Катрук О.В. Моделювання технологічних параметрів нечітким методом групового врахування аргументів. / *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2007, №1 (89). – С. 169 – 172.*
- [4] Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / *С.П. Вислоух. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 488 с.*

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

УДК 531.7.08

Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-51, ас. Сорока С.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ. ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація.** Дана стаття містить огляд існуючих методів безконтактного контролю. Описані методи вимірювання, принципи їх застосування. Розглядається використання безконтактної системи для контролю розмірів. Приведено приклади використання, можливості та переваги такої системи в процесі контролю в порівнянні з іншими системами. Наведено принцип роботи безконтактної системи контролю розмірів.

**Ключові слова:** методи контролю, безконтактний контроль, сканування.

### ВСТУП

Сучасні технології дозволяють збільшувати продуктивність праці та підвищувати якість виробів за рахунок використання автоматизованих систем виробництва.

Враховуючи об'єктивні фактори, на які впливає знос інструменту, розбалансування системи, виникнення непередбачуваних ситуацій та ін. виникає потреба постійного контролю за відхиленням розмірів деталей.

Метою дослідження є аналіз існуючих методів автоматизованого вимірювання відхилення величини геометричних розмірів деталей, а також визначення можливості розробки системи контролю геометричних розмірів деталей приладів із використанням лазерних та комп'ютерних технологій, яка дозволяє управляти процесом в реальному часі за допомогою програмного забезпечення.

### ОГЛЯД МЕТОДІВ

Методика виконання вимірювань - встановлена сукупність операцій і правил при вимірюванні, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з гарантованою точністю відповідно до прийнятого методом. Аналіз методів вимірювання слід починати зі з'ясування основних розпізнавальних ознак: є він методом безпосередньої оцінки або методом порівняння з мірою.

Відмінності між двома методами вимірювань полягають в тому, що метод безпосередньої оцінки реалізують за допомогою приладів без додаткового застосування міри, а метод порівняння з мірою передбачає обов'язкове використання міри. Міри відтворюють з обраною точністю фізичну величину певного розміру.

Метод безпосередньої оцінки - метод вимірювань, при якому значення величини визначають безпосередньо показуючи по засобу вимірювань. При методі безпосередньої оцінки значення вимірюваної фізичної величини визначають по відліковому пристрою приладу прямої дії.[2]

Формальне вираження для опису методу безпосередньої оцінки може бути представлено в наступній формі:

$$Q = x,$$

де Q - вимірювана величина,

x - показання засобу вимірювання.

Метод порівняння з мірою - метод вимірювань, в якому вимірювану величину порівнюють з величиною, що відтворюється мірою. Метод характеризується тим, що прилад використовують для визначення різниці вимірюваної величини і відомої величини, що відтворюється мірою. Для реалізації цього методу придатні прилади з відносно невеликими діапазонами показань, аж до виродження шкали з однієї нульовою відміткою. Прикладом цього методу є вимірювання маси на важільних вагах з зрівнюванням об'єкта гирями міри маси).[3]

Формально метод порівняння з мірою може бути описаний таким виразом:

$$Q = x + X_M,$$

де  $Q$  - вимірювана величина,

$x$  - показання засобу вимірювання.

$X_M$  - величина, відтворена мірою.

У класифікації методів вимірювань за наявністю контакту використовуються наступні визначення.

Контактний метод вимірювань - метод вимірювань, заснований на тому, що чутливий елемент приладу приводиться в контакт з об'єктом вимірювання. Приклади: вимір діаметра вала індикаторної скобою, вимірювання температури тіла термометром.

Безконтактний метод вимірювань - метод вимірювань, заснований на тому, що чутливий елемент засобу вимірювань не наводиться в контакт з об'єктом вимірювання. Прикладами можуть бути вимір температури в доменній печі пірометром і вимірювання відстані до об'єкта радіолокатором.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ОГЛЯДУ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ**

Одним з найважливіших напрямків в забезпеченні якості та конкурентоспроможності продукції є безконтактний контроль розмірів. Система безконтактного контролю (СБК) має наступні переваги:

- можливість дистанційних вимірювань при великих відстанях між вимірювальним пристроєм і об'єктом.
- відсутність сил, що впливають на об'єкт вимірювання.
- висока швидкодія і можливість одночасного багатопараметричного контролю об'єктів.
- висока точність і стабільність вимірювань.
- можливість широкого варіювання роздільної здатності і діапазону вимірювань.
- можливість здійснення автоматизованих вимірювань без участі людини.[4]

В якості первинних перетворювачів СБК в даний час застосовуються фотоелектричні перетворювачі на приладах із зарядним зв'язком (ФПЗЗ) і лазерні точкові або скануючі далекоміри спільно зі спеціальними засобами освітлення. Принцип використання СБК для контролю розмірів деталей полягає в

проектуванні тіньового зображення деталі або її фрагментів на ФПЗЗ або в лазерний далекомір, перетворенні оптичного зображення в електричний сигнал, здійсненні його логіко-математичної обробки в обчислювальній пристрої та передачі результатів обробки в систему технологічного управління виробництвом і оператору. Вимірювання проводиться безконтактно, за допомогою цифрових лазерних датчиків, встановлених відповідно до умов базування об'єкта і схемою вимірювань. Широкий вибір моделей датчиків забезпечує необхідну точність на різних діапазонах вимірювань.

Програмне забезпечення виконує обробку сигналу, в тому числі:

- Калібрування, перехід до реального масштабу координат.
- Прив'язку системи координат до об'єкту.
- Вимірювання і розрахунок геометричних параметрів.
- Об'єднання показань декількох датчиків для отримання цілісної інформації.
- Перевірку результату вимірів на знаходження розмірів в поле допуску.
- Відношення до конкретного класу виробів (в задачах сортування).
- Переваги:
- Забезпечується 100% контроль розмірів кожної одиниці продукції.
- Виключається «людський фактор» викликає помилки при вибіркового ручному контролі.
- Контроль розмірів в реальному масштабі часу дозволяє своєчасно внести корективи в технологічний процес і виключити брак.
- Висока точність вимірювань (від 10 мкм).
- Інтеграція в існуючі виробничі лінії, АСУ ТП.
- Додаткові можливості:
- Інтеграція лазерних вимірювачів з приводами і системами управління рухом
- Лазерні вимірювальні пристрої можуть встановлюватися безпосередньо на обробне обладнання з метою контролю положення робочого органу або активного контролю якості.
- Існують моделі для екстремальних навколишніх умов (наприклад висока температура об'єкта в металургії), а також різні захисні принадлежності (наприклад системи охолодження або кожух із захистом від вибуху).[4]

Приклади використання:

- Вимірювання діаметра і контроль овальності.
- Вимірювання довжини труби.
- Вимірювання габаритних розмірів.
- Контроль параметрів різьблення та ін.
- Прецизійні вимірювання.

## **ВИСНОВОК**

Промислові лазерні вимірювальні системи дозволяють проводити безконтактні вимірювання геометричних розмірів і форми сировини, заготовок, деталей і готової продукції в процесі виробництва безпосередньо на конвеєрі або у виробничій лінії з мікронною точністю. Вимірювання проводиться безконтактно, за допомогою цифрових лазерних мікрометрів, встановлених відповідно до умов базування об'єкта і схемою вимірювань. Для прецизійних вимірювань застосовуються лазерні мікрометри, що забезпечують субмікронних точність при використанні високоточних лінз. Для контролю відносних даних автоматизованого проектування, програмне забезпечення GOM пропонує багато інтерфейсів, таких як IGES, JT Open, STEP, CATIA, NX, SolidWorks і Pro / E.

Суть методу безконтактного лазерного сканування полягає в формуванні 3D моделі деталі (заготовки). Сучасні системи сканування, наприклад така як ATOS, дозволяє проводити безконтактний лазерний контроль розмірів деталей. Цифровий 3D-сканер цілком сканує поверхню компонента, не торкаючись його. Використовуючи мільйони точок вимірювань, програмне забезпечення ATOS автоматично вираховує тривимірні координати у вигляді хмари точок з високою роздільною здатністю (триангульовані сітки STL). Ці полігональні сітки описують поверхні і геометричні елементи довільної форми, які після цього можуть бути порівняні з кресленнями або безпосередньо з пакетом даних САПР з метою аналізу форми і розміру деталей.[6]

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н.І. Александровська, В.Д. Євдокимов – Миколаїв. Метрологія, стандартизація та управління якістю.: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011.
- [2] Методы измерений. Метод непосредственной оценки: достоинства и недостатки. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metrologiya.ru/index.php?action=full&id=485>.
- [3] Методы измерений. Нулевой метод: сущность, достоинства и недостатки. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metrologiya.ru/index.php?action=full&id=487>.
- [4] Бесконтактные методы измерения размеров и формы объектов с использованием лазера. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://life-prog.ru/view\\_msinv.php?id=40](https://life-prog.ru/view_msinv.php?id=40).
- [5] Класифікація вимірювань. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/3-110045.html>.
- [6] Точная промышленная метрология. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atos-core.com/ru/index.php>.

*Науковий керівник – ас. Сорока С.О.*

УДК 621.7.015:004.89

А.В. Сувала, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація.** В даній статті розглядається питання формулювання експертної системи, а також підведений результати формування систем штучного інтелекту та експертних систем, розробка бази знань і бази даних. Основною метою, його достовірність при проектуванні технологічного процесу.

**Ключові слова:** штучний інтелект, експертна система, база знань, база даних.

### ВСТУП

Основним призначенням експертних систем (ЕС) є розробка таких програмних продуктів, які при рішенні завдань, які є складними для користувача не обізнаного в даній області, одержують результати, що не поступаються за якістю вирішення цієї ж проблеми експертом. ЕС застосовуються для рішення неформалізованих задач. У сфері інформаційних технологій експертні системи розглядаються в сукупності з базами знань, які наповнені знаннями експерта у певній галузі знань з використанням процедур логічного висновку і прийняття рішень. Самі бази знань представлені - як сукупність фактів і правил логічного висновку в обраній предметній області діяльності. Більшість поставлених завдань характеризуються неповнотою, суперечливістю і неоднозначністю як початкових даних, так і умов для розв'язування задач. Експертна система - це такий засіб, що використовує експертні знання для забезпечення високоефективного рішення задач у вузькій предметній області. Їх основу складає база знань про предметну область, яка накопичується в процесі побудови та експлуатації ЕС. Накопичення і організація знань – найважливіша властивість всіх ЕС. Знання є явними і доступними, що відрізняє ЕС від традиційних програм, і визначає їх основні властивості [1]. Робота ЕС поділяється на: придбання знань і вирішення поставленого питання (режим консультації). За придбання знань та варіанти вирішення, відповідає база знань, яка заповнюється, а сам результат записується у базу даних. У період придбання знань, спілкування з ЕС здійснює експерт за допомогою інженера обізнаного в даній області. Експерт аналізує проблемну область сукупністю фактів і правил, заповнюючи ЕС знаннями, які в подальшому дозволяють самостійно вирішувати завдання [2].

### СТАН ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

В даний час розроблені десятки моделей подання знань для різних предметних областей. Відомі й використовуються оболонки побудови ЕС на основі правил (CLIPS), нечітких множин (FuzzyCLIPS), байесовських мереж довіри (Hugin, MSBN) і ряду інших моделей. Найбільш універсальними мовами і середовищами побудови власних експертних систем є ESWIN, ESTA, Visual Prolog. В основі більшості сучасних оболонок ЕС використовується продукційна модель. Таким чином, на відміну від традиційного підходу розробку ЕС здійснює не програміст, а експерт, який не володіє знаннями в програмуванні [3].

До появи експертних систем комп'ютери створювались за принципами алгоритмічної методології. Для того, щоб такі обчислювальні системи могли успішно працювати, вимагається виконати значну низку попередніх умов. Перш за все, для кожної розв'язуваної задачі потрібно розробити алгоритм. Потім цей алгоритм потрібно перетворити у докладну програму яка реалізуватиме майбутні обчислення. Також, потрібно потурбуватися про те, щоб всі обчислення були забезпечені повним обсягом достовірної вихідної інформації. Застосування експертних систем дозволяє підвищити ступінь довіри до того, що прийнято правильне рішення, шляхом надання ще однієї обґрунтованої думки людині-посереднику за наявності неузгоджених думок між декількома експертами-людьми. Рівень експертних знань, скомбінованих шляхом об'єднання знань декількох експертів, може перевищувати рівень знань окремо взятого експерта-людини при цьому знання експертної системи зберігаються протягом невизначено довгого часу і нікуди не зникають [4]. Тому розробка подібної системи є дуже важлива у галузі приладобудування.

### МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

В основі більшості сучасних оболонок ЕС використовується продукційна модель, яка заснована на правилах і дозволяє знання подати конструкціями виду: **ЯКЩО <умова (антецедент)>, ТО <дію (консеквент)>.**

Під умовою розуміється сукупність питань на які відповідає користувач та варіантів відповідей, що можуть належати донному блоку. Дія – це наслідок який виконуються при успішному результаті пошуку. Усередині дії можуть також генеруватися і додаватися до бази нові факти, які були отримані в результаті обчислень або взаємодії з користувачем. Зв'язок між елементами експертної системи можна представити у наступному вигляді (рис. 1).

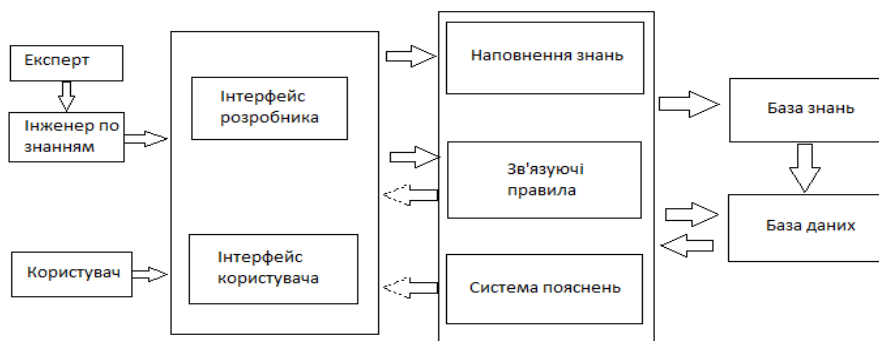


Рисунок 1. Загальна архітектура експертної системи.

Всі елементи системи певним чином зв'язані між собою. Інтерфейс ЕС із зовнішнім середовищем підтримує взаємодію ЕС із зовнішнім світом на всіх стадіях життєвого циклу системи і включає дві компоненти: інтерфейс розробника і інтерфейс користувача. Інтерфейс розробника використовується на етапі розробки ЕС, його основною функцією є підтримка процесу наповнення бази знань (БЗ). Зазвичай ця функція виконується експертом в предметній області у взаємодії з інженером по знанням. Інтерфейс користувача підтримує спілкування користувача з системою в режимі консультації або взаємодія ЕС з



технічними засобами (у разі її вбудованого застосування) на етапі її використання. Зв'язуючі правила зберігають факти про поточний стан, проміжних і остаточних результатах виведення. База знань служить для зберігання знань. Форма зберігання відповідає обраної моделі подання знань.

Формульне представлення експертної системи:

$$ES_{iy}^{if} (i \in I, j \in J), y \in Y, f \in F \quad (1)$$

$ES_{iy}^{if}$  – множина, що визначається сукупністю умов та дій тобто наслідків.

При цьому кількість умов не дорівнює кількості наслідків, оскільки деякі властивості можуть збігатись;  $J$  – множина умов, що задані експертом,  $I$  – множина наслідків, які складають базу знань, при цьому вона не є сталою у часі;  $F$  – множина умов,  $Y$  – множина дій, які задовольняють для вирішення поставленого завдання, що складають в подальшому, як зв'язуючі правила.

Результат визначається парою множин  $(Dy, \xi y)$ ,

$$Dy = (DB_{iy}^{if}, KB_{iy}^{if}, CB_{iy}^{if}) \quad (2)$$

де  $DB_{iy}^{if}$  – база даних;  $KB_{iy}^{if}$  – база знань;  $CB_{iy}^{if}$  – зв'язуючі правила;  $Dy$  – множина, що формується на перетині множин бази знань, зв'язуючі правил та бази даних;  $\xi y$  – підмножина усіх наслідків зібраних на кожному з етапів.

Тобто маючи сформовану базу знань, під час діалогу з користувачем формуються зв'язуючі правила, які у свою чергу слугують фільтром для отримання правильного результату із бази даних. Часто до експертних систем висувають додаткову вимогу – здатність мати справу з невизначеністю і неповнотою. Деколи користувач не володіє повною інформацією про об'єкт дослідження або не впевнений у правильності вибору, тому слід враховувати також ці умови.

## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

Структурне наповнення експертної системи слугує для проектування технологічного процесу деталі типу «корпус». Що характеризується базою знань, для опису деталі, визначення її структури та типу. Для створення експертної системи було обрано середовище EsWin 2.1. Програма призначена для створення і експлуатації систем для вирішення різних завдань, що зводяться до завдань прийняття рішень (діагностики, конфігурації, ідентифікації, оцінки тощо.). Програму розроблено на основі оригінальної технології експертних систем з поданням знань у вигляді фреймів, правил-продукцій і лінгвістичних змінних, і можливістю розробляти і запускати спеціалізовані програми у вигляді ехе-файлів, а також, в процесі вирішення завдань використовувати дані з баз даних, доступ до яких здійснюється за допомогою SQL-запитів, що формуються автоматично. При цьому структура системи формує детальний процес отримання даної деталі. Планування технологічного процесу залежить на пряму від сукупності операцій обробки з метою отримання деталі за заданими споживачем властивостями. Будь-який технологічний процес характеризується набором параметрів, які впливають на протікання формування самої бази знань. Також можливе оновлення, редагування та видалення інформації з бази знань.

Результат записується в базу даних та може бути використаний при проектуванні самої деталі, якщо ж сам процес задовольнить користувача.

При розробці технологічного процесу враховується, що параметри з часом не змінюються. Основні функціональні властивості системи, це збір первинної інформації для формування процесу, отримання безпосередньо її від користувача. Також застосування засобів обробки інформації та засобів візуалізації інформації у вигляді технологічного процесу. Важливу увагу було приділено заповненню бази знань, що відіграє важливу роль при реалізації самого проекту. Формат у якому заповнюється дана база складається з ключових слів для формування та правильного застосування її у програмному продукті. В середовищі ESWIN 2.1 було створено базу знань і застосовано саму систему на основі цієї бази. Результатом виконання слугує технологічний процес який записується у базу даних Microsoft Access Database, але також може бути збережений у текстовий документ. Можливо також відслідкувати чому саме таке рішення було прийнято системою, відслідкувати весь перебіг прийняття рішень.

## **ВИСНОВКИ**

Експертна система дуже важлива при знаходженні правильного рішення в короткий проміжок часу, створює можливість для створювання і накопичування знання, які уможливають діяти в умовах значної інформаційної невизначеності. На різних етапах роботи було проведено аналіз даних, створено базу знань технологічного процесу обробки корпусу, підібрано інформацію та структуровані у відповідності до вимог програмного продукту для реалізації у даному середовищі. Створенню бази даних для збереження результату та її структурування, внаслідок цього отримано спроектований технологічний процес.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Алиев Р.А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. - М.: Радио и связь, 2016. – 264 с.
- [2] Ярмошенко О.В. Интеллектуальные системы принятия решений при проектировании технологических процессов [Текст] / О. В. Ярмошенко, С.П. Вислоух // Молодий вчений. – 2017. – №2. – С. 229–234.
- [3] Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
- [4] Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы / Ю.Я. Любарский. – М.: Наука, 2013. – 232 с.

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

## УДК 617-022

*Р.Р. Хайретдінов, студент групи ПБ-382, С.П.Вислоух, к.т.н., доцент*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### УЛЬТРАЗВУКОВА ХІРУРГІЯ В СТОМАТОЛОГІЇ

**Анотація** В статті розглядаються особливості дії ультразвуку на організм людини. Наведено переваги використання ультразвукових коливань в стоматології, надано напрямки виконання ультразвукової хірургії і представлено використовуваний при цьому інструментарій.

**Ключові слова:** ультразвук, стоматологія, ультразвукова хірургія, хірургічний інструмент, магніостриктор.

#### ВСТУП

Дія ультразвуку на організм людини призводить до місцевих і загальним нейрорефлекторних і нейрогуморальним реакцій, які проявляються фазно і відрізняються післядією [1].

В сучасній медицині застосування ультразвуку знаходить дуже широке застосування не тільки як засіб для проведення діагностичних процедур різного напрямлення, а й для проведення хірургічного втручання при проведенні мало інвазійних операцій, як в порожнині ротової порожнини, для лікування зубів і ясен, при не відкладних випадках, так і при профілактичних випадках.

Особливості дії ультразвуку є в тому, що ультразвукові коливання збурюють мікро частини рідини, яка міститься в організмі, і задають їй над швидкого коливального руху із постійним прискореннями. Так у, в рідині створюються ділянки надмірного тиску і розрядки. При заданні коливання, що розповсюджується, ділянки підвищеного і зниженого тиску збільшуються із швидкістю звуку, для даної рідини. Якщо на відстані кратному  $1/2$  довжини хвилі коливання від джерела випромінювання, виявляється поверхня віддзеркалення, то утворюється стояча хвиля, коли ділянки підвищеного і зниженого тиску залишаються нерухомими. [2,3]

#### УЛЬТРАЗВУК В СТОМАТОЛОГІЇ

Сучасні процеси в медичних технологіях, особливо в стоматологічній галузі, створює нові можливості для лікарів. Більшість населення нашої країни систематично звертається до лікарів стоматологів, і від того, на якому стоматологічному обладнанні працював лікар, і які застосовував при цьому стоматологічні технології, впливає на якість надання послуг лікування, а також про подальше медичне супроводження пацієнта.

Ультразвук в хірургії (п'єзо-хірургія) в стоматології застосовується для різних за призначенням маніпуляцій: видалення зубів, підсадки кісткової тканини, імплантації зубів і ін. Розсічення тканин проводять застосовуючи ультразвук, завдяки цьому не травмуються навколишні ясна, судини і нерви, а сам надріз робиться максимально тонко і точно.

В порівнянні з іншими методиками при застосуванні ультразвуку мають чіткий позитивний результат як при лікуванні, так і при імплантації зубів.

Переваги використання ультразвуку в хірургії:

- мале травмування м'яких тканин порожнини рота;
- висока якість проведення хірургічного втручання;

- можливість не значної кровотечі, при наявності хронічного захворювання ротової порожнини, а саме м'язів;
- операції проводять у різних частинах організму;
- швидке відновлення після хірургічного втручання, що значно швидше в порівнянні з методами, що застосовувались раніше;
- хірургічне втручання проводиться безболісно;
- додатково при проведенні хірургічного втручання, при застосуванні інструменту на базі ультразвук є антисептичний ефект.

Ультразвук не вступає в взаємодію з тканинами, діє на відстані. Під впливом ультразвукових хвиль, відбувається розсічення навіть самих твердих тканин, при цьому м'які тканини абсолютно не травмуються.

Використання ультразвукових приладів і інструментів в хірургії полягає в наданні хірургічним інструментам ультразвукових коливань, що істотно збільшує їх ефективність, полегшує проведення хірургічного втручання при цьому зменшує ушкодження тканин. Застосування можна поділити на такі методи: ультразвукове розсічення м'яких тканин; ультразвукове різання, свердління, трепанація, зварювання і наплавлення кісткової тканини: ультразвукова ендартеректомія.

В більшості сучасні ультразвукові прилади для хірургії в стоматології, виготовляють на новітніх виробничих лініях, з використанням передових розробок, в приладобудуванні. А саме використовують елементи мікроелектроніки, процесори, що можуть обробляти значні масиви інформації, і швидко видавати інформацію про протікання процесу а саме стану робочих органів приладу. Також сучасні прилади мають компактні форма, меншу ціну виготовлення, що дозволяє їх використовувати в кожному стоматологічному кабінеті, для проведення безболісних, якісних медичних процедур, для широкого кола пацієнтів, яким необхідно застосувати медичну допомогу при лікуванні захворювань зубів.

Метод ультразвукового різання м'яких тканин ґрунтується на накладанні поздовжніх ультразвукових коливань з амплітудою не більше 45мкм і з частотою, що лежить в межах 22-44кГц, на лезо ріжучого інструменту, яким хірургом здійснює поступальний рух. Під дією УЗ-коливань, що передаються на інструмент, швидкість відносних поздовжніх переміщень збільшується в кілька разів відносно поступального переміщення леза інструмента. При цьому, за рахунок руйнування клітинної структури прилеглих до леза шарів тканини під впливом кавітації, сухе тертя переходить в напівсухе або навіть рідинне. Зусилля різання суттєвого зменшується як у нормальному, так і тангенціальному напрямку.

Ультразвукові коливання збуджуються магнітостріктором і за допомогою концентратора передаються до ріжучого інструменту. Магнітостріктор виготовляють з феритового броньового циліндричного магнітного дроту, в порожнину якого закладається обмотка, або набирається з Ш-подібних пластин з нікелевого сплаву, на центральний стрижень яких намотується обмотка. При

перемагнічуванні матеріалу виникає явище магніострикції, внаслідок якого поздовжні розміри стрижнів коливаються з частотою перемагнічення струму.

До магніостриктора приклеюється конічно-циліндричний концентратор. Довжина концентратора вибирається рівною половині довжини хвилі ультразвуку на робочій частоті. До концентратора, за допомогою різьблення, приєднують змінний інструмент, що має форму напівхвильового концентратора, у якого переріз звужується до інструменту по експоненті. Завдяки зменшенню перерізу конічної частини концентратора та інструменту, і роботі їх в резонансному режимі відбувається посилення амплітуди УЗ-коливань в кілька разів, при їхньому проходженні від магніостриктора до ріжучої частини інструменту.

Наявність змінних інструментів-насадок різної конфігурації потребує врахування того, що резонансні частоти інструментів відрізняються один від одного. Для забезпечення резонансного режиму роботу використовують генератор з підстроюванням частоти ( $\pm 2\%$  від номінальної).

Налаштування можливо проводити при ручному змінюванні насадок, для чого спеціалізовані прилади мають індикатори резонансу, які в свою чергу відображають значення струму навантаження вихідного каскаду підсилувача потужності генератора. Використовуючи інструмент, при зміні навантаження, резонансна частота утримується в автоматичному режимі, за допомогою схеми автоматичного підстроювання частоти.

## **ВИСНОВОК**

Використання ультразвуку дозволяє спростити процес санації хірургічних розрізів за рахунок наступного ефекту. На кордоні розрізу клітинної тканини і рідини (води, фіз. розчину або розчину антибіотиків) під дію ультразвуку виникають інтенсивні потоки з великими градієнтами швидкостей. Ці потоки здійснюють змив відмерлих частинок тканин і мікроорганізмів. При цьому хвороботворні мікроорганізми і частки тканин руйнуються в кавітуючій рідині.

Останнім корисним ефектом, що виникає при використанні ультразвуку, є прискорення полімеризації біологічних клеїв. Що в свою чергу в значній мірі зменшує час на проведення медичних процедур, і прискорює процес реабілітації після їх проведення.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Эльпинер И.Е., Биофизика ультразвука. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1973. – 280 с.
- [2] Медична апаратура спеціального призначення [Текст] : навчальний посібник / С.М. Злепко, Л.Г. Коваль, Н.М. Гаврилова, Г.С. Тимчик. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 160 с.
- [3] Фізіотерапевтична апаратура: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів, які навч. за напрямом підготовки "Приладобудування" / Г.С. Тимчик, М.В. Філіппова, І.М. Діордіца; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ "КПІ". – Київ : НТУУ "КПІ", 2012. – 280с.

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

УДК 621.01:621.77.04

*О. В.Третяк, студент гр. ПБ-61, к.т.н., ст. викл. Барандич К. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ПВП-КЛЕЮ ПРИ 3D-ДРУКУ ДЕТАЛЕЙ З PLA-ПЛАСТИКУ**

**Анотація.** У даній статті розглянуто задачу фіксації друкуючої деталі до робочого столу. Показано вплив обраної фіксуєчої речовини при 3D-друку деталей невеликих розмірів з PLA-пластику на лабораторному 3D-принтері. Проаналізовано переваги, недоліки, помилки, які можуть виникнути при друку малих деталей. Надано практичні рекомендації для поліпшення якості деталей при їх 3D-друку.

**Ключові слова:** 3D-друк, 3D-моделі, 3D-принтер, ПВП-клей, проблеми друку, фіксуєча речовина.

### **ВСТУП**

Для належної фіксації деталей на робочому столі 3D-принтеру при 3D-друку використовують зазвичай малярну клейку стрічку або ПВП-клей. Спеціальна малярна клейка стрічка для 3D-друку застосовується для фіксації майбутнього виробу до робочого столу 3D-принтеру в тому випадку, коли стіл не має функції підігріву або за низької температури підігріву. Після друку виріб легко знімається без пошкоджень, тим самим зберігаючи стіл від пошкоджень. Може застосовуватися багаторазово (одної стрічки довжиною 20 см може вистачити на 20-30 моделей). Малярну клейку стрічку необхідно клеїти на робочий стіл рівно і без пухирців. Варто зазначити, що вартість такої малярної стрічки складає близько 650 грн [1]. Більш бюджетним варіантом для вирішення завдання фіксації деталей на робочому столі при 3D-друку – використання ПВП-клею, вартість якого варіюється в межах 6-30 грн, що значно менше вартості малярної стрічки. Проте при його використанні можна зіштовхнутися з певними проблемами [2].

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Так, наприклад, при 3D-друку деталей на лабораторному 3D-принтері (рис.1) було використано декілька марок ПВП-клею: «ECONOMIX», «АІНАО», «Ортіма». ПВП-клей марки «ECONOMIX» застосували для друку одночасно п'яти деталей (рис. 2). За розрахункового часу друку в 24 хв. і спроектованих 22 шарів після виконання 6 з них, деталі відклеїлися та почали переміщуватися разом з соплом принтеру. Подальший друк був неможливий.

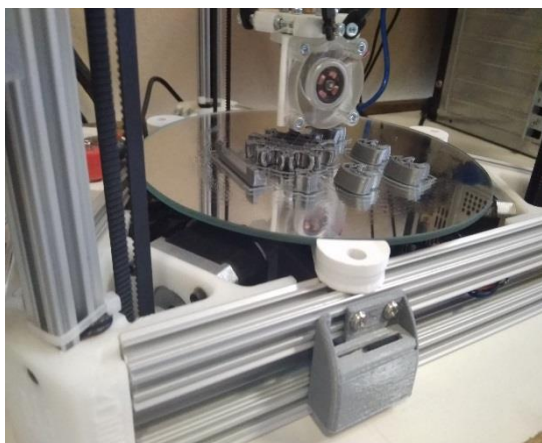


Рис.1. Лабораторний 3D-принтер



Припустивши, що клей почав засихати, оскільки термін його придатності вже вичерпувався, його було змінено на інший – ТМ «АІНАО». На відміну від попереднього з білою текстурою, новий був прозорим і не залишав, як інколи попередній, грудочок клейкого матеріалу. При цьому нижня поверхня деталей утворювалася гладенькою. Проте при одночасному друку чотирьох однакових деталей (рис. 3) також виникла проблеми. Для збільшення площі контакту деталей з робочим столом 3D-принтера застосовано функцію край, яка добудовує до перших шарів виробу так звану «спідницю» визначеної ширини [3]. Розрахований час складав 50 хв. Через 38 хв. друку, дві деталі відклеїлися від предметного столу, і екструдер зіштовхнув їх за межі робочої зони принтера. Як результат – витрачений матеріал і час.

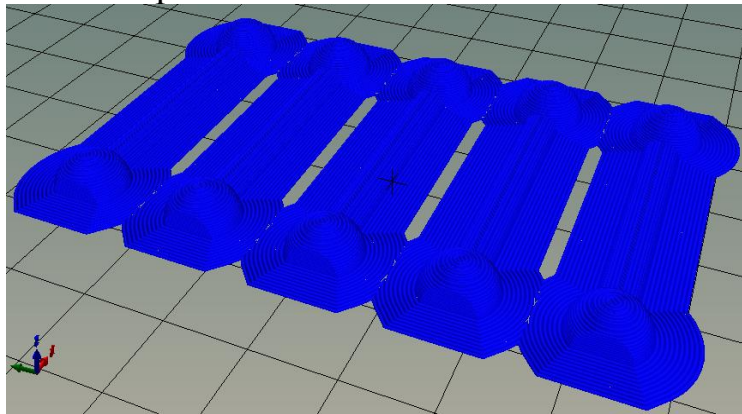


Рис.2. Декілька 3D-моделей деталей у робочому просторі 3D-принтера

Клей марки «Optima» обрали також з білою текстурою, він був не щойно куплений, тому платформу змащували ретельно. В цьому випадку також використовували функцію край (рис. 4). Друк виконано успішно.



Рис. 3. Деталі, що відклеїлися в процесі друку

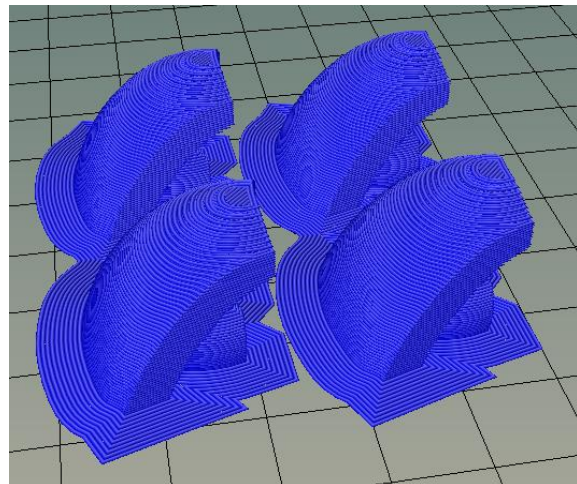


Рис.4. 3D-моделі деталей з використанням функції край

Після завершення роботи 3D-принтера, деталі знімали з робочого столу з використанням канцелярського ножу. Можна також використовувати тонкий шпатель [4]. Завдяки правильно підібраній фіксуєчій речовині, вдалося додрукувати всі необхідні частини і зібрати виріб (рис. 5).



а)

б)

Рис.5. Готовий виріб: а – складений; б – трансформований

## ВИСНОВКИ

Практичним шляхом визначено, що якість клею впливає на надійність фіксації виробу на робочому столі 3D-принтеру під час друку. Важливо дотримуватися умов зберігання клею, які визначає виробник, також закривати ємність кришкою після використання. При робочому процесі звертати увагу на температуру повітря і вологість у кімнаті, адже з початком опалювального сезону повітря стає сухим, змащений клеєм робочий стіл при цьому висихає швидше. Для надійнішого закріплення деталі або виробу на робочому столі, краще змащувати його поверхню безпосередньо перед початком друку та очищати стіл після кожного друку. Отримані результати знадобляться у подальшій роботі та для удосконалення методів фіксації деталей та виробів при 3D-друку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Принтер 3D. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://3ddevice.com.ua/product/skotch-dlya-3d-pechati-blue-tape/>
- [2] Є. Канесса, К. Фонда, М.Зеннаро Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития. Первое издание, – Триест, 2013г. – 193 с.
- [3] Stephens, B.; Azimi, P.; El Orch, Z.; Ramos, T. (2013). "Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers". *Atmospheric Environment*. 79: 334–339.
- [4] Роман Строганов. 3D-печать. Коротко и максимально ясно Статистика : навч. пос. / В. К. Горкавий. — 2-е вид., перероб. і доп. — К. : LittleTinyN Books, 2016. — 608 с.

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



**УДК 681.2.008**

*Т.Є. Циба, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СИСТЕМА РОЗМІРНОГО НАЛАШТУВАННЯ**

**Анотація.** У даній роботі розглядається система розмірного налаштування ріжучого інструменту на розмір методом торкання на основі використання датчика при обробці деталей приладів, надана функціональна схема її побудови та алгоритм роботи.

**Ключові слова:** точність, датчик торкання, розмірне налаштування.

### **ВСТУП**

В ході розвитку приладобудування велику популярність отримали гнучкі виробничі системи, які дозволяють встановлювати і закріплювати деталі в автоматичному режимі, проводити обробку згідно керуючої програмі, також повністю виключити вплив людського фактора на процес механічної обробки.[1]

Незважаючи на те, що система числового програмного керування (СЧПУ) проводить автоматичне керування всіма процесами обробки деталей по УП, необхідно перед початком роботи проводити розмірне налаштування різального інструменту на розмір. У більшості випадків, такі верстати з ЧПУ, не мають систем зворотнього зв'язку, які б контролювали вихідні параметри отриманої деталі і давали інформацію про проходження процесу механічної обробки. Тому, коли при обробці партії деталей виникають похибки обробки, то це призводить до браку.[2]

До таких похибок відносяться:

а) втрата внаслідок збоїв в керуючій системі верстата з підрахунку величини переміщень робочих органів щодо базових точок координат. Такий збій завжди викликає, в кожному циклі роботи, похибка позиціонування вершини ріжучого інструменту щодо деталі.

б) втрата налагодженого (номінального) розміру ріжучого інструменту щодо деталі внаслідок його постійного розмірного зносу;

в) втрата внаслідок теплової деформації обробної системи;

### **МЕТА РОБОТИ**

Вивчивши процес обробки необхідно зробити висновок, що втрати величини переміщення через наявність зазорів в ходових елементах верстата, а також внаслідок втрати базових точок при зміні холостих ходів супорта на робочі викликають випадкову похибку до 10 мкм за один цикл обробки. Наявність таких значних похибок погіршує точність обробки деталей, що в разі обробки деталей підвищеної точності є просто неприпустимим.

Отже, для уникнення браку необхідно періодично проводити автоматичні підналагодження і відстежувати результати обробки протягом усього часу роботи. Для цього потрібно верстати з ЧПУ оснастити системами зворотнього зв'язку, які б проводили налаштування інструменту на потрібний розмір перед обробкою.

Тому метою даної роботи є розробка системи автоматичної корекції і налагодження верстатів з ЧПУ, яка б змогла забезпечити високу точність

обробки деталей, скоротити час проведення операції налагодження, зменшити кількість бракованих деталей.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Система здійснює процес налаштування ріжучого інструменту на «робочий розмір» з урахуванням необхідних вимірювальних координат базових точок руху робочих органів верстата (супорта або інструментальної головки) по його осях Z і X в робочому просторі [3].

В процесі роботи технологічної обробної системи (ТОС) виникають неминучі похибки, які за часом роботи  $\tau$  носять похибку в позиціонуванні вершини ріжучого інструменту на деяку величину, яку можна записати, як вектор  $\overline{\Delta}_{k1}(\tau)$ . Він виражається функцією:

$$\overline{\Delta}_{k1}(\tau) = f(\overline{h}_1(\tau); \overline{\theta}_{рез}(\tau)) \quad (1)$$

В процес механічної обробки (ПМО) деталь обробляється інструментом, який вже має якусь похибку позиціонування, яка з часом  $t$  буде прогресувати і знижувати точність обробки [3].

Для підвищення точності вимірювання та визначення періодичності проведення налагодження розраховується так звана похибка від зносу верстата  $\Delta_{st}(\tau)$ . Дана похибка визначається як відношення реального часу підведення датчика торкання до деталі і розрахункового часу підведення ДТ до деталі, яку можна розрахувати знаючи величину подачі і шлях, який повинен пройти ДТ до деталі, згідно еталонних даних.

$$\overline{\Delta}_{sp}(\tau) = \frac{\tau_p}{\tau_T(S, X_{H0}, Z_{H0})} \times 100\% \quad (2)$$

За значенням можна судити про те, як часто потрібно проводити вимірювання і налаштування верстата.

Для підвищення точності реєстрацію координат, вимірювання одного розміру виконується послідовно кілька разів (експериментально підтверджено, що досить проводити вимірювання 3 рази,  $N_i$ ), і за їх результатами вибирається середнє значення, і реєструється, як дійсно виміряний ( $X_m, Z_m$ ).

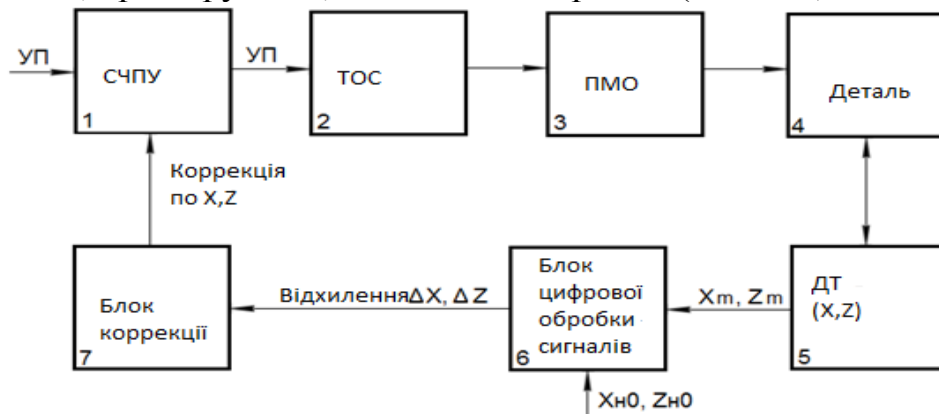


Рис. 1. Функціональна блок - схема системи розмірного налаштування.

Для попереднього налаштування ріжучого інструменту, визначення координат базових точок, використовується точна базова поверхня, яка не змінюється в процесі обробки. Як приклад, при токарній обробці, базовою поверхнею може бути токарний патрон, на якому потрібно зробити точну кругову канавку, по якій і будуть визначатися базові координати ( $Z_0$  і  $X_0$ ). Потім в процесі обробки виникають згадані, неминучі похибки, векторна сума яких буде змінювати попередні координати позиціонування інструменту. Результат впливу таких похибок, невідповідність реальних розмірів деталі з заданими, вимірюється датчиком торкання 5 (рис. 1) по поверхнях обробленої деталі в статичному стані, як координати торкання  $Z_m$  і  $X_m$ . Вимірювання кожного розміру здійснюється 3 рази, що підвищує істинність вимірювань. Виміряні координати передаються на блок цифрової обробки сигналів 6, де здійснюється перетворення їх в цифровий вигляд і проводиться аналіз розбіжностей між вимірюваними координатами і еталонними ( $Z_{n0}$  і  $X_{n0}$ ), які визначаються з керуючої програми. У разі наявності розбіжності між значеннями координат обробної деталі і еталонними, виробляється відповідний сигнал, який надходить в блок корекції 7. У блоці корекції формуються керуючі сигнали для відновлення базових точок траєкторії руху інструменту, які передаються в СЧПУ верстата 1. Також в блоці корекції здійснюється розрахунок похибки від зносу верстата, за значенням якого визначається періодичність проведення підналаштування.[4]

Після того, як ЧПУ верстата виконає обробку отриманих результатів вимірювання, проводиться коригування УП, з урахуванням відстаней між вершиною ріжучого інструменту і поверхнею деталі  $X_m$  і  $Z_m$ , які розраховуються за такою методикою:

$$\begin{aligned} X_m &= (X_{ГВС} - X_{ДТ}) - R_H \\ Z_m &= (Z_{ГВС} - Z_{ДТ}) - L_{ДН} \end{aligned} \quad (3)$$

де  $R_H$  і  $L_{ДН}$  - координати величин розмірів поверхонь деталі по осях  $X$  і  $Z$ .

Обробка наступної деталі виконується вже по відкоригованій УП. Як говорилося раніше, періодичність виконання даної операції залежить від похибки від зносу верстата.

## **ВИСНОВКИ**

Дана система розмірного налаштування ріжучого інструменту, дозволяє проводити точне розмірне налаштування різального інструменту «на розмір», тим самим дозволяє значно підвищити точність механічної обробки. Використання даної системи розмірного налаштування ріжучого інструменту в умовах автоматизованого виробництва дозволяє не тільки підвищити точність обробки деталей, але і скоротити час проведення операції налагодження, а також зменшити кількість бракованих деталей.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Остафьев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивная система управления. –*Механизация и автоматизация управления*. –Киев, №1, 1983. – с. 18-20.
- [2] Шевченко В.В., Капінос І.В., Гарбовський Д.О., Система діагностики різального інструменту при обробці деталей на верстатах з ЧПК / В.В. Шевченко, І.В. Капінос, Д.О. Грабовський // *Проблеми легкої і текстильної промисловості України.м. Херсон – 2011. - №1.- С. 203-206.*
- [3] Румбешта В.А., Максимчук И.В. Гибкие производственные системы. *Методические указания к изучению курсов «Интегрированные системы оптического производства» и «Автоматика и автоматизация производства»*. Киев, КПИ, “Укрвузполиграф”, 1990. – 48с.
- [4] Фельдшейн Е., Корниевич М. *Обработка деталей на станках с ЧПУ*. Новое издание, 2008. -299с.

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

**УДК 681.3.06:519.6**

*В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ 3D ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ**

**Анотація.** В статті розглядаються питання використання штучних нейронних мереж в технології приладобудування. Наведено основи штучних мереж, алгоритми їх навчання та аналіз програмних засобів, що реалізують штучні нейронні мережі. Надано алгоритм використання штучних нейронних мереж при 3D проектуванні деталей приладів.

**Ключові слова:** Технологія приладобудування, 3D проектування, штучні нейронні мережі.

### **ВСТУП**

В останні десятиліття бурхливо розвивається нова прикладна область математики, що спеціалізується на штучних нейронних мережах (ШНМ). Актуальність досліджень в цьому напрямі підтверджується різноманітним застосуванням ШНМ. Це автоматизація процесів розпізнавання образів, адаптивне управління, апроксимація, прогнозування, створення експертних систем та багато інших додатків [1-3].

### **КОНЦЕПЦІЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Широкий круг задач, що вирішуються ШНМ (штучні нейронні мережі), не дозволяє в даний час створювати універсальні могутні мережі, вимушуючи розробляти спеціалізовані ШНМ, що функціонують за різними алгоритмами.

Моделі ШНМ можуть бути програмного і апаратного виконання. Надалі розглядатимемо програмне використання нейронних мереж.

Нервова система людини складається з клітин, які називаються нейронами, і має надзвичайну складність: близько  $10^{11}$  нейронів беруть участь у близько  $10^{15}$  передавальних зв'язках, що мають довжину один метр і більше. Кожен нейрон має багато якостей, спільних з іншими клітинами, але його унікальною здатністю є прийом, обробка і передача електрохімічних сигналів по нервових шляхах, що утворюють комунікаційну систему мозку.

Найбільш доцільним використанням штучних нейронних мереж в задачах технологічної підготовки виробництва з метою прогнозування та моделювання параметрів, класифікації, групування та розпізнавання образів тощо [4-6].

Створено сотні програмних продуктів, що мають різні можливості, різну область застосування, та відповідно до цього – вартість ліцензії.

1. Нейропакет Neural 10, що розроблений компанією Southern Scintific CC, South Africa, має досить обмежені можливості, реалізує лише одну нейромережеву парадигму – двохшарову нейронну мережу прямого розповсюдження.

2. Пакет NeuroPro, має можливість задавати кількість до 10 шарів та кількість нейронів у шарі – до 100. Але нейрони можуть бути тільки з нелінійною сигмоїдальною функцією активації, крутизна якої може задаватися для кожного шару окремо, є можливість встановлення точності навчання. Для навчання

можна використовувати один з наступних методів: градієнтного спуску, модифікований PaGTan метод, метод сполучених градієнтів.

3. В пакеті QwikNet 32 реалізовано лише один тип нейромережі – багатошарова мережа прямого розповсюдження з кількістю прихованих шарів (до 5) та можливістю вибору одного з 6 алгоритмів навчання (модифікації методу зворотного розповсюдження).

4. Програмна оболонка Neural Planer дозволяє моделювати нейронні мережі різноманітної конфігурації. В ньому реалізована робота в локальній мережі, він призначений для вирішення різноманітних задач класифікації об'єктів, обробки значень випадкових процесів, вирішення деяких математичних задач, створення ефективних експертних систем.

5. Пакет BrainMaker призначений для моделювання багатошарових нейронних мереж з алгоритмом навчання зворотного розповсюдження. Пакет орієнтовано на широке коло завдань – від вирішення задач прогнозування, до систем розпізнавання образів. Програма оброблює вхідні дані нейронної мережі, виводить статистику її навчання та прогонки. В програмі є велика кількість контрольних функцій для оптимізації процесу навчання.

6. Програмний пакет Statistica Neural Network є універсальним пакетом нейромережевого аналізу, що створений компанією StatSoft. В пакеті реалізовано багато видів нейронних мереж, є можливість створення складних комбінацій з мереж різних архітектур.

7. Програмний пакет MatLab містить багато можливостей, щодо створення та використання алгоритмів штучних нейронних мереж. Це пакети Neural Network Toolbox та Simulink, що працюють за допомогою внутрішньої мови опису даних пакету MatLab. Пакет дозволяє вирішувати найрізноманітніші задачі та будувати найскладніші системи.

8. Пакет NeuroSolutions є розробкою NeuroDimension NeuroSolutions на основі зображення забезпечує найбільш могутнє і гнучке навколишнє середовище для створення штучних нейронних мереж. Інтуїтивність пакету має переваги перед іншими програмними продуктами, його інтерфейс дає можливість швидко і легко будувати і навчати нейронну мережу, щоб вирішити будь-яку складну проблему. Пакет має потужний графічний, призначений для користувача, інтерфейс.

З врахуванням наведеного аналізу вище вважаємо, що для розв'язання різноманітних технологічних задач доцільно використовувати пакет MatLab та систему NeuroSolutions.

## **МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

На жаль, на сьогоднішній день нейронні мережі практично не використовуються в приладобудуванні при прототипуванні деталей приладів, а саме – при аналізі 3D моделей та покращенні перетворення їх форми в керуючі команди для обладнання з ЧПК (3D принтерів).

Тому пропонується на основі використання методології штучних нейронних мереж створити систему, що аналізує 3D модель та розбиває її на структурні

одиниці (для деталі типу «вал» умовними одиницями будуть її ступені). Надалі система виконує розрахунки моделі на міцність і пропонує для проблемних місць деталі змінити її структуру та відсоток заповнення.

Алгоритм роботи системи на прикладі виготовлення деталі «вал» складається з таких етапів:

- 1) передача на вхід нейронної мережі 3D моделі валу;
- 2) розбиття деталі на складові частини (ступені), з яких складається «вал»;
- 3) обрахунок слабких місць та жорсткості при стандартних параметрах;
- 4) змінення виду сітки та відсотку заповнення для слабких місць або однієї із складових частин деталі;
- 5) обрахунок слабких місць та жорсткості після внесених змін у внутрішню структуру;
- 6) перевірка умови – жорсткість деталі на всій довжині має бути однаковою, якщо ця умова виконується або параметри близькі до виконання умови, то перехід на наступний етап, інакше – повернення до етапу 4;
- 7) формування G коду для 3D принтера;
- 8) порівняння попередньої форми деталі з поточною. Якщо змін форми не виявлено – переходимо до наступного етапу, інакше – виводимо помилку і повертаємось до етапу 2;
- 9) збереження отриманих результатів.

## **ВИСНОВКИ**

Використання штучних нейронних мереж, що розв'язують задачу зміни внутрішньої структури 3D-моделі деталей при їх проектуванні, дозволить підвищити якість отриманих деталей за рахунок забезпечення необхідної їм жорсткості за мінімальною витратою оброблюваного матеріалу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем: навч. посіб. Слово, 2004. – 352 с.
- [2] Терехов С. А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей, – М, 1998. – 72 с.
- [3] Короткий С. Г. Нейронные сети: основные положения // *ВУТЕ/Россия*, 2000, № 5. – С. 18–21.
- [4] Вислоух С.П. Нейросетевое моделирование технологических параметров процесса резания. / *Резание и инструмент в технологических системах: Межвед. научн. –техн. сборник. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2005. –Вып. 68. – С 109-116.*
- [5] Пивовар О.М., Вислоух С.П. Прогнозування технологічних параметрів методами штучних нейронних мереж / *Вісник НТУУ «КПІ», Серія приладобудування. –2008. –Вип. 37. – С. 105-108.*
- [6] Вислоух С.П. *Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр.* / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.





**СЕКЦІЯ №4.**

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

**УДК 681.269**

*О. М. Галузінський, студент гр. ПМ-81мп, старший викладач Зайцев В. М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРІВ МАСИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Анотація.* Проведений аналіз нормативних-технічних вимог положення центру мас повітряних суден та залізничного транспорту. Описаний стан проблеми визначення центру мас рухомих об'єктів та сформована задача розробки алгоритмічних основ побудови ваговиміральної системи положення центру мас. Розглянуті задачі аналізу, калібрування та вимірювання для систем визначення загальної маси та координат центрів мас рухомих об'єктів.

**Ключові слова:** центр мас, ваговимірвальні системи, калібрування.

### **ВСТУП**

Визначення центру мас рухомих об'єктів являється актуальною задачею оскільки однією із причин через які з ними трапляються інциденти є нерівномірне розміщення вантажу відносно головних осей цих об'єктів. Для запобігання катастроф пов'язаних із незбіганням центру мас та координат відповідних елементів конструкції транспортних засобів розроблюються вимоги по розташуванню вантажу в вантажних відсіках рухомих об'єктів. Відомі нормативні документи з вимогами до положення центру мас для автомобільного, повітряного та залізничного транспорту.[1, 2, 3]

Для літаків з метою підвищення рівня безпеки польотів цивільної авіації існують вимоги Міжнародної організації ІКАО DOC 9760 AN/967 за якими необхідно визначати фактичний центр мас всіх літаків у процесі їх експлуатації. Це стосується як порожнього повітряного судна так і завантаженого.[1]

Що стосується залізничних вагонів, то існують правила перевезення і тарифів залізничного транспорту України, за якими загальний центр тяжіння вагонів ЦМв повинен розташовуватися, як правило, на лінії перетину поздовжньої і поперечної площин симетрії вагона. У випадках, коли дану вимогу неможливо виконати з об'єктивних причин (геометричні параметри вантажу, умови розміщення та кріплення), або потребує значних додаткових витрат на обладнання та виконання процедури центрування вантажу допускається нормоване зміщення ЦМв щодо поздовжньої і поперечної площин симетрії вагона.[2]

### **СТАН ПРОБЛЕМИ**

Всі відомі методи визначення центру мас можна віднести до непрямих вимірвальних методів, тому що координати центру мас визначаються не відносно конструктивних осей об'єктів, а відносно систем координат пов'язаних з вимірвальними перетворювачами. Тобто необхідна додаткова процедура перерахунку одержаних результатів з одних систем координат до систем пов'язаних з об'єктами. В результаті виникають невизначеності обумовлені як суб'єктивними оціночними значеннями параметрів приведення систем координат так і їх ймовірнісним характером.

Методи розрахунку параметрів ЦМв відносно довільної системи координат пов'язаних з вимірювачами теж можна прокласифікувати по мірі повноти інформації одержаної безпосередньо вимірюваннями.

Так алгоритми розрахунку параметрів ЦМв оперують: 1) значеннями сил навантаження, які сприймають окремі ваговимірювальні перетворювачі, або значеннями попередньо зважених дискретних вантажів; 2) значеннями координат перетворювачів, які сприймають навантаження або координат центрів вантажів, які розміщуються на рухомих об'єктах.

В сучасній практиці методи визначення ЦМв використовують інформацію яка носить оціночний характер: наприклад, в алгоритмах [4, 5] передбачається, що значення координат перетворювачів апріорно відомі; в алгоритмах [6, 7] передбачається, що відомі координати ЦМв окремих дискретних вантажів в першому випадку по відношенню до головних осей об'єкту, а в іншому по відношенню до реперних точок вантажу, які вимірюються оптичними методами.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відсутність ваговимірювальних систем визначення загальної маси рухомих об'єктів і положення центру мас за двома координатами визначається відсутністю теоретичних основ та метрологічного забезпечення таких вимірювань.

Метою роботи являється розробка алгоритмічних основ побудови ваговимірювальної системи для визначення положення центру мас в системі координат, яка пов'язана з ваговимірювальними перетворювачами та загальної маси рухомих об'єктів.

Результати дослідження повинні сформулювати вимоги до зразкових засобів вимірювальної техніки, які реалізують метрологічне забезпечення таких ваговимірювальних систем.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

**Задача аналізу.** Нехай в системі координат, що зв'язані з жорсткою платформою ОХУ задані положення точок  $X_i, Y_i$ , де  $i = 1 \dots n$ , в яких платформа опирається на  $n$  силовимірювальних перетворювачів. Тоді при розташуванні на платформі вантажу масою  $M_0$ , силова дія на платформу, вага буде дорівнювати:

$$G_0 = M_0 \cdot g, \quad (1)$$

де:

$M_0$  – маса вантажу;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Отже, систему рівнянь статичної рівноваги можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} G_0 &= R_1 + R_2 + \dots + R_n; \\ X_0 \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) &= X_1 \cdot R_1 + X_2 \cdot R_2 + \dots + X_n \cdot R_n; \\ Y_0 \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) &= Y_1 \cdot R_1 + Y_2 \cdot R_2 + \dots + Y_n \cdot R_n, \end{aligned} \quad (2)$$

де:

$R_i$  – приріст зусилля, що викликане дією сили  $G_0$  при координатах центру мас  $(X_0, Y_0)$ .

Значення зусилля  $R_i$  визначають за статичними характеристиками ваговимірювальних перетворювачів. У випадку лінійних залежностей між вхідними та вихідними сигналами значення зусилля можна знайти за формулами:

$$R_i = S_i \cdot (U_i - U_{i0}), \quad (3)$$

де:

$S_i$  – чутливість  $i$ -го перетворювача;

$U_{i0}$  – початковий вихідний сигнал  $i$ -го перетворювача;

$U_i$  – вихідний сигнал  $i$ -го перетворювача.

**Задача вимірювання.** Із рівнянь статики (2) можна отримати систему рівнянь вимірювання ваги  $G_0$  та координати центра мас вантажу ( $X_0, Y_0$ ). Як видно із системи рівнянь задача 2- $n$  раз статично невизначена, при умові що параметри статичної характеристики перетворювачів відомі. При лінійних характеристиках перетворення вимірювачів  $R_i = S_i \cdot (U_i - U_{i0})$  та невідомих параметрах  $S_i$  та  $U_{i0}$  невизначеність системи збільшується до 4- $n$  раз.

**Задача калібрування.** Для розкриття невизначеності рівняння, вимірювання повинні бути доповнені мінімум 4- $n$  рівняннями калібрування системи:

$$\begin{aligned} X_1 \cdot R_{1j} + X_2 \cdot R_{2j} + \dots + X_n \cdot R_{nj} &= Z_j \cdot (R_{1j} + R_{2j} + \dots + R_{nj}); \\ Y_1 \cdot R_{1j} + Y_2 \cdot R_{2j} + \dots + Y_n \cdot R_{nj} &= F_j \cdot (R_{1j} + R_{2j} + \dots + R_{nj}), \end{aligned} \quad (4)$$

де:

$R_{nj}$  – значення навантаження  $i$ -го перетворювача при дії  $j$ -того тестового навантаження вагою  $G_j$ ;

$Z_j, F_j$  – координати прикладеного  $j$ -того тестового навантаження по осям  $OX$  та  $OY$ .

Виходячи із вище сказаного, точність визначення координат центру мас ( $X_0, Y_0$ ) залежить від точності ваговимірювальних перетворювачів ( $\delta R_i$ ), похибка калібрувального обладнання ( $\delta Z_j, \delta F_j, \delta G_j$ ) та може бути оцінена за виразом:

$$(\delta X_0) \cong (\delta X_0) = KR \cdot (\delta R) + KZ \cdot (\delta Z, F) + KG \cdot (\delta G), \quad (5)$$

де:

$\delta R$  – межі відносних похибок ваговимірювальних перетворювачів;

$\delta G$  – межі відносної похибки визначення ваги тестових навантажень;

$\delta Z, F$  – межі допустимих похибок вимірювань координат прикладеного тестових навантажень на вимірювальній платформі на етапі калібрування системи;

$KR, KZ, KG$  – коефіцієнти впливу.

## ВИСНОВКИ

В роботі показана принципова можливість побудови систем визначення загальної маси та координат центрів мас рухомих об'єктів в системах координат пов'язаних з перетворювачами по сигналам виключно ваговимірювальних перетворювачів. Точність визначення координат центру мас залежить від

похибок самих ваговимірювальних перетворювачів та похибок калібрувального обладнання як в частині маси так і в частині зміщення центру мас. Сумісність систем рівнянь, число обумовленості визначають розмір коефіцієнтів впливу похибок засобів метрологічної атестації системи та залежать від кількості та геометрії точок розташування зразкових мас на етапі калібрування. Ці вимоги можуть бути покладені в основу конструкцій метрологічного обладнання для калібрування систем.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Doc 9760 AN/967. The Airworthiness Manual 3rd Edition – 2014 International Civil Aviation Organization.
- [2] Інструкція про порядок застосування засобів ваговимірювальної техніки на залізничному транспорті України: Наказ Міністерства інфраструктури України 31.07.2012 № 442.
- [3] Правила перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні: Наказ Міністерства транспорту України від 14.10.1997 № 363.
- [4] Романов А. Н. Определение смещение центра тяжести груза в железнодорожном вагоне / А. Н. Романов, Ф. И. Гиревка, Д. Г. Заворотный // ПИКАД – 2007. – № 3. — С. 34-35.
- [5] Патент 116123 UA, МПК (2017.01) G01G 19/00, G01G 19/04 (2006.01) Ваги вагонні з цифровими датчиками з визначенням відхилення центру тяжіння вагона / Бугаєнко Г. Я., Бугаєнко Є. Г. ; заявник Бугаєнко Георгій Якович, Бугаєнко Єгор Георгійович. — № u 2016 11505; заявл. 14.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9, 2006 р.
- [6] Збірник № 17 Правил перевезення і тарифів залізничного транспорту України. – Київ : САМ, 2005. – 176 с.
- [7] What is OASES? [Електронний ресурс]. – Режим доступу:[www.URL:https://www.commssoft.co.uk/system/](http://www.URL:https://www.commssoft.co.uk/system/).

*Наук. керівник – ст. викладач Зайцев В. М.*

УДК621.865.8

С.В. Левченко, студент гр. ЕППМ-18-1  
Харківський національний університет радіоелектроніки

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЕЛЬТА РОБОТОМ ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

**Анотація.** У даній науковій роботі проводиться дослідження що до розрахунку параметрів та проектування системи курування роботом конфігурації – дельта. Система реалізована на основі тензOMETричного блоку сенсорів НВМ50, графічний інтерфейс користувача виконаний за допомогою програмного пакету LabView. Серед переваг можна відзначити, відсутність необхідності щоразу коригувати положення перед початком виконання операції, висока роздільна здатність вимірювальної величини.

**Ключові слова:** контролер, датчик, програма, зворотній зв'язок.

### ВСТУП

Розробка системи автоматизованого керування є безумовно важливою темою у сучасності, так як сфера застосування подібних роботів на виробництві щороку стає все популярнішою за рахунок того, що конструкція цього типу дає можливість розвивати надвисокі швидкості виконання операцій, наприклад понад 400 операції сортування за хвилину. Доцільним є використання даного підходу для керування роботизованим комплексом, що являє собою випробувальний стенд для матеріалів на міцність.

Метою роботи є розробка системи автоматизованого керування роботом зі зворотнім зв'язком на основі аналізу сигналу отриманого з тензодатчиків.

Метод дослідження: математичне та фізичне моделювання процесу вимірювання тиску для системи автоматизованого контролю зразків.

Для управління рухом роботів на теперішній час існують наступні варіанти: на датчиках Холла, ультразвукових, індуктивних, п'єзоелектричних сенсорах та кінцевих вимикачах [1]. Вище згадані системи призначені для коригування положення робочого органу у просторі. Всі вони обробляють різні параметри, але призначені для одного і того ж, зміни напрямку руху в залежності від вхідних даних [2].

Розроблена система відрізняється тим, що вона використовує лише один сенсор у роботі НВМ50 [2]. Він дозволяє отримувати значення зміни сили у шістьох напрямках: FX, FY, FZ, MX, MY, MZ.



Рисунок 1. Мультиосьовий сенсор

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Для побудови робота необхідно вирішити два завдання. У прямій кінематичній задачі відома позиція, в яку ми хочемо перемістити маніпулятор робота (наприклад, нам треба натиснути на об'єкт, розташований на талевій основі комплексу). Для цього нам потрібно визначити величини кутів, на які ми повинні повернути двигуни, пов'язані з важелями робота, щоб встановити його в правильне положення для захоплення. Процедура визначення цих кутів називається зворотним кінематичним завданням.

У зворотній кінематичній задачі відомі кути, на які повернені керуючі двигуни робота і ми хочемо визначити місце розташування робочого органу робота в просторі (наприклад, щоб скоригувати його позицію).

Формалізуємо обидва випадка. І нерухому основу робота, і його рухому платформу можна представити у вигляді рівносторонніх трикутників: на схемі нижче вони зафарбовані зеленим і рожевим кольорами відповідно. Кути відносно повороту важелів робота площини основи (вони ж - кути повороту моторів) позначені як  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  і  $\theta_3$ , а координати точки  $E_0$ , розташованої в центрі рухомої платформи і в якій в реальному житті буде закріплений маніпулятор нашого робота - як  $(x_0, y_0, z_0)$  [3].

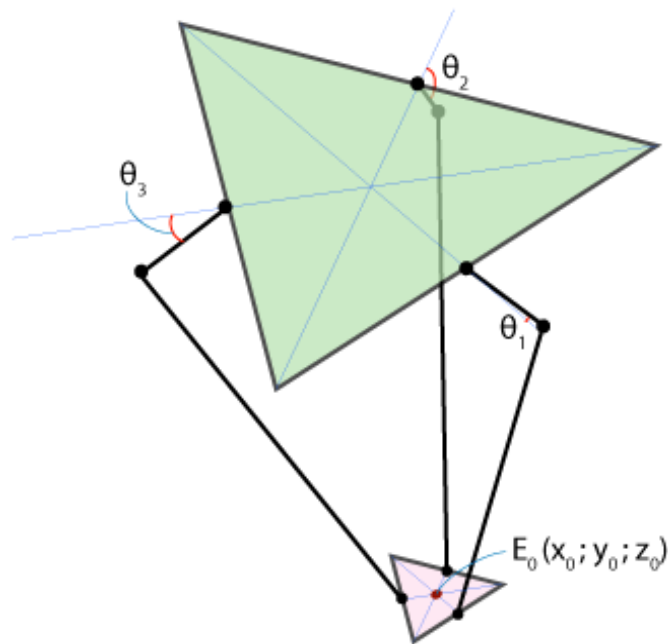


Рисунок 2. Кінематична модель примітивного дельта робота

Ми повинні вирішити дві кінематичні задачі:

$$f_{inverse}(x_0, y_0, z_0) \longrightarrow (\theta_1, \theta_2, \theta_3). \quad (1)$$

Для вирішення зворотної кінематичної задачі:

$$f_{inverse}(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \longrightarrow (x_0, y_0, z_0). \quad (2)$$

## ПРОЕКТУВАННЯ

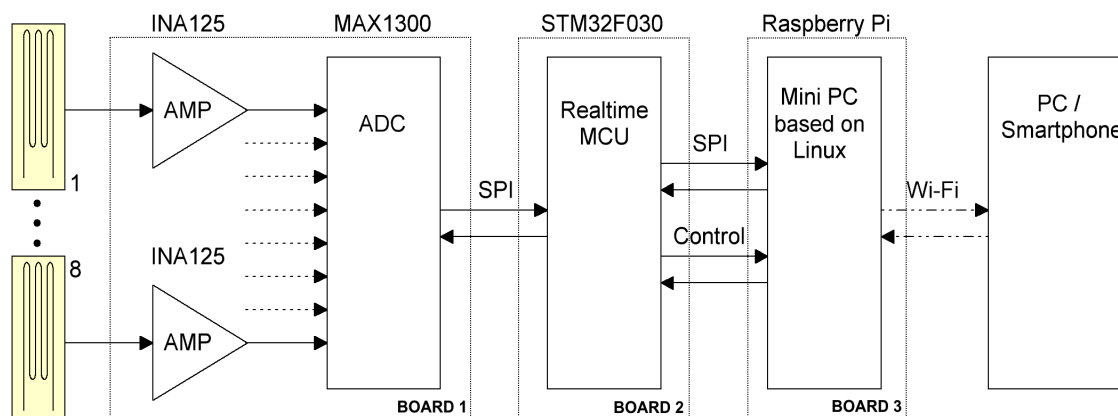


Рисунок 3. Блок-схема розробленого пристрою для тензовимірювань

Пристрій призначений для оцінки залишкового ресурсу металевої деталі, за допомогою дослідження деформацій в різних точках деталі при заданому режимі роботи.

Блок BOARD 1 (рис 3) включає в себе:

- вісім вимірювальних мостів Вінстона, в які включаються тензорезистори;
- вісім інструментальних підсилювачів, які підсилюють диференційний сигнал з діагоналей вимірювальних мостів;
- аналогово-цифровий перетворювач (ADC), який підключений до блоку BOARD 2.

Блок BOARD 2 побудований на базі мікроконтролера серії ST STM32F030, призначений для буферизації даних АЦП в режимі прив'язки до реального часу і передачі даних в блок BOARD 3. Так само мікроконтролер стежить за наявністю підключених тензорезисторів, стабільністю напруги живлення. Плата блоку BOARD 2 розрахована на розширення функціоналу, при необхідності.

Блок BOARD 3 складається з мікрокомп'ютера RaspberryPi3 який побудований на базі двоядерного ARM процесора Broadcom BCM2836 з тактовою частотою 1,2 МГц. Має 1 ГБ оперативної пам'яті, інтерфейси Ethernet, USB 2.0, HDMI, UART, SPI, I2C[4]. На платі комп'ютера є 40 висновків загального призначення, через які проводиться зв'язок з іншими блоками пристрою. На мікропроцесор встановлена модифікація Debian для ARM-процесорів - Raspbian. Завданнями мікропроцесора є:

- отримання даних АЦП, їх цифрова фільтрація і математична обробка [6];
- отримання даних про статус роботи всіх блоків пристрою;
- управління окремими частинами пристрою;
- підключення до мережі Wi-Fi і сполучення з пристроєм управління по мережі (ПК / смартфоном);
- прийом / передача даних по мережі і здійснення віддаленого управління.



## **ВИСНОВКИ**

Результатом роботи є комплекс програмно-апаратного рішення, що дозволяє виконувати контроль та управління роботом, призначеним для випробовування матеріалів на міцність.

Серед переваг можна відзначити, відсутність необхідності щоразу коригувати положення перед початком виконання операції, висока роздільна здатність вимірювальної величини. Можливість відслідковування прикладеного навантаження у реальному часі та, як наслідок, високо-прецензійне керування прикладеною силою.

Був проведений експеримент з дослідження роботи схеми чверть-моста і напівмоста в кліматичній камері при температурах 25-80° С. Однозначним висновком є те, що при необхідних вимірюваних величинах використання термокомпенсації обов'язково, так як температурні ефекти значно спотворюють результати вимірювань.

Система була випробувана на дельта роботі з гідравлічним силовими агрегатом при максимальних навантаженнях 50кН.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Сазонов, А. Ю. Автоматизація процесу керування точністю позиціонування промислових роботів при синтезі гнучких інтегрованих систем: дис. канд. техн. наук. : 05.13.07/ А. Ю. Сазонов. - Житомир, 2014. - 219 с.
- [2] Мехеда, В. А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56с.
- [3] Кобаяси, А. Экспериментальная механика: монография в 2 кн: Кн. 1 / пер. с англ.; под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 552 с.
- [4] Introducing the Raspberry Pi 2 – Model B. Режим доступа: [www.URL:https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-2-model-b.pdf](http://www.URL:https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-2-model-b.pdf) – 21.03.2016 г.
- [5] Strain Gages and Accessories. Режим доступа: [www.URL:http://www.hbm.com.pl/pdf/s1265.pdf](http://www.hbm.com.pl/pdf/s1265.pdf) – 17.03.2016 г.
- [6] TL431, TL432 Adjustable Precision Shunt Regulator (Rev. O). Режим доступа: [www.URL:http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf)– 23.03.2016 г.
- [7] INA125 - Texas Instruments. Режим доступа: [URL:http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf)– 10.03.2016 г.
- [8] MAX1300/MAX1301 – Datasheet. Режим доступа: [www.URL:https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1300-MAX1301.pdf](https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1300-MAX1301.pdf)– 10.03.2016 г.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Стрількова Т.О.*

УДК 532.217

*М.І. Літовко, студентка гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Нікітін О.К.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ БОРОШНА В ЄМНОСТІ. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА**

**Анотація.** В статті представлено матеріали, за яких була проведена робота зі збору та аналізу даних. Розглянуто основні принципи дії пристроїв та огляд методів і засобів вимірювання кількості, дозування борошна в ємностях. Окремо отримані матеріали, їх аналіз та висновки приведені в даній статті.

**Ключові слова:** пневмотранспорт, дозатор, об'ємний принцип дозування, вагові електротензометричні пристрої.

### **ВСТУП**

Сучасні хлібобулочні підприємства — це насамперед складні комплекси, які оснащені технологічним, транспортним і санітарно-технічним обладнанням. Устаткування для хлібобулочних комбінатів має забезпечувати високу якість хлібобулочних виробів, покращувати споживчі властивості продукції при цьому зберігати традиції хлібних виробів та задовольняти потреби населення. Якість кінцевого продукту залежить від технологічної надійності такого обладнання. Для цього необхідно слідкувати за правильною експлуатацією та технічним обслуговуванням вагового обладнання.

До сучасного технологічного процесу включають зберігання основної і додаткової сировини, підготовку, транспортування, дозування, заміс напівфабрикатів, формування заготовок, теплова обробка, охолодження, упаковка, складування. Кінцевий результат залежить від кожного з цих етапів.

### **ТРАНСПОРТУВАННЯ, ДОЗУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ БОРОШНА В ЄМНОСТІ**

На підприємство борошно надходить у мішках або автоборошновозах партіями. Партія борошна — це певна кількість борошна одного виду і сорту, виробленого з однієї помольної суміші зерна [2].

Борошно містить велику кількість дрібних часточок, втрачених захисні оболонки, внаслідок чого гірше зберігається, ніж зерно. Під час зберігання у борошні відбуваються біохімічні та мікробіологічні процеси, до яких відносять дозрівання і вибілювання сировини.

Підприємства мають два види складів для зберігання:

- тарні (борошно зберігається в мішках);
- безтарні (борошно зберігається насипом в спеціальних ємностях).

Найбільш поширені — склади безтарного зберігання, які бувають відкритого та закритого типу. Для зменшення капіталовкладення на будівництво використовують склади відкритого типу. Загалом тарні склади допускаються лише на підприємствах малої продуктивності.

Перевагами безтарного способу зберігання борошна є:

- немає необхідності у транспортуванні або ремонті;
- з'являється можливість повної механізації й автоматизації вантажно-розвантажувальних і складських робіт;

- покращуються умови транспортування і зберігання сировини;
- зменшуються втрати сировини під час транспортування;
- зменшуються виробничі площі під складські приміщення [3].

Температура для зберігання борошна у зимовий період необхідно підтримувати не нижчою за 8 °С, а відносну вологість повітря — не більшою за 75 %.

При безтарному зберіганні борошно транспортують за допомогою шнеків, норій, ланцюговим транспортером - механічним транспортом, а також пневмо або аерозоль-транспорту, або змішаного транспорту. Останнім часом використовують транспортування гнучкими спіральними транспортерами (спіроматиками).

Борошно привозиться на автоборошновозах марок К-1040, К-1040Е, К-1040-2Е, А9-АМ або у вагонах-борошновозах марки 17-486. Завантажують його за допомогою гравітаційного транспорту, а розвантажують аерозольним з компресорними установками, які змонтовані на транспортних засобах [3].

Найбільш широко використовується пневмотранспорт, який ґрунтується на властивості сипких та пилеподібних матеріалів рухатися в потоці повітря. По величині створюваного тиску в системі пневмотранспорт виділяють такі установки:

- низького тиску (0,005 МПа);
- середнього тиску (0,01 МПа);
- високого тиску (0,05-0,25 МПа);
- аерозольтранспорт.

В залежності від способу утворення перепаду тиску поділяють на:

- всмоктувальний;
- нагнітальний;
- змішаний.

Загалом на сьогоднішній день застосовуються нагнітальний пневмотранспорт високого тиску та з високою масовою концентрацією суміші. Такий спосіб транспортування характеризується тим, що матеріалу надаються властивості, які наближають його до властивостей рідини. Це досягається шляхом насичення пилеподібного матеріалу повітрям, що призводить до зменшення коефіцієнта тертя та насипної густини і створюється можливість легко транспортувати в трубопроводі. При застосуванні пневмотранспорту низького середнього тиску, борошно транспортується в зваженому стані. Співвідношення кількості борошна та повітря характеризується показником, що називається масовою концентрацією борошна та показує кількість кілограм борошна, що переноситься 1 кг стисненого повітря [3].

Просіювальні машини використовуються для очищення борошна від сторонніх домішок. Водночас із просіюванням борошна відбувається розпушення, що покращує її якість. До складу просіювачів відносять сита з металевого дроту, які мають циліндричну або плоску форму, що вчиняють обертальний або зворотньо-поступальний рух, але якщо сито нерухоме, то просіювачі мають спеціальні стимулятори.

Дозування — одна з найважливіших операцій технологічного процесу виробництва. Дозуючі пристрої призначають для забезпечення заданої кількості матеріалу по масі або підтримки заданої витрати компонента з певною точністю.

Основні вимоги вагових дозаторів:

- висока точність дозування;
- висока продуктивність;
- простота конструкції і надійність роботи вузлів дозатора та його системи управління.

Дозатори бувають порційні вагові та об'ємного принципу. Вимірювання дози певної маси — порційне вагове дозування, а подання потоку матеріалу із заданою об'ємною витратою — безперервне об'ємне дозування.

Висока точність характерна ваговому способу дозування, тому його і найчастіше використовують.

Об'ємний принцип дозування визначається простотою конструкції, і такі дозатори вважають більш надійними. За допомогою такого методу відбувається спрощення дозування рідких компонентів, але нерідко він характеризується більш значною похибкою, що може обмежувати його застосування [1].

Дозатори борошна використовують для вимірювання певної дози борошна або інших сипучих матеріалів. Його принцип дії заснований на застосуванні квадратних і важільних вагових механізмів. Дозатори за конструктивним пристроєм поділяються на: безперервної дії (шнекові, роторні, вібраційні, стрічкові) і періодичної дії (ковшові, бункерні).

Принцип дії об'ємних дозаторів для сипких матеріалів заснований на подачі продуктів з бункера робочим органом, що здійснює обертальний, поступальний або зворотно поступальний рух.

До складу дозатора відносять – бункер, система важелів і коромисла з ваговою шкалою. Зверху бункер є закрита кришка, в отвір якої приварюють патрубок для завантаження борошна. У нижній частині бункер містить поворотну заслінкою для випуску борошна. Вимірювання заданої ваги борошна здійснюється автоматично шляхом установки на ваговій шкалі необхідної дози. При досягненні заданої ваги електродвигун подаючого шнека відключається і подача борошна в бункер припиняється. Відважене борошно за допомогою заслінки бункера дозатора висипають до тістомісильної машини, після чого дозатор борошна готовий для нового заповнення.

Напівавтоматичний ваговий дозатор сипучих матеріалів використовують на підприємствах хлібопекарської промисловості [1].

Вагові електротензометричні пристрої замінюють ваги для зважування борошна, що надходить в складські ємності, а потім відпускається на виробництво. Принцип дії таких пристроїв полягає в тому, що борошнопровід для подання борошна в ємності не містить жорсткого кріплення з ємністю, а лише приєднується до неї м'яким рукавом. Для перекриття випуску борошна у живлення та його зважування в ємності використовують шибер або запірний пристрій. Щоб зовнішні навантаження не впливали на масу встановленої ємності і масу засипаного борошна необхідно ємність трьома або чотирма опорами

встановити на датчики вагового електротензометричного пристрою. Стрілка шкали показує кількість засипаного або відпущеного борошна. Шкалу встановлюють так, щоб відстань не перевищувала 100 м від датчиків та зручному для обслуговування місці. Простота конструкції не вимагає великих затрат та не потребує виробничої площі для встановлення обладнання зваження борошна [4].

## **ВИСНОВКИ**

Вимірювальні пристрої у хлібопекарській промисловості мають велику кількість опцій та модифікацій, за допомогою яких ми можемо підібрати найбільш вигідніший та відповідний варіант. Для цього необхідно враховувати мінімальну кількість обладнання, невеликі капітальні витрати при встановленні складів безтарного зберігання борошна, витрати праці на монтаж і обслуговування обладнання.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Дозатор борошна для хлібобулочних підприємств. – Режим доступу: [www.URL:https://asvik.kiev.ua/ua/articles/11](http://www.URL:https://asvik.kiev.ua/ua/articles/11).
- [2] Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентів спеціальності – 7.05050206 "Машини і технології пакування" [Електронний ресурс] : / уклад. І. В. Коваленко. – К. : НТУУ "КПІ", 2013. – 47 с. – Режим доступу: [http://cpsm.kpi.ua/Doc/Pak\\_obl\\_lab\\_1-8.pdf](http://cpsm.kpi.ua/Doc/Pak_obl_lab_1-8.pdf).
- [3] Обладнання для зберігання та транспортування борошна. – Режим доступу: [www.URL:https://helpiks.org/2-120902.html](http://www.URL:https://helpiks.org/2-120902.html).
- [4] Принципиальные схемы установок оборудования складов бестарного хранения и транспортирования муки. – Режим доступу: [www.URL:https://mppnik.ru/publ/1271-principialnye-shemy-ustanovok-oborudovaniya-skladov-bestarnogo-hraneniya-i-transportirovaniya-muki.html](http://www.URL:https://mppnik.ru/publ/1271-principialnye-shemy-ustanovok-oborudovaniya-skladov-bestarnogo-hraneniya-i-transportirovaniya-muki.html).

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Нікітін О.К.*

УДК 681.2.084

*Д.О. Романчук, студент гр. ПІ-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗРАХУНОК ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ВАГОВИМІРЮВАЛЬНОГО ДАТЧИКА**

*Анотація* В даній роботі розглянутий метод розрахунку пружного елемента тензодатчика шляхом знаходження площі поперечного перерізу в деформуючій зоні. Розглянуто залежність чутливості та діапазону вимірювання тензодатчика від значення площі поперечного перерізу його пружного елемента.

**Ключові слова:** тензодатчик, тензорезистор, деформація, пружний елемент.

### **ВСТУП**

Будь-яка промислова галузь, а також сільське господарство, не зможе існувати без вагового обладнання. Воно також застосовується і при доставці товару на склади, на митниці, на різних транспортних вузлах.

Взагалі ж, організація точного вагового контролю дозволяє уникнути значних додаткових витрат при зв'язку з постачальниками або одержувачами продуктів, а також пов'язаних з питаннями безпеки, можливим виникненням аварійних подій [1].

Часто основним елементом ваговимірювальної техніки є тензометричний вимірювальний перетворювач – датчик, який перетворює деформацію, що викликана прикладеною до твердого тіла силою, в електричний сигнал. Від типу конструкції датчика, розрахунку геометричних параметрів його пружного елемента залежить чутливість та діапазон вимірювання.

Розрахунок таких параметрів пружного елемента тензодатчика є важливим етапом при його проектуванні. Отож в даній роботі розглянемо один з методів такого розрахунку.

### **МЕТА РОБОТИ**

В сучасних тензометричних перетворювачах сили широко використовуються різні методи підвищення чутливості, в тому числі й методом розрахунку пружного елемента. Проте виникає необхідність удосконалення одного з таких методів розрахунку беручи до уваги геометричні параметри пружного елемента датчика.

### **ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

Тензодатчик представляє собою пружний елемент на якому закріплені тензорезистори. На рисунку 1 представлено структурну схему тензодатчика. Вимірювальна сила  $F$  за допомогою пружного елемента перетворюється в деформацію  $\delta$ . Деформація пружного елемента сприймається тензорезистором і перетворюється в вимірювальний опір  $\varepsilon_r$ , який у вимірювальній ланці перетворюється у величину вихідної напруги [2].

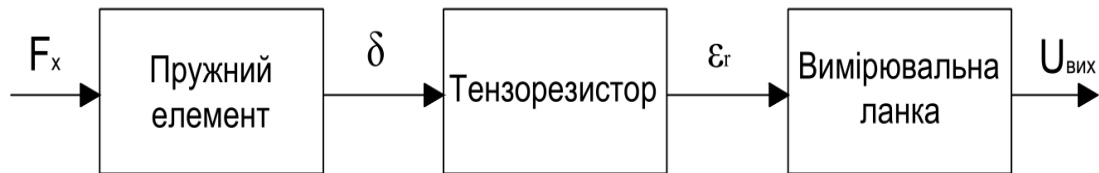


Рисунок 1. Структурна схема тензодатчика

Тензорезистивний ефект, що дозволяє фіксувати зміни електричного опору в твердих провідниках або напівпровідникових пластинах при їх стисненні або розширенні, пов'язаний з деформаційними впливами на атомну структуру матеріалу. Своє практичне втілення він знайшов при створенні цілого конструктивного ряду тензорезисторів, без використання яких уже важко уявити життя сучасної людини [3].

### РОЗРАХУНОК ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА

Деформація тензорезисторів напряму залежить від площі поперечного перерізу пружного елемента в місці де вони наклеєні. Відповідно чутливість тензорезисторів можна корегувати змінюючи цей параметр[3]. Чим менша площа поперечного перерізу пружного елемента тим більша чутливість тензодатчика.

Відносна деформація тензорезистора визначається за законом Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – механічна напруга, що утворюється діючою силою,  
 $E$  - Модуль пружності матеріалу.

Напруга  $\sigma$  залежить від прикладеної сили та площі поперечного перетину пружного елемента до якого прикладають цю силу:

$$\sigma = \frac{F}{S_{пер}}, \quad (2)$$

де  $S_{пер}$  – площа поперечного перетину пружного елемента.

Підставимо (2) в (1):

$$\varepsilon = \frac{F}{E \cdot S_{пер}}. \quad (3)$$

Відносну деформацію тензорезисторів можна представити як зміну їх опорів  $\varepsilon_r$ :

$$\varepsilon \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_r. \quad (4)$$

Тому розрахувавши їх мостову схему підключення (див. рис.2) можна виразити робочий коефіцієнт перетворення(РКП). РКП для тензодатчика – це відношення вихідної величини до вхідної, тобто фактично РКП виражає чутливість нашого датчика.

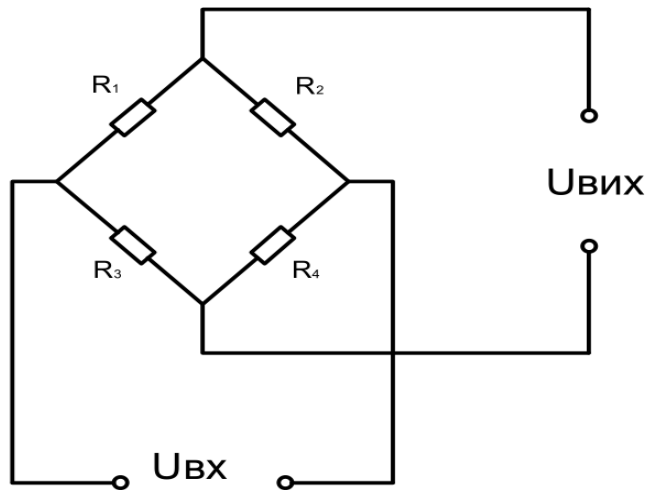


Рисунок 2. Мостова схема підключення тензорезисторів

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = PKП = \frac{R_1 R_4 - R_3 R_2}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}, \quad (5)$$

де  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – опори тензорезисторів,

$U_{вх}, U_{вих}$  – вхідна і вихідна напруга відповідно.

PKП – робочий коефіцієнт перетворення.

$$PKП = \frac{k}{(k+1)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right), \quad (6)$$

де  $k$  – коефіцієнт симетрії.

При симетричній схемі підключення  $k = 1$ .

$$PKП = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T (\varepsilon + \varepsilon + \mu \cdot \varepsilon + \mu \cdot \varepsilon), \quad (7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуасона,

$k_T$  – коефіцієнт тензочутливості.

Коефіцієнт тензочутливості характеризує тензоефект різних матеріалів при деформації розтягнення або стискання. Він показує, в скільки разів відносна зміна опору більше його відносної деформації [4].

$$PKП = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 2 \cdot (1 + \mu) \frac{F}{E \cdot S_{пер}}. \quad (8)$$

Звідси виражаємо нашу шукану велечину:

$$S_{пер} = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 2 \cdot (1 + \mu) \frac{F}{E \cdot PKП}. \quad (9)$$

Отже підставивши всі відомі параметри та задавши необхідне нам значення РКП ми можемо визначити площу поперечного перерізу пружного елемента тензодатчика.



## **ВИСНОВОК**

Даний метод розрахунку пружного елемента тензодатчика дозволяє нам визначити мінімальну площу поперечного перерізу в місці наклеювання тензорезисторів для заданої точності вимірювань. Його використання можливе практично до всіх типів тензодатчиків.

Застосування такого методу дозволить значно покращити чутливість та збільшити допустимий діапазон вимірювань тензометричного перетворювача.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Антонов П.А. Ваги: типи та застосування / Антонов П.А. - Харків - М.: Точмашприбор, 1998. - 254 с.
- [2] Датчик як ланцюг вимірювальних перетворювачів. – Режим доступу: [www.URL:http://ni.biz.ua/6-1/293.html/](http://ni.biz.ua/6-1/293.html/) 12.04.2004 р.
- [3] Тензодатчики. – Режим доступу: <http://remont220.ru/tenzodatchiki.php/> 16.07.2010 р.
- [4] Елементи та пристрої систем управління автоматики / А.С. Васюра. – Режим доступу: [www.URL:http://www.opticstoday.com/](http://www.opticstoday.com/) 10.12.2014.

*Наук. керівник – доц., к.т.н., Литвиненко П.Л.*

УДК 62-523.8

О.І. Фасоля, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЕЛЬТА РОБОТА

**Анотація.** В статті проведено огляд матеріалів по конструкції робота – маніпулятора, типу Дельта робот. Проведено огляд конструкцію робота, наведена варіант виконання системи керування на основі електронних компонентів Arduino, що в свою чергу дозволяє спростити та зменшити вартість.

**Ключові слова:** Дельта робот, Arduino, контролер Mega2560, CNC Shield V3, драйвер DRV8825, контролер.

### ВСТУП

Із збільшенням виробництва виникає потреба в створенні комплексів, які дозволяють автоматизувати процеси в різних сферах виробництва. Для виконання важкої, точної, шкідливої та монотонної роботи використовують роботів маніпуляторів.

Роботи маніпулятори – це багатоланкові механізми з різним числом ступенів свободи. Їх можливо використовувати для проведення автоматизації виробничого процесу, виконання складних хірургічних операцій, проведення робіт в приміщеннях або матеріалами, які завдають шкоду здоров'ю людини.

Головними вимогами до таких типів роботів є висока швидкодія, точність переміщення, можливість ручного та автоматичного керування та простота конструкції.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дельта робот був запатентований 1980 року швейцарським вченим Раймондом Клавелем.

Дельта роботи відносяться до паралельного виду роботів та складається з трьох важелів, які прикріплені до основи за допомогою шарнірів.

В основі конструкції Дельта робота є використання паралелограма. Він дозволяє зберігати просторову орієнтацію виконавчого пристрою робота. Використовуючи паралелограми можливо досягти три ступені свободи.[1]

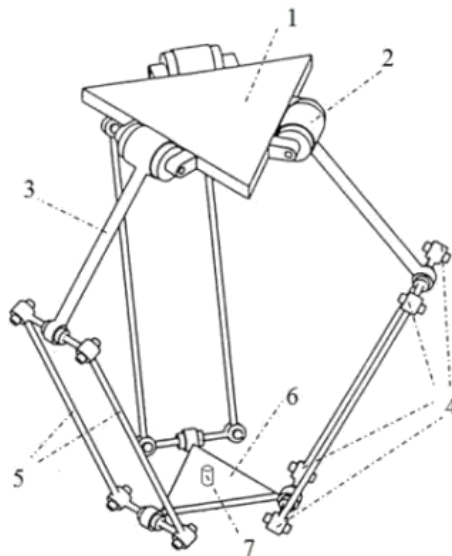


Рисунок 1. Схема Дельта робота

Конструкція робота (дивись рис. 1) складається з закріпленої верхньої основи 1 та рухомої платформи 6, які закріплені між собою важелями. Важелі розділені на верхнє 3 та нижнє 5 плече. Верхнє плече жорстко закріплено з двигуном 3, який кріпиться до верхньої основи. Нижнє плече має вигляд паралелограма в кутах якого розташовані шарніри 4, що дозволяють змінювати кути при зміні положення плеча. До рухомої платформи 6 кріпиться кріплення для робочого органу робота. Це може бути маніпулятор, лазерний модуль для лазерної різки або маркування, екструдер для 3D принтеру.

Головною перевагою Дельта роботів є висока швидкість переміщення та точність. Оскільки, електродвигуни розташовані на закріпленій платформі рухомі частини можливо виконати з легких композитних матеріалів. Використання композитних матеріалів дозволяє досягти прискорення до 50 g в експериментальних умовах та 12 g в промисловому застосуванні. Це робить Дельта робота ідеальним для виконання операцій підбору та переміщення легких предметів.[1]

Для спрощення та зниження вартості компонентів керування переміщенням робота можливо використати електронний конструктор Arduino. Ця електронна платформа користується високою популярністю завдяки зручності, простоті налаштування та відкритому програмному коді.

Програмування плати Arduino здійснюється на наступних широко розповсюджених мовах програмування C/C++, Python.

В якості пристрою контролю є можливість використовувати контролер Arduino Mega2560 (дивись рис. 2).

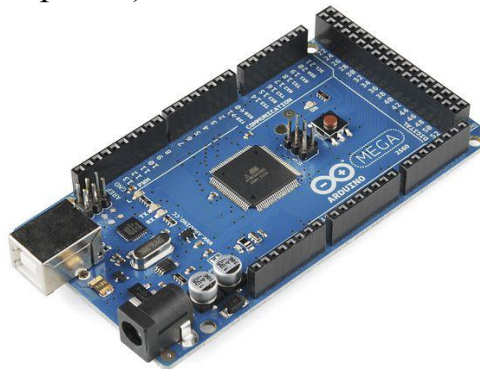


Рисунок 2. Загальний вигляд контролера Arduino Mega2560

Контролер Mega2560 побудований на основі мікроконтролера ATmega2560. Характеристики плати Arduino Mega2560 наведені в табл. 1.[3]

Для переміщення важелів використовуються електродвигуни. Вони перетворюють керуючий сигнал в пропорційне йому обертання валу. Такі двигуни працюють в умовах частих запусків та зупинок, так як керуючий сигнал систематично змінюється у відповідності до програми автоматичного регулювання.[4]

Для передачі керуючого сингала від контролера потрібно додатково використати плату розширення та драйвери двигунів.

Можливим є використання плати розширення Arduino CNC Shield V3 (дивись рис. 3). До даної плати розширення підключаються драйвери двигунів, а також кінцеві датчики та елементи керування.

Таблиця 1. Основні характеристики плати Arduino Mega2560

<i>№ n/n</i>	<i>Назва параметру</i>	<i>Характеристика</i>
1	Мікроконтролер	ATmega2560
2	Робоча напруга	5 В
3	Вхідна напруга (рекомендована)	7–12 В
4	Вхідна напруга (гранична)	6–20 В
5	Цифрові входи/виходи	54
6	Аналогові входи	16
7	Вхідний/вихідний постійний струм	40 мА
8	Флеш-пам'ять	256 кбайт, з яких 8 кбайт використовуються для загрузчика
9	ОЗУ	8 кбайт
10	Тактова частота	16 МГц



Рисунок 3. Плата розширення Arduino CNC Shield V3

До наведено раніше плати розширення можливо застосувати драйвери двигунів DRV8825 (дивись рис. 4). Характеристики драйверу DRV8825 наведенні в табл. 2.

Таблиця 2. Основні характеристики драйвера DRV8825

<i>№ n/n</i>	<i>Назва параметру</i>	<i>Характеристика</i>
1	Напруга живлення	8,2-45 В
2	Струм обмотки двигуна	До 2,5 А
3	Розподіл кроку	До 1/32
4	Розмір плати	15x15 мм
5	Захист від перегріву	Відключення при нагріванні драйвера до 150 °С



Рисунок 4. Загальний вигляд драйвера двигуна DRV8825

Створення системи керування Дельта робота на основі електронного конструктора дозволяють спростити процес складання, розробки програми забезпечення та завдяки модульності дозволяє в разі необхідності провести модернізацію пристрою.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Bonev, I. Delta Parallel Robot — the Story of Success / I. Bonev – 2001.
- [2] Красинский А.Я. Математическая модель динамики Дельта-робота/ А.Я. Красинский, А.С. Рукавишников, О.Д. Шаповал // Проблемы механики и управления: Материалы Международной конференции (16–22 сентября 2018 г., г. Махачкала) /Ред. И.Г. Горячева – М.: Издательство Московского университета, 2018. – 452 с., ил. – С. 198-199.
- [3] Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464с.: ил. – (Электроника).
- [4] Кацман М. М. Электрические машины приборных устройств и средств автоматизации/ М. М. Кацман // Моск. энерг. ин-т. – 2006. – 368
- [5] Кинематика дельта-робота. Режим доступа: [www.URL:https://habr.com/ru/post/390281/](http://www.URL:https://habr.com/ru/post/390281/)

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*

УДК 62-94

*Д.В. Федорчук, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПРОБЛЕМА ПОШУКУ ОБ'ЄКТІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯЗНАХОДЖЕННЯ У ВЕЛИКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

**Анотація.** В статті проведено огляд матеріалів по принципу роботи та різновидах – пристроїв для відстежування місцязнаходження у великому приміщенні принцип яких засновано на використанні технологій Bluetooth та Beacon. Проведено огляд технологій, наведено варіанти використання системи, необхідність та області використання.

**Ключові слова:** indoor-навігація, ідентифікація, маячок, Bluetooth, навігація в приміщенні.

### ВСТУП

Проблема навігації всередині великих приміщень в умовах недоступності сигналу супутникових засобів (GPS, Глонасс), останнім часом досить гостро постає перед нами. Причиною цього є розвиток та будівництво великих торговельних центрів, покупцям все важче знайти необхідний товар, чи стелаж з товаром.

Проте існують технології, які здатні вирішити цю проблему, наприклад Bluetooth Low Energy і організація indoor-навігації та ідентифікації в будівлях за допомогою портативних маячків.

Також, до сфери застосування даної технології можна віднести університетські кампуси, великі офісні будівлі, термінали аеропортів, лікарні та інші об'єкти. Основна мета технології допомогти людям орієнтуватися в подібних будівлях за допомогою засобів програмування та мобільних пристроїв.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

**Існуючі технології та технічні засоби при проектуванні систем навігації в будівлі**

Пристрої Beacon і мобільні пристрої (смартфони, планшети та ін.), Які мають технологію Bluetooth Low Energy. Сам маячок (Beacon) може зовні відрізнитися, однак пристрої, що виготовляються різними виробниками, мають однотипну схему і джерело живлення (рис. 1).



Рис. 1. Портативний маячок Beacon

При цьому необхідно, щоб технологію Bluetooth Low Energy, крім маячка, підтримувало ще й призначене для користувача мобільний пристрій.

Bluetooth Low Energy - це останнє покоління технології Bluetooth, основною перевагою якого є надзвичайно низьке енергоспоживання. Тобто, призначений для користувача пристрій, на якому буде встановлено додаток для роботи з Beacon, що не буде споживати енергію батареї і швидко розряджати портативний – пристрій[1].

Порівняльні характеристики класичного Bluetooth і Bluetooth Low Energy наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння технологій Bluetooth и Bluetooth Low Energy

<i>Специфікація</i>	<i>Класичний Bluetooth</i>	<i>Bluetooth low Energy</i>
Відстань	100 м	5м
Загальний час передачі даних	100 мс	6 мс
Споживана потужність	1 Вт в якості вихідної	Від 0,01 Вт до 0,5 Вт (в залежності від використання)
Максимальний споживаний струм	<30 мА	<20мА

Області застосування технології Beacon

Основні напрямками, використання технології Beacon:

- indoor-навігація (маячки кріпляться в кожній кімнаті/окремому офісі в будівлі).
- підказки, гіді в музеях (маячки прикріплюються до кожного експонату).
- навігація для сліпих (при наближенні людини з мобільним пристроєм до маячка йому програватиметься голосове повідомлення про те, де він знаходиться).
- знижки та акції в різних магазинах (при наближенні людини до магазину, його інформують про актуальну акцію).
- ігрові квести для орієнтування в місті або на іншій місцевості за допомогою маячків.

## **INDOOR-НАВІГАЦІЯ**

Найбільше актуально застосування технології маячків для навігації усередині приміщень (Indoor -навігація). Існують наступні її різновиди:

- навігація за допомогою Wi-Fi. Похибка в точності визначення місця розташування таким способом може досягати 25 метрів, порівняно велике енергоспоживання [2].
- геомагнітне позиціонування. Сучасні електромагнітні прилади, офісна техніка, електричні мережі та інше впливають на визначення місця розташування і можуть приводити до значної похибки;
- використання Beacon-маячків. Найпростіший спосіб в реалізації, відносно недорогий за витратами;
- навігація з використанням комбінації з попередніх варіантів [3].

## **ДАНИ, ЩО ПЕРЕДАЮТЬСЯ МАЯЧКАМИ BEACON**

Маячок передає три основних параметри в повідомленні, яке приймає скануючий Bluetooth-сигнали пристрій:

- UUID (16 байтів) - ідентифікатор маячків;
- Major (2 байта) - інформація для ідентифікації маячків всередині однієї UUID групи;
- Minor (2 байта) - як і Major, використовується для ідентифікації всередині групи маячків.

Також для використання маячка необхідно знати значення параметра TX Power, який представляє собою величину сили сигналу, що посиляється маячком на відстань в 1 метр. Даний параметр задається при виробництві маячка. Таким чином, використовуючи ці основні параметри і величину рівня сигналів, що виходять від маячків, існує можливість визначити місце розташування користувача приймального пристрою.

## **ОБРОБКА ДАНИХ, ПЕРЕДАНИХ МАЯЧКОМ**

Слід зазначити, що для точного визначення місця розташування користувача, даних, одержуваних від маячків, може бути недостатньо, так як:

- сигнал від маячка може бути не завжди стабільним. Іноді рівень сигналу через різних факторів навколишнього середовища може різко підсилитися/послабитися, в зв'язку з чим розрахункове відстань до нього може різко змінюватися;
- маячок може перестати працювати в результаті поломки або розряду батареї.

Чим більше маячків, від яких надходять дані, тим точніше позиціонування і тим менше вплив поломки одного з них.

## **ВИСНОВКИ**

Використання маячків Beacon і технології Bluetooth Low Energy дозволяє забезпечити можливість легкого орієнтування за допомогою практично будь-якого мобільного пристрою в великих будівлях і приміщеннях. Також є перспективним розвиток інших напрямків використання подібних пристроїв, зокрема таких, що полегшують людям з обмеженими можливостями (сліпих) орієнтуватися в просторі, забезпечують магазини новими видами реклами для залучення клієнтів, та інше.

Отже, існує необхідність в розробці алгоритмів обробки і аналізу даних від кожного маячка. Актуальним також є застосування основних алгоритмів визначення положення в просторі (триангуляція і трилатерація [4]) для вирішення завдання точного позиціонування в будівлі за допомогою маячків.



## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Jason R. Indoor WiFi Location and Beacons: Better Together. Режим доступа: [www.URL: http://blogs.cisco.com/wireless/indoor-wifi-location-and-beacons-better-together/](http://blogs.cisco.com/wireless/indoor-wifi-location-and-beacons-better-together/)
- [2] Гмарь Д. В. «Навигация внутри зданий с использованием беспроводной сети (на примере кампуса ВФУЭС)» / Д. В. Гмарь, Крогенок К.И. // Материалы XX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2013». СПб, 2013.
- [3] Bluetooth с низким энергопотреблением. Режим доступа: [www.URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth с низким энергопотреблением](https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_с_низким_энергопотреблением)
- [4] Навигации в помещениях с iBeacon и ИНС // Хабрахабр. М., 2014. Режим доступа: [www.URL:http://m.habrahabr.ru/post/245325/](http://m.habrahabr.ru/post/245325/)

## УДК 612.1/.8

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, д.т.н., професор. Гераймчук М.Д.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОБОТИЗОВАНА КІНЦІВКА

**Анотація.** Функціональні можливості протезів, особливо верхніх кінцівок, у фільмах «Зоряні Війни», «Аліта, бойовий ангел», «Чорна пантера», «Тріган», не відрізняються від людської руки, а в деяких випадках перевершують її. Ще у 2017 році до таких технологій ми стали на крок ближче, нідерландець отримав протез руки, яким можливо керувати за допомогою думки, він містить нейроблок, що здатний сприймати електричні імпульси, які відправляє мозок та розшифровувати їх.

**Ключові слова:** протез кінцівки, рука, функціональність, нейроблок, рухомість, електричні імпульси, мікропроцесор.

### ВСТУП

Пальці руки складаються з 9 суглобів. Великий палець має один суглоб, а інші чотири мають по два суглоби. Така будова дозволяє згинатись і розгинатись (кут згинання великий, а кут вигинання - малий).

Із тильної сторони кисті, проходять променеві і ліктьові нерви. Сукупність двох ліктьових нерва і центрального нерву руки, разом з вузлами, які контролюють м'язи кисті і пальців, дозволяють здійснювати складні рухи[1].

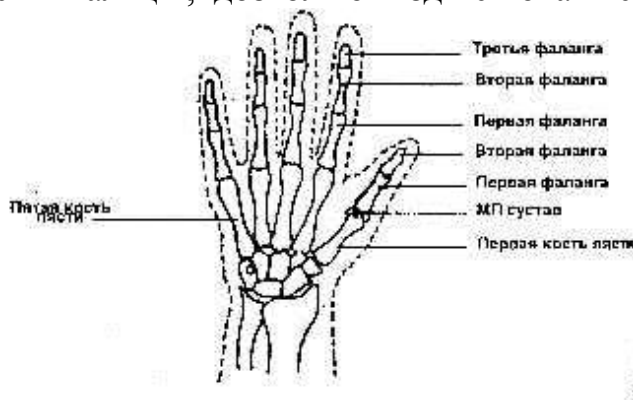


Рисунок 1. Будова кисті та пальців

У даній статті розглядається конструкція протезу подібного до людської кінцівки, що дозволить збільшити рухомість протезу наблизивши функціонально її до людської кінцівки.

Головна мета протезу верхньої кінцівки – забезпечення функціональності наближеної до функціональності руки або перевершуючи її включенням в протез додаткового обладнання[2].

Принцип роботи протезу ілюструє структурна схема. В тіло людини вживлюється нейроблок[3], що зчитує імпульси, які надсилає мозок та їх розшифровує. Після розшифрування отриману інформацію видає на мікропроцесор (мікроконтролер), який керує двигунами.

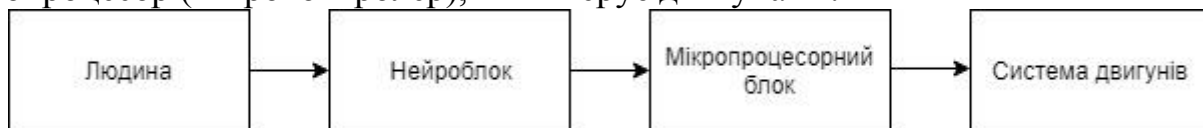


Рисунок 2. Структурна схема протезованої кінцівки

## КОНСТРУКЦІЯ

Розглянемо детальніше, конструкція з'єднання та керування фалангами протезу (далі фаланги) долоні, яка включає канавки через які протягуються тонкі троси діаметром до 1 мм, із зовнішньої та внутрішньої сторін.

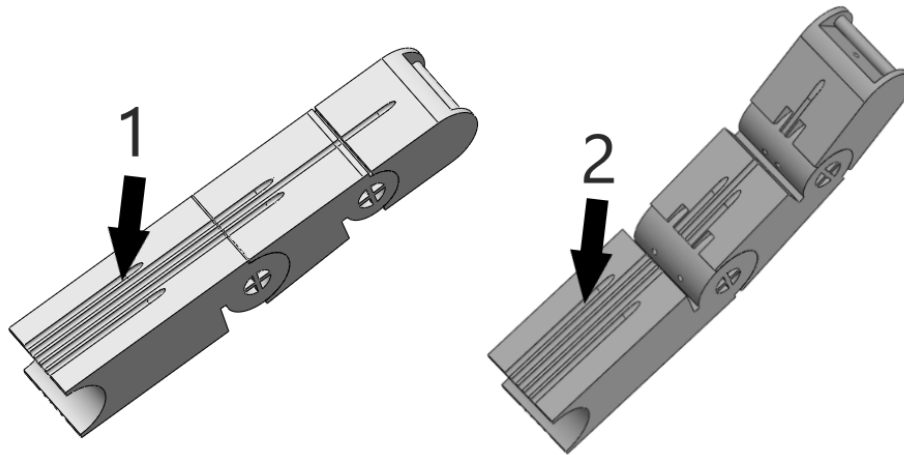


Рисунок 3. Канавки для керування фалангами протезу:

- 1- Зовнішні канавки;
- 2- Внутрішні канавки.

Вони необхідні, щоб забезпечити рухомість протезу. Наприклад, потягнувши за трос на внутрішній стороні фаланги зігнуться, якщо потягнути за верхні – розігнуться. Також, це дозволяє регулювати ступінь та силу стискання за рахунок натягнення тросу, тому він має бути одночасно тонким та здатним витримати силу натягу 90 Н та більше[4].

Завдяки конструкції можливо зігнути протезовану руку, так що відстань між фалангом та плато долоні є майже ідентичним людському та складає 3.13 мм.

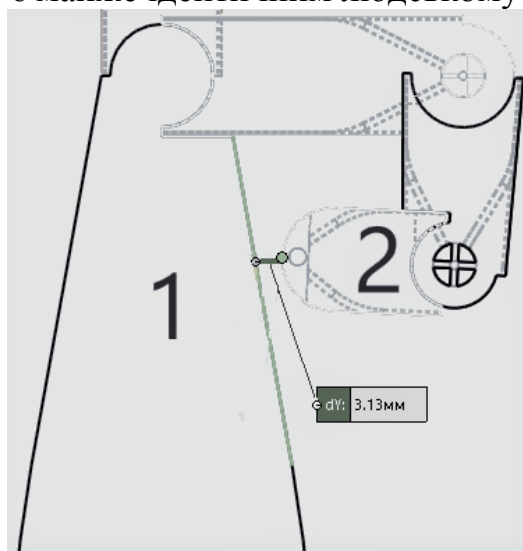


Рисунок 4. Відстань між протезованим плато долоні 1 та нігтьовим фалангом 2

Постає питання як контролювати ступінь згинання протезованих фалангів пальців? Можна використати систему двигунів, яка відповідала б за рухомість протезованих фалангів.

Згідно запропонованої конструкції на кожен фаланг пропонується використовувати 6 двигунів. Два двигуни на протез нігтьового або третього фалангу, 2 двигуни на другий фаланг та 2 двигуни на перший фалангу.

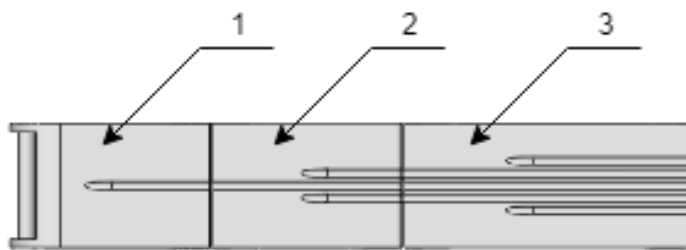


Рисунок 5. Фаланги протезу

- 1- Третя фаланг
- 2- Друга фаланг
- 3- Перша фаланг

Оскільки на кожен палець для забезпечення рухомості, згідно запропонованої конструкції, необхідно 6 двигунів, то на протезовану кінцівку загалом знадобиться 30 двигунів. Вимоги до двигуна наступні:

- У висоту не більше 5-10 мм;
- У довжину не більше 20-40 мм;
- У товщину не більше 5 мм;
- Надійний;
- Довговічний;
- Простий у виконанні.

За задумом, після подачі команди на двигун він починає тягнути крізь себе трос та утримує його скільки потрібно для виконання потрібної людині дії, наприклад тримати чашку ароматної кави.

## ВИСНОВКИ

Завдяки децентралізації управління фалангами пальців можливо досягти незалежності роботи кожного з них, що забезпечує ідентичну одне одному рухомість (наприклад зігнути вказівний палець повністю, великий – частково, на мізинці зігнути протезований нігтьовий фаланг під кутом 90 градусів). Така комбінація можлива на людській руці. Якщо людина втративши кінцівку все ж матиме протез, який функціонально не відрізнятиметься від її руки, то це може вплинути позитивно як на психологічний стан, людина не відчуватиме себе обмеженою, так на її продуктивність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Строение и двигательные возможности кисти и пальцев — Режим доступа: [www.URL:https://studopedia.org/13-132032.html](https://studopedia.org/13-132032.html)
- [2] Виды протезов рук — Режим доступа: [www.URL:https://motorica.org/vidy-protezo-ruk/](https://motorica.org/vidy-protezo-ruk/)
- [3] Нидерландец получил съёмный протез руки, управляемый силой мысли — Режим доступа: [www.URL:https://itc.ua/news/niderlandets-poluchil-syomnyiy-protez-ruki-upravlyaemyiy-siloy-myisli/](https://itc.ua/news/niderlandets-poluchil-syomnyiy-protez-ruki-upravlyaemyiy-siloy-myisli/) — 26.04.2017 р.
- [4] История о руке из титана — Режим доступа: [www.URL:https://pikabu.ru/story/istoriya\\_o\\_ruke\\_iz\\_titana\\_5155421](https://pikabu.ru/story/istoriya_o_ruke_iz_titana_5155421)

*Наук. керівник – д.т.н., професор. Герайчук М.Д.*

УДК 517.91

Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, старший викладач Толочко Т.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ У СЕРЕДОВИЩІ MATHLAB

**Анотація.** В даній роботі розглядаються способи отримання розв'язків диференційних рівнянь в середовищі MatLab, а також шляхом моделювання у Simulink. Освітлені способи отримання інтегральної кривої у символічному, табличному, графічному вигляді. Також в роботі досліджується вплив початкових умов на розв'язки диференційних рівнянь різного вигляду, а також проаналізовано причини саме такого впливу.

**Ключові слова:** диференційне рівняння, початкові умови, інтегрування

### ВСТУП

Для розв'язування диференційних рівнянь у MatLab передбачено досить багато різних способів, які дозволяють отримати розв'язок у табличному, графічному та символічному вигляді. Приведемо конкретний приклад.

Функція  $[x, y] = \text{ode45}(\text{'<ім'я функції>'}, x_0, x_{\text{final}}, y_0, \text{tol}, \text{trase})$  інтегрує диференційне рівняння. Вхідні параметри цієї функції:

- ❖ '<ім'я функції>' – текстова змінна, яка є ім'ям М-файлу, у якому обчислюється права частина диференційного рівняння;
- ❖  $x_0$  – початкове значення аргументу;
- ❖  $x_{\text{final}}$  - кінцеве значення аргументу;
- ❖  $y_0$  – початкові умови;
- ❖  $\text{tol}$  – точність (по замовчуванню для  $\text{ode45}$   $\text{tol}=10^{-6}$ );
- ❖  $\text{trase}$  - по замовчуванню рівний нулю, що не допускає виведення проміжних результатів.

Вихідні параметри – інтегральна крива у вигляді таблиці, а саме:

- ❖  $x$  – масив-стовпчик значень аргументу;
- ❖  $y$  – масив-стовпчик значень функції  $[1, 2, 3, 4]$ .

### ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Згідно вище наведеному, для отримання інтегральної кривої створимо функцію у текстовому файлі  $\text{fun.m}$ , яка повертатиме значення похідної:

$\text{function dy}=\text{fun}(x,y)$

де  $\text{dy}=2*x-y$  - права частина диференційного рівняння.

Створену функцію викликаємо з командного вікна:

$[x,y]=\text{ode45}(@\text{fun},[0,10],0)$

де  $[0,10]$ - інтервал зміни аргументу  $x$ ;

$0$  – початкові умови:  $y(0)=0$ .

Отримуємо вектори-стовпчики  $x$  та  $y$  з координатами точок інтегральної кривої (дивись рис.1).

Графік інтегральної кривої  $y(x)$  можна побудувати за допомогою вбудованої функції  $\text{plot}(x,y)$  (дивись рис. 1 та рис.2).

Можна також на інтегральній кривій колами показати значення функції  $y(x)$  в точках вектора-стовпчика  $x$  командою:  $\text{'hold on; plot}(x,2*x + 2*\text{exp}(-x) - 2,\text{'ro'})$ ;  $\text{hold off}$ » (дивись рис. 1 та рис.2 б).

У MatLab диференційне рівняння також можливо розв’язати і у символному вигляді за допомогою стандартної процедури dsolve, командою «dsolve('Dy=2\*x-y','y(0)=0')».

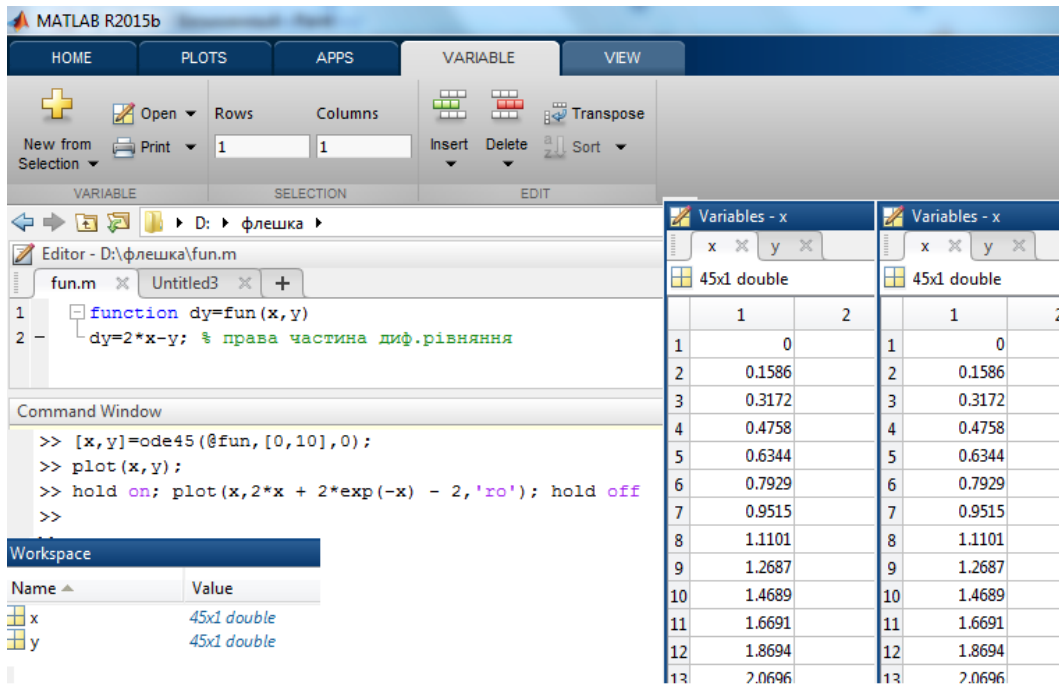


Рисунок 1. Розв’язування диференційного рівняння

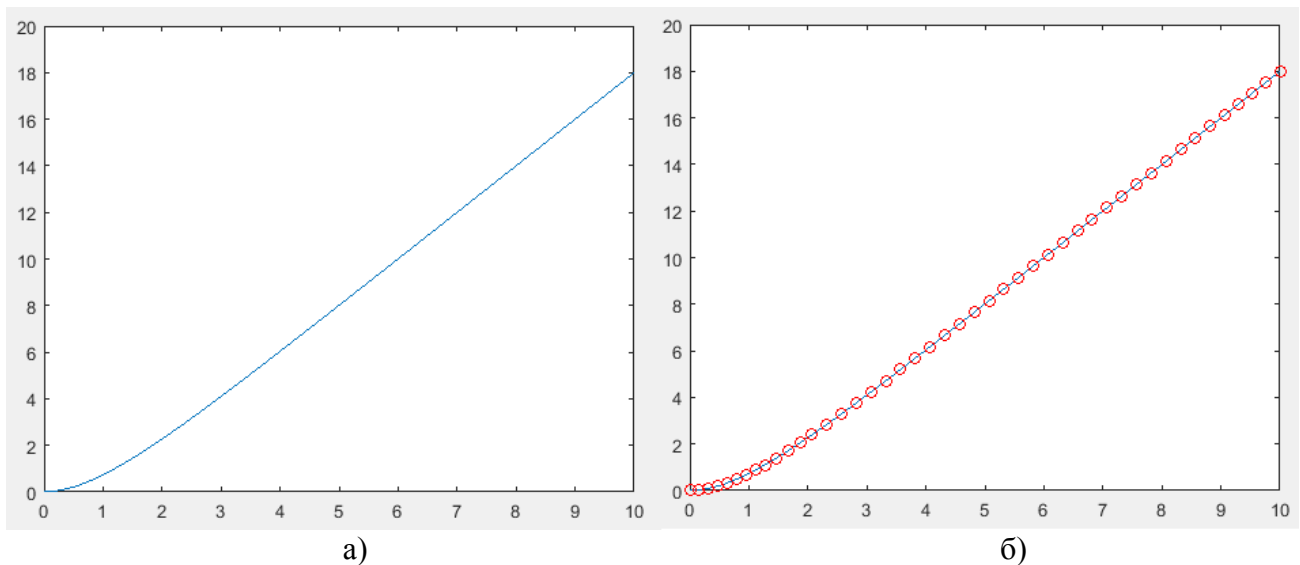


Рисунок 2. Інтегральна крива

З допомогою моделювання у Simulink, використовуючи інтегруючий блок, розв’яжемо диференційне рівняння з різними початковими умовами, а саме:

$$y'(x) = 2 * x \quad (1)$$

- ❖  $y(0) = -20$ ;
- ❖  $y(0) = 0$ ;
- ❖  $y(0) = 20$ .

Розв’язками є сімейство ідентичних кривих  $y(x)$ , які зсунуті одна відносно одної по вертикалі (дивись рис. 3). Це пояснюється тим, що при інтегруванні без

врахування початкових умов з'являється невизначеність у вигляді константи, яка може набувати будь-якого значення. І тому розв'язком диференційного рівняння без врахування початкових умов є нескінченна множина подібних між собою кривих. Конкретне значення цієї константи і відповідно розташування інтегральної кривої залежить від заданих початкових умов.

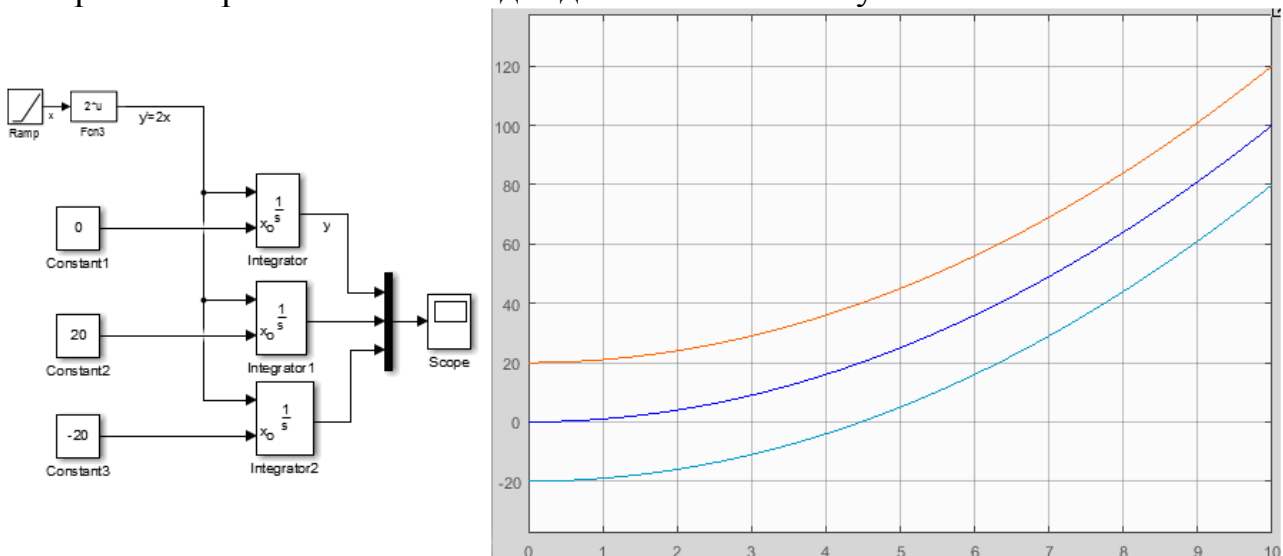


Рисунок 3. Розв'язування диференційного рівняння  $y'(x)=2x$  з різними початковими умовами

Змінимо диференційне рівняння щоб результат інтегрування віднімався від самої похідної:  $y'(x)=2x-y(x)$ . Розв'язавши його з різними початковими умовами, отримаємо графіки  $y(x)$ , які проходять через точки з координатами початкових умов, але в подальшому, у нескінченності, вони зливаються у одну криву з певною похибкою. Дійсно, адже розв'язок має вигляд:

$$y(x) = 2 * (x - 1) + e^{-x} * C \quad (2)$$

Де  $C$  – константа.

Значення  $C$  залежить від початкових умов, але при збільшенні  $x$  значення  $e^{-x}$  стрімко зменшується ( $e^{-5}=0,007$ ), нівелюючи вплив  $C$  і відповідно початкових умов на вигляд інтегральної кривої (дивись рис. 4).

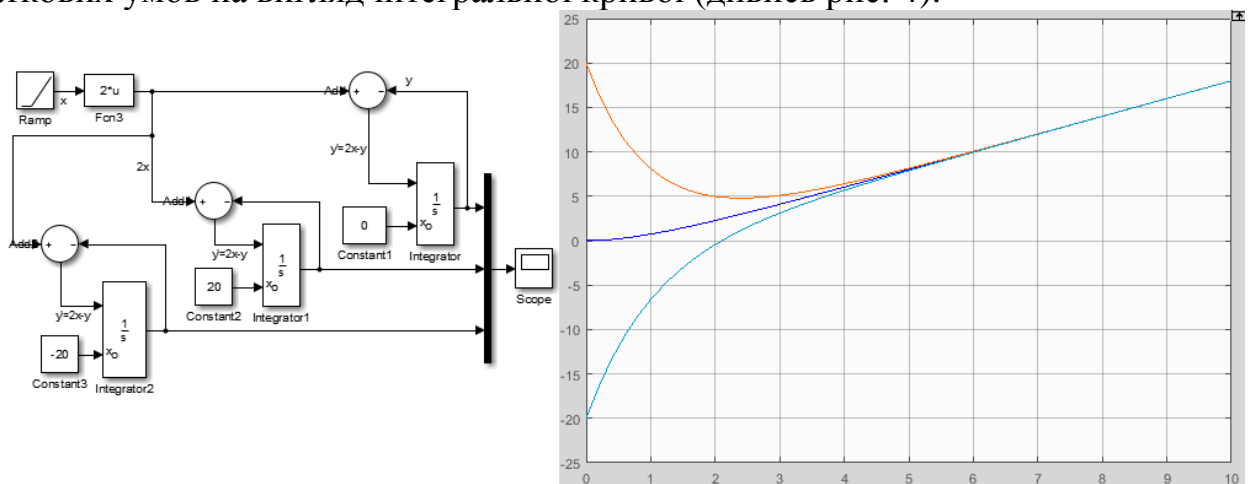


Рисунок 4. Розв'язування диференційного рівняння  $y'(x)=2x- y(x)$  з різними початковими умовами

Блок-модель, що дозволяє змінювати диференційне рівняння і прослідкувати вплив початкових умов на розв'язки диференціальних рівнянь виду  $y'(x)=f(x)$  та  $y'(x)=f(x)-y(x)$  (дивись рис. 5).

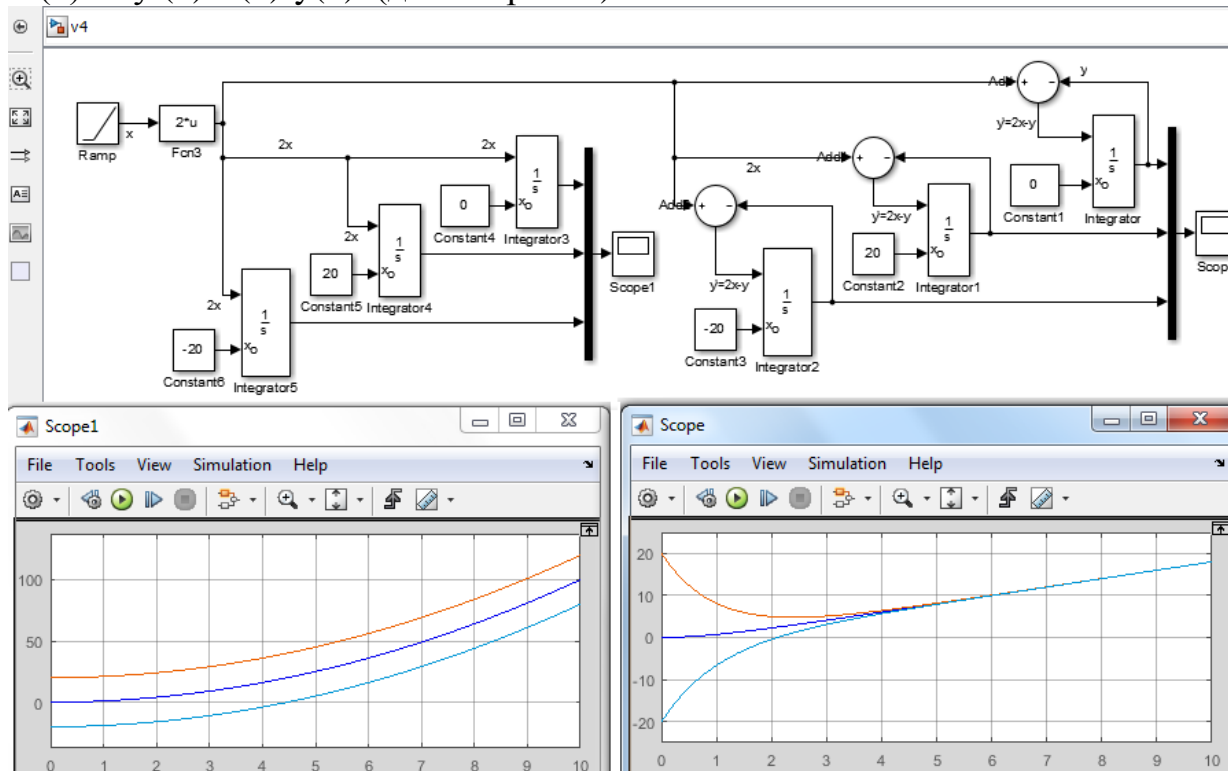


Рисунок 5. Блок-модель розв'язання диференціальних рівнянь виду  $y'(x)=f(x)$  та  $y'(x)=f(x)-y(x)$

## ВИСНОВОК

У середовищі MatLab досить просто отримати розв'язок диференціальних рівнянь у табличному, графічному та символічному вигляді.

Моделювання у MatLab дозволило наглядно розглянути вплив початкових умов на розв'язки диференціальних рівнянь виду  $y'(x)=f(x)$  та  $y'(x)=f(x)-y(x)$  і впевнитись, що при наявності складової  $-y(x)$  початкові умови на інтегральну криву суттєво впливають лише при певних малих значеннях  $x$ , а із збільшенням  $x$  вплив швидко зникає.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. — М.: Солон, 2002. 768 с.
- [2] Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. — М.: ДМК Пресс, 2004. 320 с.
- [3] Кетков Ю. Л., Кетков А.Ю., Шульц М. М. MATLAB 7: программирование, численные методы. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 752 с.
- [4] Справочник по MatLab. Exponenta.ru образовательный математический сайт.

— Режим — доступа:  
<http://old.exponenta.ru/soft/matlab/potemkin/book2/chapter8/ode23.asp> —  
 04.03.17г.



## **Секція 5.**

# **ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**

## UDC 621.307.13

*O.V. Yablunivsky, student gr. PN-51, Ph.D., Associate Professor, M.O. Markin*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

### MULTISPECTRAL PYROMETER

**Abstract.** The article presents the results of an analytical study for the development of multispectral pyrometers features. The structural scheme of the multispectral television pyrometer is developed, which will be followed by the development of a laboratory mockup for experimental research in the preparation of a master's thesis.

**Key words:** multispectral pyrometer, temperature.

### INTRODUCTION

Temperature is one of the most important parameters of technological processes. It is characterized by some fundamental areas that require the use of a large number of different methods and techniques for measuring it. The need for rapid contactless control and temperature measurement is constantly increasing. Scanning optical-electronic systems for monitoring and measuring temperature fields have wide functional capabilities, which allow to significantly improve the quality and speed of analysis of the state of different heat and power systems [1].

Today, in many fields of science and technology such as medicine, flaw detection, metallurgy, military and space systems, aircraft, machinery, there is a need to measure and control body temperature not only in the form of an integral assessment, but also the distribution of temperature both on the outer surface and in the middle, preferably by contactless measurement methods. In many cases, this is due to the movement of material, the temperature of which must be measured, for example, when you are rolling sheets, profile or pipes in metallurgy. Or measure the temperature of ingots, melt metal or glass, when contact with the metal surface is impossible. In other cases, for example, when measuring the temperature in vacuum chambers, when the use of contact sensors is separated by a range of measurements or under working environment conditions. A large number of currently available temperature measurement methods make it possible to measure it at any point using a contact method of measurement. In the case of contactless measurement, it is possible to obtain temperature values only on the body surface or in the upper layers of the test. Thus, there is a need to study the contactless method of temperature measurement, which would enable it to be determined not only on the surface of the body or in its upper layers, but also at any point in its entire volume.

Surrounding bodies change their properties under the influence of external factors, change their state. External factors may be mechanical when work is applied to the body, and non-mechanical when the body is heated.

According to the molecular-kinetic theory, all the bodies consist of rather small particles - molecules that are in an arbitrary motion. Experience shows that heating increases the arbitrary movement of molecules in the body, increasing the stock of its internal thermal energy, which consists of the kinetic energy of the molecules motion and their mutual potential energy. The dependence of the average kinetic molecule's energy and gradual amount of heat transmitted to simpler substances - ideal gas is expressed by

$$E = \frac{3}{2} kT, \quad (1)$$

where  $k$  – Boltzmann constant,  $J/deg$ ;  
 $T$  – absolute body temperature.

For real gases, liquids and solids, this dependence is more complicated. The value characterizing the dependence of the body internal energy on the degree of its average kinetic energy is called the temperature, which thus determines the supply of internal energy of the body, which manifests itself in the thermal motion of the molecules.

The temperature refers to such physical quantities that are not directly measurable. Therefore, to determine it always convert to another measurement value.

Methods of radiation pyrometry are used to determine the temperatures of heated bodies. In violation of the thermodynamic equilibrium of the object with the environment on its surface there is an excess of temperature field, the nature of which allows to get information about the desired properties of the object.

The methods of thermal control are based on the interaction of the thermal field of the object with thermodynamic sensitive elements (thermocouple, photodetector), transformations of the field parameters (intensity, temperature gradient, contrast) into an electrical signal and transfer it to the recording device.

The advantages of thermal control are: remoteness, high speed of information processing, the theoretical ability to control any materials, many parametric nature of the test.

### **FEATURES OF MUSCULAR PYOMETER DESIGN**

The intensity of thermal radiation is very much dependent on the body's temperature  $T$ . Therefore, pyrometry methods are used to measure relatively high temperatures. At  $T \leq 1000$  °C, the pyrometric methods play a minor role in general, but at  $T > 1000$  °C they are the main ones, and at  $T > 3000$  °C, practically the only methods of temperature measurement.

The temperature of the heated body can be judged on the basis of measuring the parameters of its thermal radiation, which represents electromagnetic waves of different lengths. The higher the body temperature, the more energy it radiates.

Thermometers that are based on the measurement of thermal radiation, called pyrometers. They allow the temperature to be measured from 100 to 6000 °C and above. One of the main advantages of these devices is the lack of action of the meter on the temperature field of the heated body, since during the measurement they do not come into direct contact with each other. Therefore, these methods are called contactless.

Based on the analysis of existing television pyrometers, the scheme of the pyrometer was chosen as the basis. The block diagram of this device is shown in Figure 1.

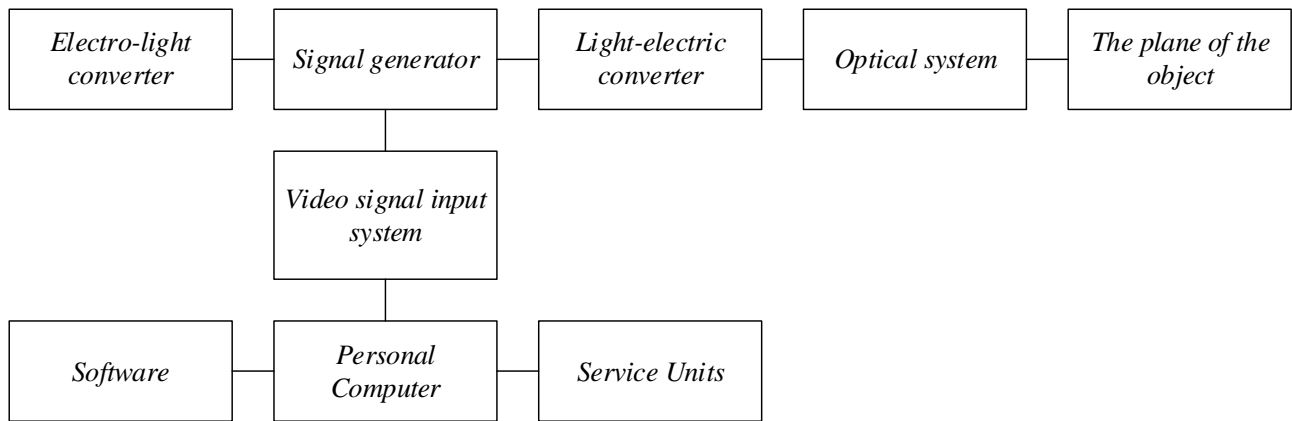


Figure 1 - Block diagram of the multispectral television pyrometer

The modern element base allows us to use the modular principle of constructing a multispectral pyrometer. In this case, the main modules are an optical system, a transmitting television camera, which includes a light-electric converter and signal generator in the computer. In terms of technical specifications, the optical system is perhaps the most important component of the multispectral pyrometer. An important role of the optical system is due to its location in the structure and the specificity of the purpose, which consists in forming an image in the form of a plane optical field of considerable size. The latter circumstance requires some elaboration of the issues related to the characteristics of the multispectral pyrometer optical system and more balanced approaches to their justification when choosing or developing it.

In some multispectral pyrometers, a device for inputting video signals into a computer is included in the list of mandatory modules. But video adapters of modern computers allow in most cases to refuse this device.

The multispectral pyrometer optical system forms the primary image, while making spectral and spatial selectivity, which, in the right approach, increases the signal-to-noise ratio. The light-electric converter determines the principal capabilities of the multispectral pyrometer, in particular, the spectral range and resolution. In this case, the light-electric converter converts an optical signal, which is a function of spatial coordinates and time, into an electrical signal. The already formed signal is fed to the computer where the transformation is performed, the purpose and type of which is determined by the purpose of the television pyrometer and the software.

An important role in pyrometers, that based on the analysis of the spectral brightness of radiation in two or three ranges (multispectral pyrometers) play light arbitrary elements. The most commonly used prisms or dichroic plates, which allow separating a single stream into spectral components. For the final formation of the necessary spectral ranges after separation is applied by adjusting the filters. After that, separate streams are directed to individual light-electric converters for further analysis or for the formation of a color image. For this purpose, a single light-electric converter can be used. The image forming device in the multispectral pyrometry belongs to the field of thermal imaging technology and can be used to form an image in pyrometers.

## **CONCLUSIONS**

The article presents the results of the analytical study of multispectral pyrometers features. The structural scheme of the multispectral television pyrometer is developed, which will be followed by the development of a laboratory mockup for experimental research in the preparation of a master's thesis.

## **LIST OF LINKS**

- [1] Порєв В.А. Застосування приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу параметрів зони плавки / В.А.Порєв // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 3. – С. 25-34.
- [2] Маркін М.О. Похибки вимірювання температури в біспектральній пірометрії / М.О.Маркін, В.А.Порєв // Наукові праці ДонНТУ, Серія "Обчислювальна техніка та автоматизація", – 2010. – Вип. 20 (135), – С. 196-200.
- [3] Маркін М.О. Біспектральний телевізійний прилад контролю високотемпературних технологій / М.О.Маркін, В.А.Порєв // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С. 102-105.
- [4] Маркін М.О. Мультиспектральні телевізійні прилади контролю високотемпературних технологій / М.О.Маркін, Г.М.Згуровський, В.А.Порєв, Є.О.Белорусов, І.В.Бойко // Восточно-европейский журн. передовых технологий. – 2006. – №4/2 (22). – С. 34-39.
- [5] Пат. 38910 України, МПК (2006) H04N 7/00. Мультиспектральний телевізійний пірометр / Маркін М.О., Порєв В.А., Маркіна О.М.; заявник НТУУ "КПІ". – № u200810067, подано 04.08.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2/2009. -4 с.: іл.

## УДК 504.3

*Г.А. Бусигіна, студент гр. ПН-81мп, к.т.н., асист. Івасенко В.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ТЕНДЕНЦІЯ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ І ЯКОСТІ РОБОТИ АЗС**

**Анотація.** Розглянуто проблеми та джерела забруднення повітря від автозаправних станцій. Проведено дослідження щодо впливу якості роботи АЗС на збільшення концентрації викидів та зменшення характеристик палива. В результаті роботи розглянуто та проаналізовано результати вимірювань дослідження щодо неякісної роботи АЗС та вплив на довкілля і на організм людини.

**Ключові слова:** : автозаправна станція, характеристики палива, оксид азоту, вуглеводні, бензин.

### **ВСТУП**

За останні роки уряди країн західної Європи вносять правки в законодавстві, щоб найближчим часом піти від автомобілів на горючих видах палива до екологічно чистим електромобілям. Прикладом однієї з таких країн є Німеччина, яка вносить поправки на ввезення і продаж автомобілів, що не забруднюють навколишнє середовище. Таким чином, за підрахунками німців, до 2050-року викиди діоксиду вуглецю в атмосферу планують скоротити на 80-95 відсотків. Також було виявлено, що в останні роки в Україні зустрічається неякісний або розбавлений бензин на АЗС (автозаправних станцій). Це призводить до несправної роботи двигуна, що теж має місце бути в погіршенні стану атмосфери, в яку потрапляють частинки свинцю та інших елементів. Тому слід розвивати тенденцію до оцінки викидів від автозаправних станцій в Україні.

### **МЕТА РОБОТИ**

Мета дослідження – виявити тенденцію до вирішення проблеми підвищеного обсягу викидів забруднюючих речовин в атмосфері через неправильну роботу автозаправних станцій.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Забруднення довкілля АЗС відбувається за рахунок потрапляння в атмосферне повітря випаровувань палива. Викиди випарів палива відбувається: під час заправки ємкостей АЗС від цистерн заправників; зберігання палива в ємкостях; під час безпосередньої заправки автомобілів [5].

Основними забруднюючими речовинами в процесі експлуатації АЗС при використанні бензину, дизельного палива та скрапленого вуглеводневого газу є: бензин, вуглеводні насичені С12–С19, пропан, бутан, етан, метан. Безпосередньо джерелами викиду забруднюючих речовин на АЗС під час виконання технологічних операцій є: дихальний клапан резервуару з паливом (організоване джерело), ЗР утворюються під час заправки резервуару з бензовозу, а також при зберіганні в резервуарах; гирло бензобаку (неорганізоване джерело), ЗР утворюються під час заправки баків автомобільні транспортні засоби. На процес випаровування нафтопродуктів з резервуарів в статичних умовах впливають різні фактори: температура навколишнього середовища; тиск і об'єм газового простору; площа контакту нафтопродукту з газовим простором атмосферний тиск[5].

В жовтні 2018 року, було проведено дослідження якості палив по заходам кількості бензолу, сірки, етанолу виявилось порушення норм з боку чотирьох мереж автозаправних станцій, як «Імпульс», «Екстра», «Marshall» і «Avantage 7»[6]. Дані оцінки мереж АЗС представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати дослідження якості палива українських АЗС

Назва АЗС	Октанове число (не менше 82, 5 од.)	Вміст сірки (Євро 5, норматив не більше 10 мг/кг)	Об'ємна частка бензолу (не більше 1,0%)	Об'ємна аромат. вуглеводнів (не більше 35%)	Об'ємна частка етанолу (не більше 5,0%)
Parallel	85,5	8	0,60	18,7	0,28
Укрнафта	83,8	9	0,74	31,7	2,1
БРСМ - нафта	85,2	9	0,56	25,8	4,1
КЛО (Shebel)	84,2	10	0,84	28,7	0,99
Імпульс	87,4	<b>17</b>	<b>1,5</b>	6,2	<b>20,3</b>
Marshall	84,6	<b>24</b>	<b>2,1</b>	15,0	<b>8,0</b>
Окко	84,4	9	0,56	30,7	0,17
WOG	84,5	9	0,57	31,0	0,25
Avantage 7	86,4	<b>14</b>	0,84	18,2	<b>7,8</b>
Екстра	86,9	<b>25</b>	2,5	8,5	<b>29,7</b>

Крім проблем з пониженням характеристик якості бензину, в Україні присутня проблема з дизельними двигунами. Причина використання і покупки дизельного двигуна і його постійного використання в Україні криється в дешевизні палива в порівнянні з тим же бензином. Однак, такий тип двигуна має токсичні викиди у вигляді оксиду азоту і твердих частинок сажі.

В Україні також спостерігається зростання тенденції споруди АЗС і технічного обслуговування поблизу житлових будинків. За нормами містобудування, відстань від малої заправки з підземним зберіганням палива складає 25 метрів. З надземним зберіганням палива АЗС складають від 40 метрів до 50 метрів в залежності від розмірів площі будівлі автозаправних станцій.

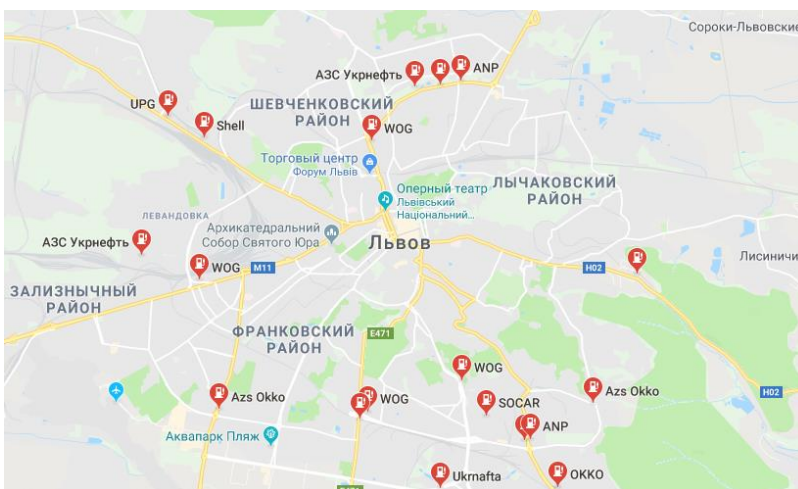


Рисунок.1. Розташування АЗС на території міста Львів

Використовуючи додаток «Google Maps», було розглянуто розташування АЗС на території великих міст України. На рисунку 1. можемо спостерігати розміщення станцій в місті Львів.

На рисунку 1., спостерігається близьке розташування декількох АЗС між собою. Якщо не буде дотримано заходи

безпеки, то вибух або пожежа, ка настигла одну з АЗС, може викликати подібне і в найближчій станції. Серед таких є WOG і ANP.

На рисунку 2., спостерігається розташування автозаправних станцій в місті Суми. Спостерігається розташування станцій, як Авіас Плюс і Marshall, які знаходяться по обидва боки шосе, що є допустимим. Але Amic Energy і ANP розташовуються близько один одному, тому їм слід стежити за заходами та заходами безпеки, щоб уникнути порушень.

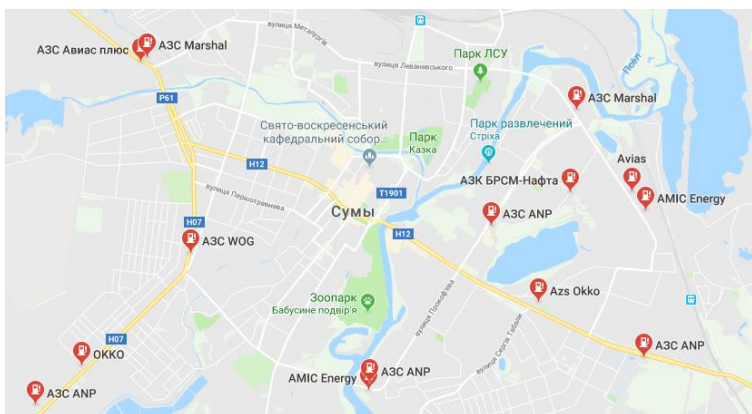


Рисунок.2. Розташування АЗС на території міста Суми

## ВИСНОВКИ

Щоб забезпечити покращення ситуації з викидами від АЗС потрібно контролювати санітарні норми розміщення станцій та якість характеристик палив, а також забезпечити спеціальними станціями для ремонту та контролю дизельних двигунів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Чугай А.В. Оцінка впливу експлуатації автозаправних станцій на навколишнє природне середовище / А.В. Чугай // Вестник ХНАДУ. – 2015. – Вип. 71. – С. 97-101.
- [2] Павленко В. А. Газоаналізатори / В.А. Павленко. – М.: Машинобудування, 1965. – 104 с.
- [3] Федоренко О. І. Основи екології / О.І. Федоренко. – К.: Знання, 2006. – 24 с.
- [4] Івасенко В.М. Вдосконалення методів та засобів вимірювання концентрації шкідливих речовин у викидах автозаправних станцій / В.М. Івасенко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування: зб.ст. / Нац. техн. ун-т України КПІ. – 2015. – Вип. 30. – С. 5-35.
- [5] Івасенко В. М. Автозаправні станції: дослідження обсягів викидів, вплив на довкілля / В.М. Івасенко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування: зб.ст. / Нац. техн. ун-т України КПІ. – 2015. – Вип. 28. – С. 1-5.
- [6] Віддаленого доступу: Эксперты назвали АЗС, на которых "бодяжат" бензин / [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://auto.bigmir.net/autonews/autoworld/1604918-Eksperty-nazvali-AZS--na-kotoryh--bodjazhat--benzin/> – 29.10.2018 р.

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Івасенко В.М.*



УДК 537.876; 535.375

А.Р. Гармаш, студент гр. ПН-81мп,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТРОЛОГІЧНІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ППР-ПРИЛАДІВ

**Анотація.** Дослідження взаємодії поверхневих електромагнітних хвиль з речовиною та розробка приладів на основі поверхневих плазмонів. Актуальним напрямком розвитку аналітичного приладобудування є створення мініатюрних вимірювальних засобів.

**Ключові слова:** показник заломлення, поверхневий плазмонний резонанс, чутливий елемент ППР-сенсору, повне внутрішнє відбиття на межі двох середовищ

### ВСТУП

Зменшення габаритів пристроїв (мініатюризація) можливо досягнути за допомогою технології LOC “лабораторія на чіпі”, ця технологія в одному чутливому елементі приладу об’єднує в себе кілька вимірювальних функцій. Дана технологія для опрацювання малої порції аналізуючої речовини використовує досить малі об’єми. Перспектива даної концепції розвитку аналітичних приладів та переваги LOC систем забезпечується зниженням проби досліджуваної речовини і витрат реагентів, автоматизацією та високою швидкістю отримання результату [1]” .

Поверхневий плазмонний резонанс - це явище відхилення умови повного внутрішнього відбиття (ПВВ) на межі поділу певних середовищ: менш оптично щільного та більш оптично щільного. Під час утворення ППР велика частина енергії світла яке падає на поверхню чутливого елемента ППР-сенсору (ЧЕ) яка в свою чергу перетворюється на енергію плазмонів і оскільки інтенсивність відбитого від її поверхні, світла різко спадає. В такому разі електричне поле цієї хвилі за експонентою спадає в напрямку, який перпендикулярний межі поділу.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Можна впевнено говорити, що вимірювальний метод на основі ППР є найбільш ефективним, тому що не потребує використання міток і результати які він видає ми можемо спостерігати в реальному часі[2].

У ППР-біосенсорах, які вимірюють зазвичайну концентрацію біологічних або хімічних аналітів, сигнал в наслідок якого зв'язування аналіту в елементі біорозпізнавання перетворюється в зміни показника заломлення на поверхні датчика, який з часом модулює характеристики світлової хвилі. Прямиме перетворення (рефрактометричних) в ППР-сенсорах, ознака заломлення аналіту в першу чергу змінює характеристики світлової хвилі, такі як кут і довжина хвилі збудження ППР, інтенсивність, фаза і поляризація випромінювання.

Але для підвищення метрологічних характеристик приладів потрібно покращувати методи обробки. Головними характеристиками ППР-приладів є їхня точність вимірювання, динамічний діапазон, а також роздільна здатність і чутливість.

Точність вимірювання приладів яка залежить від відгуку сенсора  $X$  до даного значення вимірюваної величини  $Y$  може бути представлено через передаточну функцію  $F$ ,  $X = F(Y)$ , що визначається з теоретичної моделі сенсора або за результатами його калібрування.

Межею детектування визначається роздільна здатність, котра визначається рівнем шумової доріжки вимірюваного сигналу. Тому потрібно знайти основні джерела шуму, які безпосередньо знаходяться в приладі. Інтенсивність відбитого світла є основним інформативним сигналом в мінімумі резонансної кривої, тому рівень шумової доріжки визначається саме за шумом в сигналі інтенсивності відбитого світла. Світло, яке йде крізь елементи оптичної схеми приладу, збільшує шумову складову внаслідок геометричних параметрів і оптичних коливань цих елементів. Якщо розглядати складові елементи оптичної схеми, котрі мають найбільший вплив на рівень шуму вимірюваного сигналу, а тими елементами є джерело збудження поверхневих плазмонів в тонкій металевій плівці та фотоприймачі, що вимірюють інтенсивність відбитого світла.

За схемою Кречмана чутливість ППР-приладів з призмовим збудженням в конфігурації сканування кута з механічною розгорткою (у рідкому і газподібному середовищах) при фіксованій довжині хвилі визначається як відношення між зсувом кута мінімуму характеристики відбиття (резонансного кута)  $\Delta\theta_{\min}$  та зміною ПЗ аналізу  $\Delta Na$ , котра викликала цей кутовий зсув [3].

У ППР використовуються чисельні методи розрахунку такі як центроїдний метод, поліноміальна підгонка з аналітичним розрахунком поліноміального мінімуму.

Центроїдний метод використовує для перерахунку матриці відстаней[4]. Це відстані між двома кластерами і в даному методі береться відстань між центрами тяжіння.

Відстані між кластерами як у методі Уорда береться приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів, що отримується в результаті їх об'єднання[5]. Відмінно від інших методів кластерного для оцінки та аналізу відстаней між кластерами, використовувався метод дисперсійного аналізу. Два кластери з'єднувалися на кожному кроці алгоритму, через які відбувається збільшення мінімальної цільової функції, тобто внутрішньо групової суми квадратів. Даний метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів.

В проведених роботах в яких досліджувався ступень впливу полінома на похибку визначення мінімуму при довжині хвилі 650 нм за допомогою апроксимації. Зазначено, що найбільш надійним і простим для апроксимації є поліном 2-го порядку, але при несиметричності кривої ППР задовільні результати можна встановити лише при значному обмеженні (до 5%) висоти ділянки апроксимації.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В останні роки розробили ще один метод визначення резонансного кута – метод середньої лінії [6]. Суть методу полягає у визначенні резонансного кута як точки перетину осі кутів падіння та лінії, що проходить через середини відрізків, котрі сполучають еквірівневі точки по осі інтенсивності відбитого світла, котрі розташовані на схилах резонансної характеристики  $I(\theta)$  в діапазоні кутів повного внутрішнього відбивання.

Було порівняно два методи визначення точного положення резонансного кута, а саме: метод середньої лінії і метод апроксимації поліномами 2-го та 3-го ступенів відповідно до методики описаної в [7]. Оцінка впливу математичних методів на величину абсолютної похибки проводилася за допомогою побудови теоретичної резонансної характеристики для багатошарової системи "скло-метал-аналіт" та р-поляризованого монохроматичного випромінювання. Характеристика відбиття  $I(\theta)$  була розрахована як функція кута падіння за допомогою формул Френеля та математичного формалізму матриць розсіювання Джонса [8] за методикою описаною у роботі [9].

Результати моделювання показали, що в методі апроксимації поліномом величина похибки зростає зі збільшенням довжини хвилі збудження (Рис.1.), що пов'язано з непараболічністю характеристики відбиття  $I(\theta)$ .

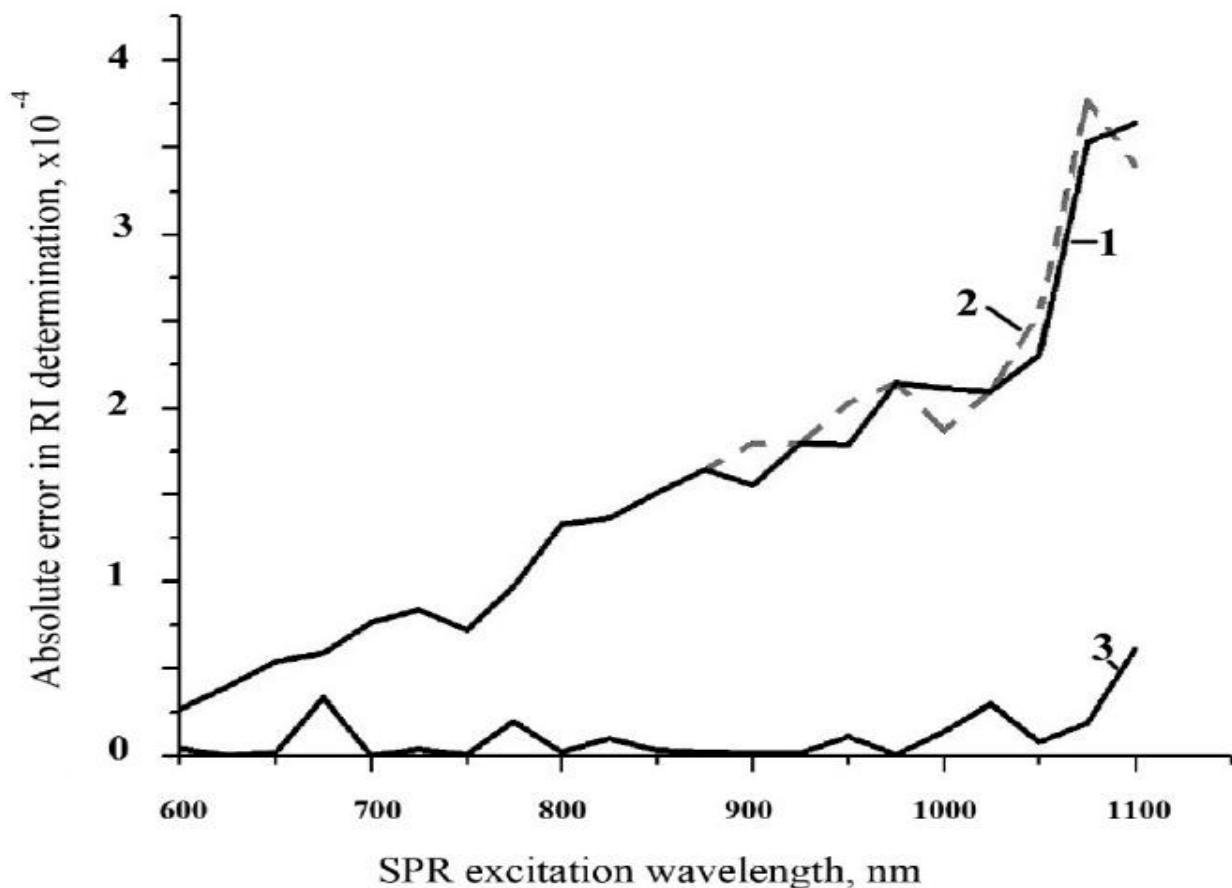


Рисунок 1. Залежність абсолютної похибки від довжини хвилі для методу середньої лінії (3), та методом апроксимації поліномами 2-го (1) та 3-го (2) ступенів[6].

## ВИСНОВКИ

В ході аналізу великої кількості робіт можна зробити висновок, що запропонований в роботі [6] метод середньої лінії є найбільш досконалим адже він забезпечує значення абсолютної похибки в 6 разів нижче, ніж у методі апроксимації поліномом. Найбільш поширеним джерелом збудження поверхневих плазмонів є лазери. Характеристика відбиття – це залежність інтенсивності відбитого світла лазера від кута падіння цього світла на поверхню ЧЕ в діапазоні кутів, більших за кут ПВВ на межі поділу середовищ чутливий

елемент-аналіт, тому найбільший позитивний ефект був досягнутий для двох довжин хвиль 700 і 970 нм, що, ймовірно, пов'язано з формою характеристик відбиття.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Nuno Miguel Matos Pires, Tao Dong , Ulrik Hanke, Nils Hoivik. Recent developments in Optical detection technologies in Lab-on-a-Chip devices for biosensing applications // *Sensors* **2014**, *14*, 15458-15479; doi:10.3390/s140815458
- [2] Jonsson U., Ivarsson B., Fagerstam L. Real-time biospecific interaction analysis using surface plasmon resonance and a sensor chip technology // *BioTechniques*. – 1991. – Vol.11 – P.620-627.
- [3] Shalabney, A. Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors [Text] / I. Abdulhalim, A. Shalabney / *Laser Photonics Rev.* – 2011. – Vol. 5, No.4. – P. 571-606.
- [4] «Sneath P.H.A., Sokal R.R.» Numerical taxonomy: The principles and practices of numerical classification. — San-Francisco: Freeman, 1973. — 573 p
- [5] «Ward J.H.» Hierarchical grouping to optimize an objective function // *J. of the American Statistical Association*, 1963. — 236 p.
- [6] *Ushenin Yu.V., Dorozinsky G.V., Maslov V.P. et al.* New method for determining the angular position of the light reflection intensity minimum observed in surface plasmon resonance // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*.- 2017.-**3**, N 3.-P. 1514-1518.
- [7] *Dorozinsky G.V.* Analysis of main errors in measurements of the analyte refraction index by using the device “Plasmon-6” // *East European Scientific Journal*.-2016.-**5**.-P. 54-61.
- [8] *Azzam R., Bashara N.* Ellipsometry and polarized light // Moscow, “Mir”, 1981, 583 p.
- [9] *Chegel V. I.* Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> structures using surface plasmon resonance spectroscopy // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*.- 2001.-**4**, N 4.-P. 301-306

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Маслов В.П.*

УДК 612.37:621.391

О.В. Коляда, студент групи ПН-81мп, к.т.н. Маркін О.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ З ПОПІКСЕЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ ЗОБРАЖЕНЬ

**Анотація** Багато галузей техніки, що мають відношення до отримання, обробки, зберігання та передачі інформації, в значній мірі орієнтуються в даний час на розвиток систем, в яких інформація має характер зображень і відео даних. Моніторинг екологічного стану поверхні землі та водойм не є виключенням. На теперішній час екологічна безпека є найактуальнішою наукою для кожного, адже первісний стан ґрунтів, лісів та водойм це майбутнє наших нащадків та людства в цілому. Для досягнення жорсткого контролю та створення беззаперечної бази фотознімків зі сканованих поверхонь необхідно розробити інформаційно-вимірнювальну систему екологічного моніторингу з по піксельною обробкою зображень. Недоліком роботи з інформаційно-вимірнювальна система екологічного моніторингу з по піксельною обробкою зображень є низька якість зображень з супутника.

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, піксель, зображення.

### ВСТУП

На сьогоднішній день проблема екології є актуальною в світі. Однією з таких проблем є забруднення води, а саме океанів, морів та річок. До таких проблем також відносяться незаконні викиди, аварії на підприємствах, забруднення великих масштабів. Однією зі складових є забруднення нафтою. Викид нафти є згубним для життя океану і несе за собою погані наслідки. Нафта має плівку, яка рветься і перетворюється в кульки, які осідають на дно і забруднюють його.

### МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: в даній роботі буде розглянуто космічна інформаційно-вимірнювальна система, на скільки якісно вона передає інформацію у вигляді знімка.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Структурна схема інформаційно-вимірнювальної системи складається з трьох основних вузлів: по- перше, оптичної телескопічної системи (супутника), по-друге, програмним забезпеченням для отримання масиву інформації за зображенням та її аналітичним дослідженням, по- третє, еталоном топологічних елементів та розмірів. Хочемо зазначити, що дана інформаційно-вимірнювальна система дозволить визначити наявність або відсутність нафтових плям або інших непритаманних речовин для водойм за інформаційним аналізом випромінювання об'єкту дослідження; наявність або відсутність лісових насаджень на пожеж на їх території, роботу гірських комбінатів та масштаби їх роботи та інше.

Пропонуємо обрати супутник від компаній Google, хочемо зазначити, що даний супутник є цивільним і загально доступний всім. Так само компанія Google надає свій софт де можна досліджувати місцевість і робити знімки місцевості, що є однозначною перевагою.[1-2]

Для покращення якості зображення необхідно застосовувати ряд методів обробки зображень. Найбільшого застосування отримали наступні алгоритми цифрової обробки зображень: контрастне масштабування, зміна гістограм,

накладення шумів, медіанна фільтрація, морфологічна обробка і виділення кордонів областей. Для побудови системи обрано загальнодоступний супутник компанії Google «Worldview-3». Це перший комерційний космічний апарат, який здатний виконувати зйомку земної поверхні (рис. 1) з роздільною здатністю в 31 см в панхроматичному режимі і 1,24 метра в мультиспектральному режимі, а також 3,7 метри в короткохвильовому інфрачервоному режимі. Час повторної зйомки становить менше одного дня. Точність геопозиціонування даних складає 6,5 м (СЕ90) або 4 м (СКП) без додаткової корекції планових координат по наземним опорним точкам.[3]



Рисунок 1 – Зображення вулкан Везувій супутником **Worldview-3** (x 20000)

В таблиці 1 написані характеристики супутника **Worldview-3**.

Таблиця 1 характеристики супутника **Worldview-3** [4]

<b>Тип даних</b>	Оптичні
<b>Режим зйомки</b>	Моно і стерео зйомка
<b>Спектральні канали</b>	панхроматичний мультиспекральні: VNIR (8), SWIR (8), CAVIS (12)
<b>Просторова роздільна здатність в надирі, м</b>	0,31 (панхроматичний) 1,24 (мультиспекральні VNIR) 3,7 (SWIR) 30 (CAVIS)
<b>Динамічний діапазон, біт / піксель</b>	11(панхроматичний / мультиспекральні) 14 (SWIR)
<b>Ширина смуги зйомки в надирі, км</b>	13,1 (VNIR); 10,8 (SWIR); 14,8 (CAVIS)
<b>Період повторної зйомки</b>	<1 с дозволом 1 м 4,5 с відхиленням від надирі 20 градусів або менше
<b>Продуктивність зйомки</b>	680 000
<b>Отримання стереопари</b>	стереозйомка на одному витку



Розглянемо ще один супутник, під назвою **КОМPSAT-3**, яка використовує компанія Satrec Initiative Imaging Services (Південна Корея). Переваги цього супутника є:

1. Унікальне співвідношення характеристик, якості і ціни;
  2. Єдиний понад високо детальний супутник з динамічним діапазоном зйомки 14 біт / піксель;
  3. Можливість публікації даних в інтернеті;
  4. Унікальне (денний) час прольоту супутника.
- На рис. 2 зображено знімок міста Барселона.

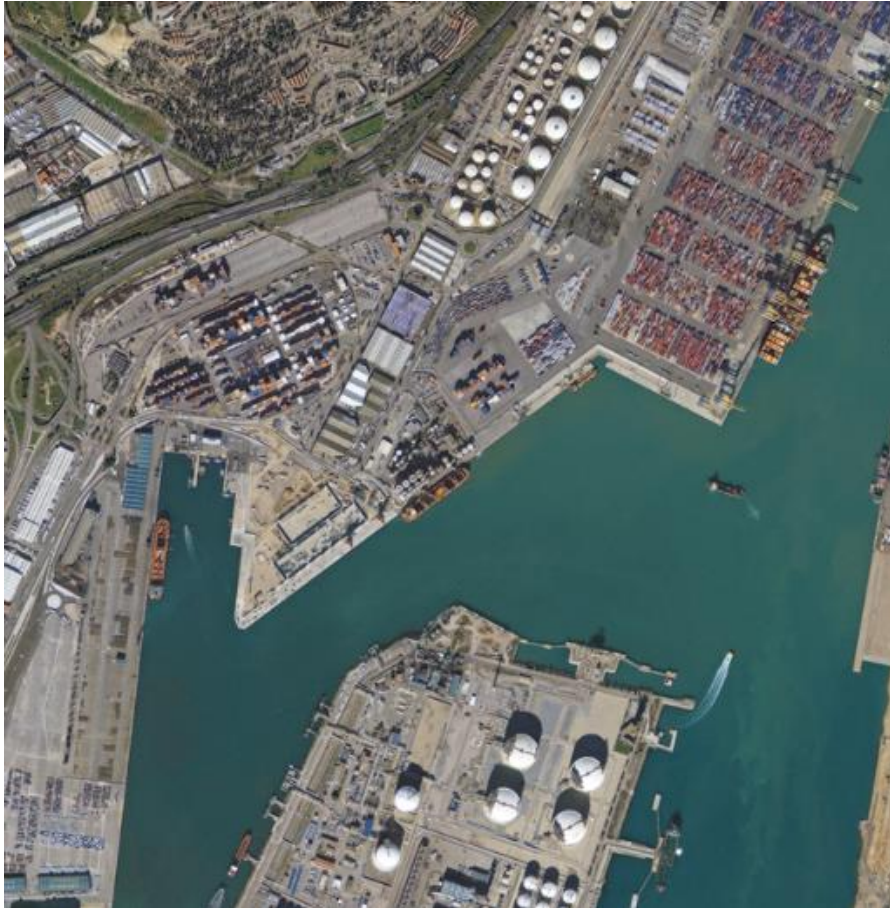


Рисунок 2 – Зображення місто Барселона супутником КОМPSAT-3 (x 20000)

В таблиці 2 написані характеристики супутника КОМPSAT-3.

Таблиця 2 характеристики супутника КОМPSAT-3.[5]

<b>Оператор</b>	Satrec Initiative Imaging Services (П. Корея)
<b>Стартовий майданчик</b>	Tanegashima
<b>Дата запуску</b>	17 травня 2012 р.
<b>Маса, кг</b>	980
<b>Орбіта</b>	Сонячно-синхронна
<b>Висота, км</b>	685
<b>Стан</b>	Працюючий
<b>Термін експлуатації</b>	4 роки

## **ВИСНОВОК**

Космічна інформаційно-вимірювальна система являється дуже популярної та актуальної темою, вона охоплює широкий спектр проблематики природних катастроф та забруднення еко систем. За допомогою цієї системи можна легко відстежити любу точку або поверхню земної кулі. Моніторинг екологічного стану поверхні землі та водойм не є виключенням. На теперішній час екологічна безпека є найактуальнішою наукою для кожного, адже первісний стан ґрунтів, лісів та водойм це майбутнє наших нащадків та людства в цілому. Для досягнення жорсткого контролю та створення беззаперечної бази фотознімків зі сканованих поверхонь необхідно розробити інформаційно-вимірювальну систему екологічного моніторингу з по піксельною обробкою зображень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.**

- [1] Боїв В.М. Антропогенне забруднення навколишнього середовища і стан здоров'я населення Східного Оренбуржя , М.Н. Воляник. Оренбург: УрО РАН, 1995. 127 с
- [2] Оцінка кількості розлитої нафти на акваторії Каспійського промислу «Нафтові камені» за даними багато частотного радіолокаційного зондування, А. Г. Боев, А. Я. Матвеев.
- [3] <http://www.si-imaging.com>
- [4] <http://www.scanex.ru/data/satellites/worldview-3/>
- [5] <http://www.scanex.ru/data/satellites/kompsat-3/>

*Наук. керівник – к.т.н., Маркіна О.М.*



УДК 543.271

Коченовська О. П., студентка гр. ПН-з51, к.т.н., доц. Маркіна О.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВИМІРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАДНОГО ГАЗУ В ВИКИДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу особливостей конструювання вимірювача концентрації чадного газу в викидах автомобільних бензинових двигунів. Розглянуто основні забруднювачі із стаціонарних та динамічних джерел викидів. Найпоширенішим динамічним джерелом визнано автотранспорт, тому увага у статті приділена саме аналізатору чадного газу.

**Ключові слова:** аналізатор, чадний газ.

### ВСТУП

Моніторинг повітряної суміші є обов'язковою складовою національної безпеки кожної держави. Частіше за все її поділяють на дві складові. Перша включає чинники природнього походження. Друга об'єднує техногенні чинники виникнення забруднень повітряної суміші. Хоча є справедливим твердження, що ці дві складові існують тісній взаємодії.

Втручання людини в природні процеси творення ореолу життя, утворення чистого повітря, води й ґрунтів може призвести до процесів руйнування й неможливості природи оновитися самостійно. Тому людству необхідно навчити своє населення не забруднювати повітря. І це має відбуватись скрізь. До найбільш поширених газових забруднювачів атмосферного повітря відносяться: оксид вуглецю (CO), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), оксиди азоту (NO, NO<sub>2</sub>), вуглеводні (ΣC<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) [1-4].

В таблиці 1 наведені співвідношення викидів основних забруднювачів стаціонарних джерел нашої держави за показниками виробництв.

Таблиця 1 – Викиди основних забруднювачів із стаціонарних джерел України

Галузь економіки	Загальні викиди, тис. т.	Частка від загального викиду, %				
		Усі забруднювачі	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	ΣC <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК)	1389,4	35,1	4,6	58,2	5,4	0,7
Обробна промисловість	1429,2	36,1	6,3	30,3	1,9	3,2
Добувна промисловість	950,9	24,0	6,2	4,3	8,5	8,2
Інші галузі	189,9	4,8	1,9	7,2	4,2	7,9
Усі галузі економіки	3959,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

### ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАДНОГО ГАЗУ

Найпоширенішим динамічним джерелом в нашій державі визнано - автотранспорт, він зв'язаний з процесами одержанням енергії в різних формах.

На автомобілях, тракторах, будівельних і дорожніх машинах джерелами механічної енергії є двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). При технічній експлуатації таких двигунів викидається ряд шкідливих для людини і навколишнього середовища речовин. Це приводить до того, що в місцях, де широко використовуються машини з ДВЗ, спостерігається підвищення забруднення атмосфери, ґрунту, водойм. Інтенсивний розвиток автомобілебудування сприяв значному по своїх наслідках забрудненню повітря відпрацьованими газами, особливо небезпечному в міських промислових центрах, а також у районах транспортних артерій. В даний час автомобільний транспорт значно впливає на рівень забруднення повітря великих міст і населених пунктів. Небезпека впливу відпрацьованих газів автомобілів збільшується ще і тому, що їхні шкідливі компоненти здебільшого викидаються в атмосферу безпосередньо на заселених територіях, де природний обмін повітря обмежений внаслідок щільної забудови.

Як видно з описаного вище, конструювання та розробка є аналізатора СО, що забезпечить безперервний автоматичний контроль вмісту СО в викидах транспортних засобів та видачу інформаційного сигналу про наявну концентрацію цього газу в викидах, з метою контролю концентрації цього газу є надзвичайно актуальною.

Хочемо зазначити, що високу чутливість і селективність серед методів аналізу повітряної суміші є абсорбційний метод у поєднанні з проведенням вимірювань концентрацій шкідливих речовин в інфрачервоній області спектру випромінювання.

Процес поглинання інфрачервоних хвиль спектру випромінювання можливе через властивість молекулярної структури об'єкту дослідження та характеру молекулярних хімічних зв'язків. Застосування вузькосмугових фільтрів дозволяє виокремлювати з загального спектру випромінювання необхідну довжину хвилі, що значно підвищує точність вимірювання.

Здатністю поглинати ІЧ випромінювання володіють гази, молекули яких складаються з двох, чи більшого числа рівноелементних атомів іонів СО.

Принцип роботи аналізатору: у вимірювальну кювету надходить аналізуєма газова суміш. Конструкція спроектована двосекційною. У першій секції розміщено джерело інфрачервоного випромінювання, в другій секції розташовано приймач. Повітряна газова суміш, що аналізується, поглинає інфрачервоне випромінювання. Так за різницею випроміненого та прийнятого сигналу можна обчислити концентрацію досліджуваного компонента за законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-z_\lambda c l} = \Phi_0 e^{-D}, \quad (1)$$

де  $\Phi_0$  - інтенсивність світлового потоку;

$\Phi$  - інтенсивність світлового потоку після проходження шару речовини;

$z_\lambda$  - коефіцієнт поглинання;

$c$  - концентрація газу;

$l$  - товщина шару;

$D$  - оптична густина речовини.

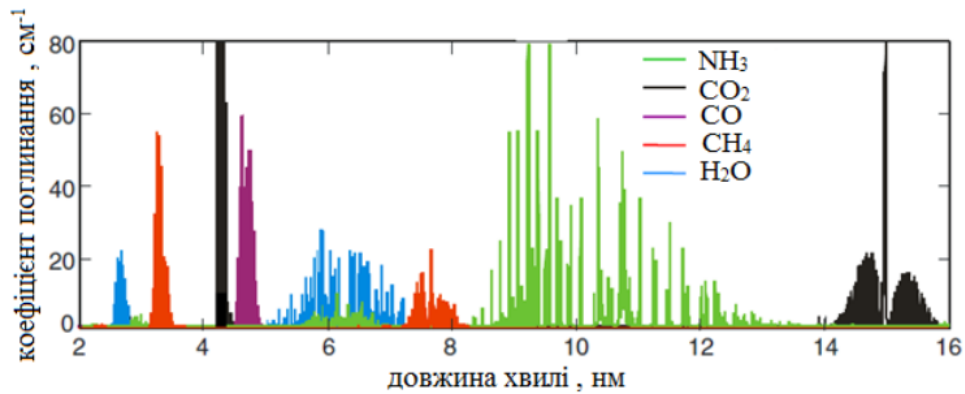


Рисунок 1 – Спектри поглинання газів в інфрачервоному діапазоні [4].

Тому необхідно забезпечувати аналізатор вимірювання концентрації чадного газу спеціалізованими фільтрами вузького спектру випромінювання. Найвища точність вимірювання буде досягнута на максимумі спектральної характеристики випромінювання чадного газу.

У якості джерела інфрачервоного випромінювання в аналізаторах використовуються відкриті або ізольовані від навколишнього середовища провідники, що нагріваються електричним струмом, з металів, що слабоокислюються, і сплавів, таких як ніхром, платина та ін. Температура відкритого джерела частини, що нагрівається, лежить у межах 800-1000 К. Для ізольованих джерел температура може бути набагато вище, 1200-1800 К. У нашому випадку найбільш придатним є джерело випромінювання з нагрівальним елементом з ніхромового дроту, на який гальванічним способом нанесено чорне покриття.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дашковский А.А., Колотуша С.С., Максименко Ю.Н., Сычев Г.М. «Современные приборы контроля загрязнения атмосферного воздуха» // «Аналитические и экологические приборы, приборы для научных исследований». – М.- 1990.- вып.1.- 48 с.
- [2] Смирнова В.Г. «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища». – К : Атмосфера. – 2001.- 145 с.
- [3] Дашковский А.А., Колотуша С.С., Коробейник А.В., Максименко Ю.Н. «Инфракрасные абсорбционные газоанализаторы», «Приборы, средства автоматизации и системы управления». «Аналитические приборы и приборы для научных исследований». – М.-1990. - вып.1. - 64 с.
- [4] Розроблення високочутливих оптичних сенсорів шкідливих газів SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> та CO<sub>2</sub> на основі рідкокристалічних речовин, допованих вуглецевими нанотрубками [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://lp.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2017/4643/diser.pdf>

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

## УДК 531.7

*К.А. Морозов, студент гр. ПН-п81, к.т.н., доц., О.М. Маркіна*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОДВИГУНА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ**

**Анотація.** В статті наведено результати побудови інформаційно-вимірювальної системи контролю переміщень у мікрометричному діапазоні та результати тестування основного вузла системи, що забезпечує переміщення, а саме п'єзодвигуна. За допомогою експериментальних даних виконали розрахунки швидкості двигуна, спираючись на які зроблено висновок, що використання даного п'єзодвигуна у телевізійній інформаційно-вимірювальній системі для визначення переміщень у мікронному діапазоні можливе.

**Ключові слова:** параметри п'єзодвигуна, мікропереміщення.

#### **ВСТУП**

Актуальність створення телевізійних засобів вимірювання у мікронному діапазоні обумовлена розвитком сучасних технологій і виробництва. Саме такі системи дають змогу проводити вимірювання геометричних параметрів і переміщень об'єктів у мікронному діапазоні.

Перед сучасним приладобудуванням поставлена задача створення нових потужних і не дорогих вимірювальних систем для безконтактного визначення геометричних розмірів та переміщень об'єкту у мікронному діапазоні, контролю якості і шорсткості поверхні.

Виробництво потребує нових технологічних рішень адже стан багатьох сучасних технологій визначається науковим і технічним рівнем засобів вимірювання. Більшість з яких основані на оптичних методах. Телевізійна інформаційно - вимірювальна система (ТІВС) для визначення переміщення об'єкту у мікронному діапазоні також основана на оптичних методах, але у поєднанні з телевізійною камерою, що дає можливість визначення розміру і переміщення за малий час, з високою точністю.

#### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

До структури телевізійної системи для визначення мікропереміщень входять: оптичний мікроскоп з підсвічуванням, відеокамера Novus з ПЗЗ-матрицею, п'єзодвигун з пультом керування, ПК з програмою відео захвату (рис.1). У запропонованій телевізійній інформаційно - вимірювальній системі елемент, що виконує переміщення це п'єзодвигун. Тому очевидно, що постало питання, експериментально дослідити параметри сигналу, що поступають на п'єзодвигун при різних швидкісних режимах.

Визначимо переміщення, яке може виконати п'єзодвигун за одиницю часу  $t$  при різних швидкостях. Для цього до мікросхеми п'єзодвигуна було підключено осцилограф фірми Tektronix, що надало можливість проконтролювати параметри сигналу, що виходять з мультівібратора (модулятора) низьких частот.

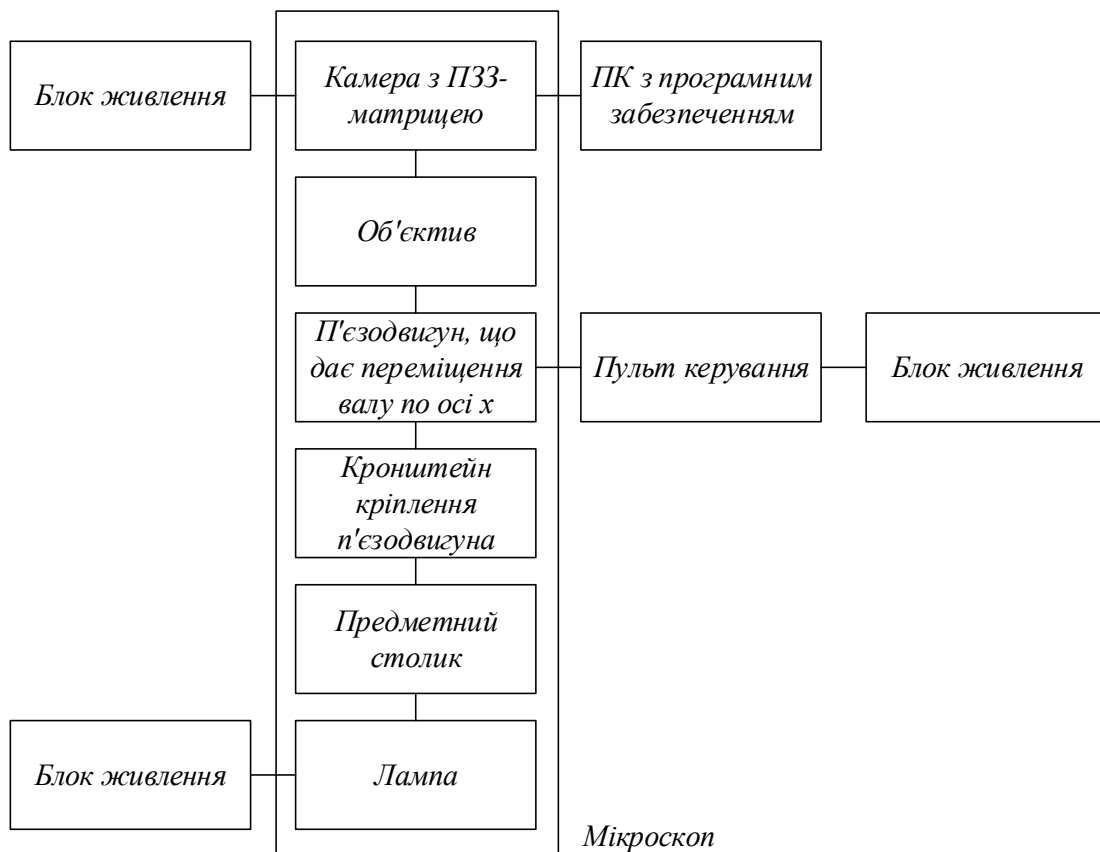


Рис.1 - Структурна схема телевізійної інформаційно - вимірювальної системи для визначення мікро переміщення

П'єзодвигун, який тестували може працювати з різною швидкістю, що дало змогу виконати поставлену задачу, а саме визначити параметри п'єзодвигуна на різних швидкостях роботи  $V_1$  і  $V_{\min}$ .

Початкове положення двигуна на валу відносно краю корпусу дорівнює  $L_1 = 52,2$  мм. Час початку переміщення двигуна з початкового положення двигуна  $t_1 = 18:54:28$ . За допомогою осцилограми визначаємо, що за 10 секунду проходить 17 повних коливань, а це говорить нам про значення частоти сигналу  $f = \frac{10}{17} = 1,7$  Гц. Період коливань сигналу рівний  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,7} = 0,588 \approx 0,6$  с.

В момент часу  $t_2 = 19:02:48$  положення двигуна на валу відносно краю корпусу дорівнювало  $L_2 = 28,9$  мм. Знайшли переміщення двигуна, яке рівне  $\Delta L = L_1 - L_2 = 52,2 - 28,9 = 23,3$  мм. А також визначили час, за який було здійснено переміщення  $\Delta L$  за формулою  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

$$\Delta t = (19 \cdot 3600 + 2 \cdot 60 + 48) - (18 \cdot 3600 + 54 \cdot 60 + 28) = 68568 - 68068 = 500 \text{ с.}$$

Числове значення швидкості, з якою пересувався двигун по валу рівне:

$$V_1 = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{23,3}{500} = 0,0466 \approx 46,6 \mu\text{м/с} \quad (1)$$

Якщо отриману швидкість поділи на значення частоти, то ми отримаємо переміщення двигуна за один імпульс також цю довжину називають шириною імпульсу. Визначаємо за формулою:

$$l_{имн}(V_1) = \frac{V_1}{f} = \frac{46,6}{1,7} = 27,4 \mu\text{м}/\text{имп} \quad (2)$$

За допомогою експериментальних даних виконали розрахунки при швидкості двигуна  $V_{\min}$ .

Положення двигуна на валу відносно краю корпусу на початок експерименту рівне  $L_1 = 27,5$  мм. Час початку переміщення двигуна з початкового положення двигуна  $t_1 = 19:07:20$ . Частота сигналу і період коливань сигналу мають ті ж значення, що у попередніх розрахунках  $f = 1,7$  Гц,  $T = 0,588 \approx 0,6$  с.

В момент часу  $t_2 = 20:02:40$  положення двигуна на валу відносно краю корпусу дорівнювало  $L_2 = 27,7$  мм. Знайшли переміщення двигуна, яке рівне  $\Delta L = L_1 - L_2 = 27,7 - 27,5 = 0,2$  мм. А також визначили час, за який було здійснено переміщення  $\Delta L$  за формулою  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

$$\Delta t = (20 \cdot 3600 + 2 \cdot 60 + 40) - (19 \cdot 3600 + 7 \cdot 60 + 20) = 72160 - 768840 = 3320 \text{ с.}$$

Визначили числове значення мінімальної швидкості, з якою пересувався двигун по валу:

$$V_{\min} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{0,2}{3320} = 6,02 \cdot 10^{-5} \approx 0,0602 \mu\text{м}/\text{с} \approx 60,2 \eta\text{м}/\text{с} \quad (3)$$

Визначимо ширину імпульсу при мінімальній швидкості двигуна за формулою 2:

$$l_{имн}(V_{\min}) = \frac{V_{\min}}{f} = \frac{60,2}{1,7} = 35,4 \eta\text{м}/\text{имп} \quad (4)$$

## ВИСНОВКИ

Використання даного п'єзодвигуна у телевізійній інформаційно-вимірювальній системі для визначення переміщень у мікронному діапазоні можливе.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] С.Ф. Петренко, «Спосіб формування кутових мікропереміщень вала п'єзоелектричного двигуна та п'єзоелектричний двигун, що його реалізує. Патент України №67848 від 05.12.2001, м. кл. Н 02 №2/00.
- [2] С.Ф. Петренко П'єзоелектричний двигун. Патент України 57161 від 24.05.201, м. кл. Н 02 №2/00
- [3] С.Ф. Петренко Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К.: Корнійчук, 2002. – 95с.

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

**УДК 542.85; 665.765**

*К.Я. Мушкет, студент гр. ПН-61-1, Д.С. Мельниченко студент гр. ПН-61-1,  
Оверчук А.Я. студент гр. ПНз-61,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**Анотація.** В роботі представлено методику визначення ефективності сонячних елементів за рахунок одночасного вимірювання залежності довжини хвилі падаючого на площину панелі випромінювання і його щільності від отриманих напруги, струму та характеру вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячного елемента. Були проведені виміри на прикладі двох сонячних елементів на довжинах хвиль випромінювання від 383 до 840 нм при зміні щільності світлового потоку від 3 до 12 мВт/см<sup>2</sup> з подальшою реєстрацією потужності світла від різнокольорових світлодіодів. В процесі вимірювань було встановлено залежність напруги, отриманої від сонячного елемента для різної оптичної щільності та довжини хвилі випромінювання.

**Ключові слова:** сонячні елементи, щільність світлового потоку, ефективність перетворення, світлодіоди, вимірювач потужності.

## **ВСТУП**

Сонячні елементи, різної будови та розмірів, займають значну частину в виробництві «зеленої» електроенергії. Причому початкові затрати на встановлення даних засобів виробництва електроенергії в багатьох державах компенсуються за рахунок компаній які виробляють електроенергію із традиційних не відновлювальних джерел. Так, наприклад в США, вклад енергогенеруючих компаній вже перевищує 50% на поставку обладнання «зеленої енергетики» в особистих будівлях [1].

В Україні, згідно 5 річного плану розвитку зеленої енергетики на 2015-2020 рр., можливо взяття вигідного кредиту для побудови сонячної станції, враховуючи оплату виробленої електроенергії яку ви реалізуєте державі за, так званим, «зеленим тарифом» [2]. В багатьох населених пунктах держави будують заводи по виготовленню сонячних панелей. Так наприклад в Вінниці, вже декілька років працює виробництво по виготовленню сонячних панелей в промислових масштабах. Причому українські виробники мають можливість реалізації усього технологічного процесу виготовлення сонячних елементів – від вирощування кремнію для виготовлення сонячних елементів до монтажних та електротехнічних робіт що забезпечують виготовлення робочого комерційного продукту [3]. Тому актуальним стає перевірка якості сонячних елементів, оптимізація їх захисного покриття саме для того щоб пропустити найбільш ефективну частину спектру для одержання максимальної потужності.

## **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Кількісний вихід електроенергії залежить від щільності спожитого сонячним елементом випромінювання, тому сонячних елементів з відносно малою площею ефективною поверхні поглинання є доцільним підвищення цього параметру [4]. В нашому досліді зроблено порівняння двох сонячних елементів для того, щоб дослідити в яких напрямках потрібно вести роботу з метою підвищення енергоефективності сонячних елементів.

Для розробки методів контролю та отримання експериментальних результатів використовувалися панелі Китайського виробництва «Solar Panel GH95X95» Для здійснення роботи нами використовувався вимірювальний

прилад «Мультиметр Unit-T UT33 + Series» та лінійка зі світлодіодами на 5-ти довжинах хвиль: 840нм, 630нм, 553нм, 470нм та 383нм. Потужність світлового потоку світлодіодів змінювалася від 1 до 2 Вт та контролювалася за допомогою вимірювача ВПО-11 (свідоцтво про калібрування додається). Загальний вигляд сонячного елемента та стенду для контролю наведено на Рис 1. Вимірювальний стенд включає встановлену лінійку світлодіодів із різними робочими довжинами хвиль та вимірювач ВПО-11, що дозволяє вимірювати потужність світлового потоку.



Рис. 1. Загальний вигляд сонячного елемента з контрольним резистором (а) та стенду для вимірювання потужності світла (б).

Виміряна потужність знаходилася в межах від 1 до 999 мВт на різних довжинах хвиль. Зміна густини світлового потоку була досягнута за рахунок різної відстані між світлодіодами та площиною сонячної панелі. Відстань змінювали від 3 до 10 см, причому зі строгим збереженням кута падіння світлового потоку  $90^\circ$  до нормалі площини сонячного елемента [5].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки стану сонячних елементів ми запропонували метод порівняння вихідної напруги при дії світла з довжиною хвилі від 383 до 840нм, що відповідає діапазону випромінювання природного сонячного світла при дії на перетворювальні елементи виготовлені з кремнію.

На рис.2 приведено вихідні напруги при дії світла з довжиною хвилі 525 нм зі зміною площини променя на сонячному елементі. Вимірювання напруги при дії на перетворювальний сонячний елемент проводилися при різних спектральних лініях випромінювачів. Отже, найбільша напруга була отримана в ближній ІЧ лінії 840 нм, а найменша на 383 нм. Графік залежності двох потужностей на 4-ох довжинах хвиль - наведено на рис 3.

Таким чином можна судити про те, що захисна плівка (полімерної або кристалічної структури) на робочій поверхні кремнієвого елемента повинна насамперед мати найменші втрати саме в інфрачервоній області спектру. Перевірка за такою методикою дозволила порівняти коефіцієнти перетворення



та еквівалентну потужність декількох типів сонячних панелей. Враховуючи відсутність додаткового освітлення (що було досягнуто екрануванням макету), та постійну густину основного світлового потоку на контрольній довжині хвилі проведеної серії із 3-5 вимірювань виявляється достатньо, щоб визначити ефективність сонячного елемента на певній довжині хвилі випромінювання

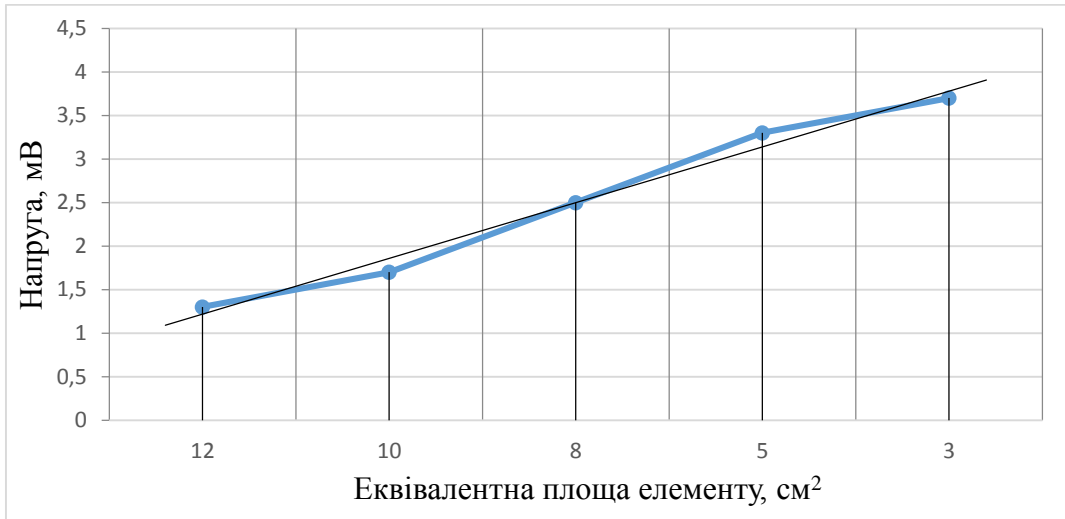


Рис.2 Залежність енергетичного виходу сонячного елемента від густини світлового потоку для довжини хвилі 525 нм.

Отримані результати свідчать про майже лінійну залежність напруги отриманої на виході сонячного перетворювального елемента від густини світлового потоку у видимому діапазоні довжин хвиль світла.

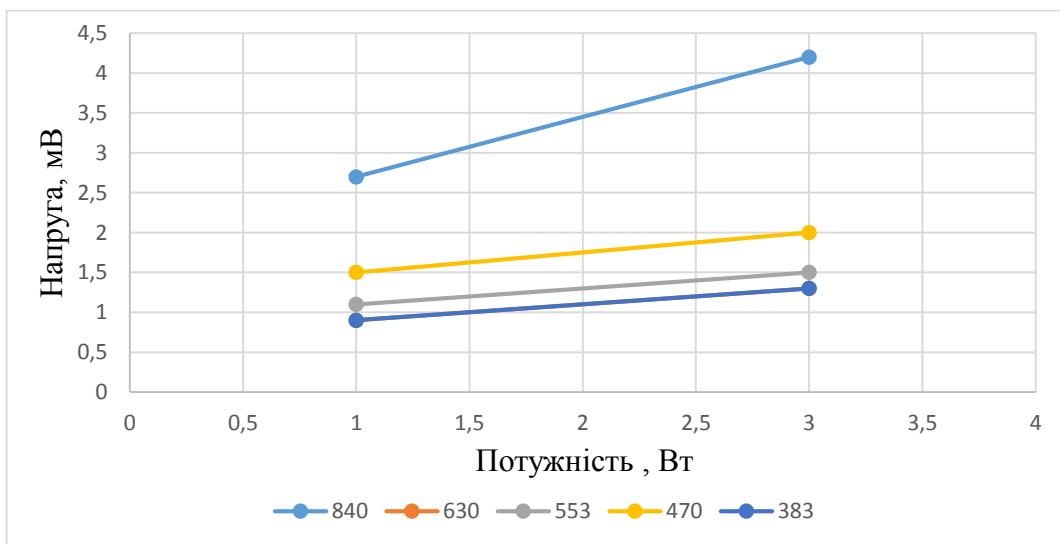


Рис.3 Залежність вихідної напруги сонячного елемента від спектральної густини випромінювання.

Зміна довжин хвиль освітлювачів сонячного елемента одразу довела відмінність вихідної напруги при збереженні густини світлового потоку. Таким чином, проводячи вимірювання напруги при постійному світлі у певному спектральному діапазоні, можна діагностувати як відповідність коефіцієнту перетворення вказаним даних в паспорті на виріб, так і проводити тонку

діагностику та калібрування сонячних елементів із врахуванням спектральної густини світлового потоку.

Це є особливо важливим при визначенні коефіцієнту деградації сонячного елементу, так як відомо, що із часом сонячний елемент втрачає можливість по ефективному перетворенню світлової енергії на електричну. Внаслідок нерівномірної деградації шарів кремнію та його модифікаційних перебудов в кристалі, механічних пошкоджень, вібрацій («розшарування кремнію»), сонячний елемент що був у вжитку буде мати різну ефективну перетворювальну ефективність у різних спектральних діапазонах довжин хвиль. Тому вимірювання залежності енергетичного виходу елементу від спектральної густини світлового потоку дозволяє в повній мірі судити не тільки про інтегральну перетворювальну ефективність елементу, але і про його ефективність в конкретних умовах експлуатації, та, у деяких випадках, навіть дозволяє судити про ступінь і причини пошкодження структури кремнію.

## **ВИСНОВКИ**

Залежність ефективної перетворювальної здатності сонячних елементів від випромінювання фіксованої потужності та спектру дозволяє проводити комплексну оцінку їх енергетичних характеристик. Автоматична фіксація густини світлового потоку із одного боку та наведеної напруги сонячного елементу за допомогою сучасних вимірювачів потужності і напруги дозволяє використання вимірювального каналу контролю із зворотнім зв'язком, що може бути використано при діагностиці перетворювальних характеристик сучасних сонячних панелей в режимі реального часу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Міжнародна енергетична агенція (ІЕА). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/>.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України Про прийняття державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки, Документ 243-2010-п. Редакція від 07.11.2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-%D0%BF>
- [3] Розпорядження Кабінету Міністрів України Про затвердження Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, Документ 605-2017-р. Редакція від 17.08.2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>
- [4] Гременок, В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов /В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с.
- [5] Frid S.E. Multinode models and dynamic testing methods of solar collectors // Solar and Wind Technology. 1990. V. 7. No. 6. P. 655-661.

*Наук. керівник – к.т.н., ст. вик. Таранов В.В*

**УДК 621.383.51**

*М.М. Тарасюк, студент гр. ПН-71мп, В. В. Старовіт, студент гр.ПН-71мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **РОЛЬ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ В СТАЛОМУ РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА ТА НЕОБХІДНІСТЬ МОНІТОРИНГУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ**

**Анотація.** В даній роботі описано необхідність комплексного контролю експлуатаційних параметрів ФЕСБ, а також виявлення та оцінки їх дефектів під час експлуатації.

**Ключові слова:** фотовольтаїка, фотоелектрична сонячна батарея, темновий струм, сталий розвиток.

### **ВСТУП**

В сталому розвитку суспільства важливу роль відіграє енергетика відновлюваних джерел, найважливішим з яких є Сонце. Енергію Сонця використовують для генерації теплової (геліотермальна енергетика) і електричної (фотовольтаїка) енергії. Розглянемо інженерні та наукові аспекти використання фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ) в умовах сталого розвитку.

ФЕСБ давно вже стали частиною міського і сільського ландшафту і максимально наближені до місця проживання і роботи людини. «Гуманність» сонячної енергетики забезпечується відсутністю у неї шкідливих для людини і середовища її проживання факторів.

Головним аргументом на захист широкого застосування ФЕСБ служить їх екологічність, а стримуючим фактором є триразовий розрив в ціні між «сонячним» і традиційним кіловатом. Тренд останніх десятиліть - повільне, але неухильне скорочення згаданого розриву, над подоланням якої трудяться наукові та виробничі кадри світового співтовариства. На наш погляд, вирішення такого важливого завдання, як здешевлення сонячної електроенергії, можуть послужити наукові дослідження, метою яких є збільшення терміну експлуатації ФЕСБ, в тому числі тих, які вже змонтовані на електростанціях. У нашій концепції для продовження експлуатаційного часу необхідно періодично контролювати параметри і характеристики кожної ФЕСБ протягом усього періоду її експлуатації - від покупки до утилізації. Контроль кожної сонячної батареї, що знаходиться в експлуатації, дозволить врахувати фактор короткочасного або тривалого зниження її коефіцієнта корисної дії (ККД) під впливом локального перегріву, а також можливої деградації внаслідок впливу готівки в ній технологічних дефектів, при підключенні до споживача. Це створює умови для найкращого узгодження генерується з навантаженням. Крім того, моніторинг ФЕСБ на предмет їх локального перегріву дозволяє розпізнати і відключити аварійну батарею, щоб уникнути пожежонебезпечного (понад 200 градусів за Цельсієм) розігріву, коли дефектна батарея сама стає навантаженням для інших батарей з масиву.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даного дослідження є обґрунтування необхідності комплексного контролю експлуатаційних параметрів ФЕСБ, а також виявлення та оцінки їх дефектів під час експлуатації. Адаптація вже наявних наукових і виробничих

методів і засобів контролю, а також розробка їх нових варіантів, придатних для умов експлуатації ФЕСБ, дозволить періодично відстежувати їх режим роботи і найкращим чином узгоджувати з навантаженням. Це знизить вплив дефектів на ККД і дозволить продовжити термін експлуатації ФЕСБ, а також вчасно попереджати пожежонебезпечний перегрів аварійних батарей.

Представлені в даній роботі дослідження присвячені ФЕСБ на основі моно-і полікристалічного кремнію, який в наш час є основним матеріалом для генеруючих потужностей сонячної енергетики. Зниження частки кремнію за останні два десятиліття не спостерігається. Кремній, як і раніше є матеріалом, який забезпечує понад 80% світового виробництва ФЕСБ.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомо, що з ростом температури ККД сонячної батареї значно зменшується (приблизно по 4% на кожні 10 градусів). Температура в цілому підвищується через нагрівання сонячним випромінюванням, а також локально - в місцях розташування дефектів внаслідок виділення Джоулевого тепла. Для збільшення відведення поглиненого ФЕСБ тепла в клейовий склад тильної скляної панелі було запропоновано ввести алмазний порошок [1]. Дослідження показали [2], що теплопередача через алмазне клейове з'єднання зросла на 50%, а температура сонячних пластин знизилася на 4 градуси. Даний спосіб боротьби з теплом придатний для тих ФЕСБ, конструкція яких складається з двох скляних панелей і сонячних елементів між ними. Збільшення відведення тепла через полімерну плівку, яка закриває тильну сторону сонячних елементів в більшості конструкцій ФЕСБ, очевидно, вимагає інших рішень.

Було запропоновано використовувати Джоулево тепло для контролю дефектів ФЕСБ, а також для вивчення впливу температури на її експлуатаційні характеристики. З цією метою використовували спеціально розроблене зовнішнє джерело живлення 1000 В, 400 Вт, до якого підключали випробувану ФЕСБ в режимі протікання зворотного темного струму [3-5]. Методом інфрачервоної термографії (ІКТ) спостерігали місця розташування дефектів ФЕСБ, які мали локальний перегрів (Рис. 1).

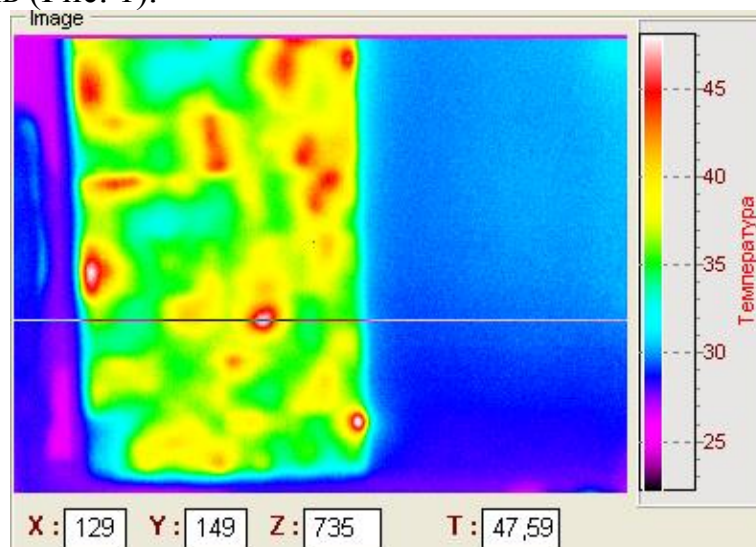
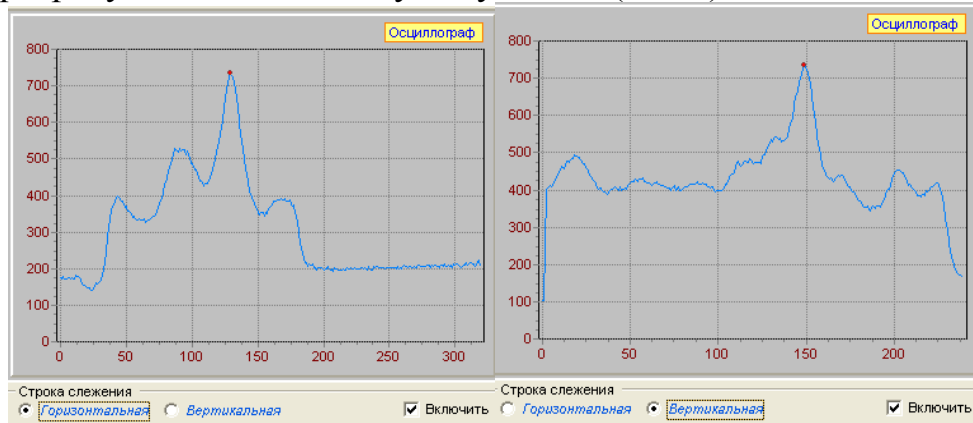


Рисунок 1 – Термограма ФЕСБ з локалізованим дефектом

Об'єктом дослідження була ФЕСБ з полікристалічного кремнію потужністю 60 Вт. Темновий струм пропускали через ліву половину батареї. Дефект з координатами (129; 149) мав температуру 47,59 градусів за Цельсієм. При цьому було подано зворотну напругу 840 В, що забезпечило виділену у вигляді Джоулева тепла потужність 150 Вт. Програмне забезпечення термографа дозволяє проводити вимірювання кордонів дефектів в пікселях, що дає можливість розрахувати його теплову потужність (Рис.2).



а) б)  
Рисунок 2 – Локалізація дефекту по горизонталі (а) та вертикалі (б)

Контрольований нагрів ФЕСБ зворотним темновим струмом від зовнішнього джерела в стаціонарному режимі теплообміну з навколишнім середовищем ліг в основу термографічного способу вимірювання коефіцієнта теплопровідності її клейового з'єднання [6].

Стаціонарний режим теплообміну забезпечувався при цьому за рахунок сталості електричної потужності, що підводиться до сонячній батареї. Похибка способу при цьому склала 5%. Відомо, що сонячним кремнієвим пластинам притаманний технологічний дефект, пов'язаний з появою люмінесцюючих точок під впливом зворотної

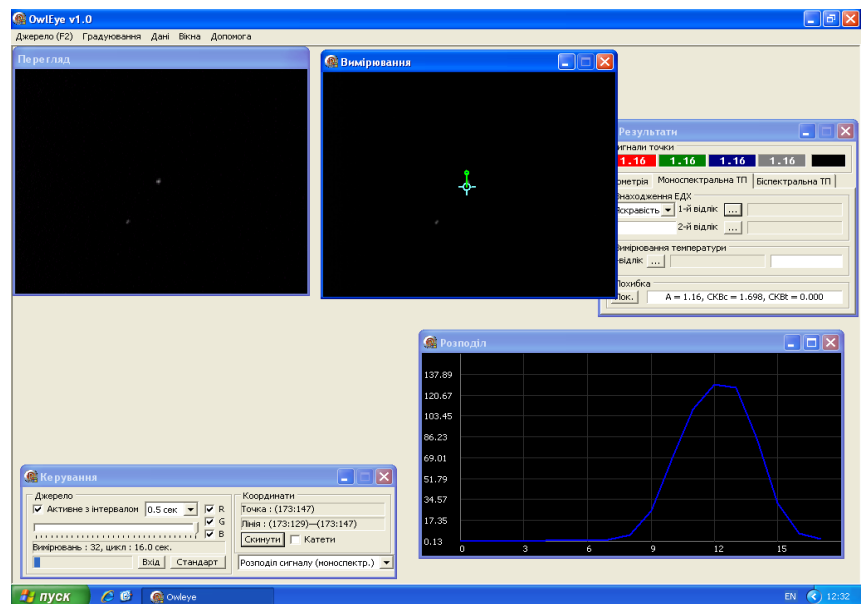


Рисунок 3 – ЕЛД на екрані монітора ТІВС: збільшення 50:1

напруги. Встановлено, що електролюмінесцентні дефекти (ЕЛД) в ФЕСБ порушуються темновим зворотним струмом від зовнішнього джерела за однотипною з ІКТ схемою [7]. Для дослідження ЕЛД було запропоновано [8] використовувати телевізійну інформаційно-вимірювальну систему (ТІВС), яка крім фіксації зображення дефекту дозволяє також виміряти його геометричні параметри (Рис. 3).

Встановлено, що ЕЛД мають форму, наближену до кола. Виміряний за

допомогою ТІВС ЕЛД мав діаметр 5,5 піксель або 27,5 мкм (Рис. 3). ТІВС дозволяє вимірювати параметри ЕЛД не тільки окремих сонячних елементів, а й ФЕСБ без обмеження їх розмірів і потужності. Кількість ЕЛД на одиницю площі ФЕСБ, а також нерівномірність розташування ЕЛД по поверхні є важливою інформацією, що дозволяє оцінити експлуатаційні якості батареї. Складена на основі вимірів карта ЕЛД для ФЕСБ дозволяє оцінити внесок дефектів в зниження ККД батареї від заявленого виробником значення.

## ВИСНОВКИ

Сталий розви ток передбачає високу якість людського життя, що часто не збігається з принципом отримання максимального прибутку, особливо за принципом «зараз і в повному обсязі».

Сонячна енергетика не відповідає принципу отримання максимального прибутку, проте її здатність комфортно уживатися з місцем існування людини роблять її вкрай привабливою для довгострокових інвестицій саме в умовах сталого розвитку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Маслов В.П. Патент на полезную модель (изобретение («Диамант»)
- [2] НИР «Дослідження технологій з'єднання прецизійних деталей електронних приладів» (Договор № 232/27-11, № гос. регистрации 0112U006802)
- [3] 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. Порев // Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – Київ, 2013. – Вип. 46. – С. 56-63. – ISSN 0201-744X, 0321-2211.
- [4] Порев В.А. Термографический контроль солнечных элементов и батарей в режиме стабилизации нагрева темновым током [Текст] / В.А. Порев, В.И. Дунаевский, К.М. Божко // Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. – Москва, 2014. –№2. – С. 57-61. – ISSN 2307-163X.
- [5] Патент України на корисну модель №92797. Спосіб контролю дефектів в сонячних батареях [Текст] / Божко К.М.; заявл. 04.02.2014, оприл. 10.09.2014, Бюл. № 17.
- [6] Патент України на корисну модель № 88447. Спосіб контролю дефектів у сонячних батареях [Текст] / Божко К.М., Маслов В.П., Порев В.А., Качур Н.В., Мотрич І.С.; заявл. 18.11.2013, оприл. 11.03.2014, Бюл. № 5.
- [7] Пахалюк Р.І. Візуалізація дефектів кремнієвих фотоелектричних сонячних батарей [Текст] / Р.І. Пахалюк, К.М.Божко // Вісник НТУ «ХПІ». Харків, 2014. – Вип. 40. – С. 3-7. – ISSN 2079-00XX.
- [8] 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. – Москва, 2014. –№1. – С. 11-14. – ISSN 2307-163X.

*Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Божко К.М.*

УДК 621.307.13

В.В. Тризна, студент гр. ПН-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБ'ЄДНАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА ВИДИМОГО ЗОБРАЖЕНЬ

**Анотація.** Проведений аналіз найбільш ефективних методів об'єднання інфрачервоного та видимого зображень: multi-scale transform-, sparse representation-, neural network-, subspace-, saliency based methods, hybrid model та інші методи.

**Ключові слова:** об'єднання зображень, інфрачервоне зображення, тепловізійний контроль.

### ВСТУП

Тепловізійний контроль дозволяє вирішувати широкий спектр технічних питань, серед яких: спостереження та виявлення дефектів теплоізоляції будинків; виявлення дефектів механічних компонентів обладнання; контроль стану резервуарного парку газових трубопроводів, електрообладнання, технологічних ліній; діагностика та картування лінійної частини магістральних трубопроводів; діагностика електронних плат і мікросхем.

Актуальність наукових розробок в даній галузі зумовлена високою вартістю тепловізійних систем. Для здешевлення тепловізійного контролю, пропонується злиття зображення у видимому і інфрачервоному спектрах.

Основна ідея - візуальне зображення від кольорової відеокамери, що працює у видимому спектрі, рельєфно накладається поверх теплового зображення в інфрачервоному спектрі. Таким чином, одержувана картина значно більш інформативна.

Об'єднання зображень - це техніка вдосконалення, яка спрямована на злиття зображень, отриманих різними типами датчиків, для створення більш інформативного зображення, що може полегшити подальшу обробку або допомогти у прийнятті рішень. Ключами до відмінного методу об'єднання є ефективне вилучення інформації про зображення та відповідні принципи синтезу, які дозволяють витягувати корисну інформацію з вихідних зображень і інтегруватися в злитий образ без введення будь-якого артефакту в процес.

Інфрачервоні і видимі зображення мають різні властивості, створюючи міцні та інформативні об'єднані зображення. Видимі зображення зазвичай мають високу просторову роздільну здатність, значну деталізацію та розрізняють світлотінь; таким чином, вони підходять для візуального сприйняття людини. Однак на такі зображення можуть легко впливати важкі умови, такі як погана освітленість, туман та інші наслідки поганої погоди. Однак, інфрачервоні зображення, які зображують теплове випромінювання об'єктів, стійкі до цих порушень, але зазвичай мають низьку роздільну здатність. Таким чином способи об'єднання для видимих і інфрачервоних зображень можуть використовувати переваги визначення температури об'єкту у інфрачервоному та видимому діапазонах, що покращують функціонал обробки зображення, а це в свою чергу збільшує точність вимірювання температури. Розпізнавання об'єктів, виявлення, покращення зображення, спостереження і дистанційне зондування є типовим застосуванням злиття інфрачервоного і видимого зображень.

Алгоритми синтезу можуть бути розроблені з різними схемами:

- multi-scale transform;
- sparse representation;
- neural network;
- subspace;
- saliency based methods;
- hybrid model та інші методи.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної статті є огляд існуючих методів об'єднання зображень.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Multi-scale transform** методи, засновані на перетвореннях, є найбільш активно використовувані у злитті зображень і передбачають розбиття зображення на різні шари в різних зернах. Ці методи розкладають вихідні зображення на кілька рівнів, зливають відповідні шари з певними правилами і відповідно реконструюють цільові зображення. Популярні перетворення, що використовуються для розкладання та реконструкції, включають wavelet, pyramid, curvelet та їхні перероблені версії.

**Sparse representation** методи працюють на основі можливого представлення зображень з лінійними комбінаціями розріджених базисом у надповних словниках, які є ключовими для їх гарної роботи.

**Neural network** методи імітують поведінку людського мозку у сприйнятті нейронної інформації; Ця процедура має переваги хорошої пристосовуваності, відмовостійкості та шуму.

**Subspace** методи, що базуються на підпросторі, використовують подібні ідеї, але реалізують їх у просторах з повними базами, а не надзаповненими. Основними методами цієї категорії є аналіз основних компонентів Principal component analysis (PCA), неотрицательна матрична факторизація non-negative matrix factorization (NMF) та незалежний аналіз компонентів independent component analysis (ICA). Методи, засновані на виразності, засновані на тому, що візуальна увага людини часто захоплюється об'єктами або пікселями, які є більш значними, ніж їхні сусіди. Крім того, ці способи можуть зберігати цілісність основних областей об'єктів і покращувати візуальну якість поєднаних зображень.

Вищезгадані способи об'єднання інфрачервоного і видимого зображення мають свої переваги і недоліки. Тим часом **hybrid model** поєднують переваги цих схем для поліпшення продуктивності злиття зображень.

Інші методи базуються на повній total variation, fuzzy theory, entropy. Ці методи можуть призвести до нового бачення об'єднання інфрачервоного та видимого злиття зображень, що може стати товчком до проектування нових моделей.



## **НЕДОЛІКИ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ**

Дослідження алгоритмів синтезу в теорії та застосуванні стрімко розвиваються в останні роки. Однак певні проблеми потребують уваги. Вибір методу вилучення інформації є ключовим фактором для забезпечення хорошої продуктивності синтезу. Деякі сучасні підходи, особливо багатовимірні перетворювальні методи, залежать від попередньо визначених перетворень і відповідних рівнів для декомпозиції і реконструкції. Однак для оцінки цих перетворень не використовуються жодні критерії і рівні. Отже, перетворення вибираються сліпо, тим самим погіршуючи продуктивність. Більш того, поточні правила злиття в основному надмірно прості, тому такі прості дефекти зображення як гало, вводяться в результати. Методи в інших категоріях також страждають від декількох проблем. Наприклад, побудова відповідних словників, які мають гарне представлення цільових даних з використанням розріджених методів, що базуються на репрезентації, досить важка задача. Проектування відповідних нейронних мереж та коригування відповідних параметрів залишаються складними. Крім того, застосування сучасних методів глибокого навчання до інфрачервоного та видимого злиття зображень ще не вирішено. Знайти підпростір з потужною виразною здатністю в методах, що базуються на підпросторі, важко. Між тим, розробка методів націлювання на нішу, методів виявлення протишумової чутливості у відповідності з візуальною системою людини та поєднання переваг різних методів створення розширених моделей гібридного злиття є складним завданням та є відкритою проблемою.

## **ВИСНОВКИ**

Інфрачервоне і видиме об'єднання зображень має величезний функціональний потенціал, але сучасні методи не можуть повністю забезпечити отримання інформаційно точного об'єднаного зображення.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] G. Piella A generation framework for multisolution image fusion: from pixels to regions. *Infrared Fusion*, 2003, – 280 с.
- [2] Osamu Ukimura *Image, India*, 2011, – 428с.

*Науковий керівник - к.т.н, доцент Маркіна О.М.*

УДК 543.27

*В.В.Трохимець, студент групи ПН-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОЦІНКА ТА ВИБІР МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПИЛУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ**

**Анотація.** Розглянуто проблеми та джерела забруднення повітря житлових масивів Києва. Проведено дослідження щодо впливу автомобільного транспорту на збільшення концентрації твердих частинок пилу у повітрі. В результаті роботи розглянуто та проаналізовано результати вимірювань та вплив автомобілів на підвищення твердих частинок пилу в повітрі житлових районів Києва.

**Ключові слова:** пил, тверді частинки, концентрація.

### **ВСТУП**

Багатоступеневі підприємства є одним із ключових об'єктів ,що масово забруднюють атмосферу великою кількістю шкідливих речовин. Як наслідок в повітрі утворюються домішки ,які при надходженні в навколишнє середовище, негативно впливають як на організм людини, так і на рослин, тварин та інші екосистеми. В результаті виникає необхідність в обмеженні рівня викидів в атмосферу. Проблема вирішується впровадженням як систем очищення, так і вдосконаленням та використанням дієвих методів детектування. Зокрема до метрологічного забезпечення можна віднести пиломіри, які дозволяють вимірювати відносно точні концентрації речовин. Не дивлячись на спектр можливостей, пиломіри відрізняються за методами виміру, які в свою чергу мають, як переваги в конкретних умовах, так і недоліки які можуть спотворити результат. Тому однією з ключових задач роботи є дослідження основних методів виміру на предмет ефективності в різних умовах та на базі отриманих даних вибрати оптимально кращий метод.

### **МЕТА РОБОТИ**

Основними задачами даної роботи є вибір методу виміру пилу який буде оптимальним для багатоступеневих підприємств та дозволить здійснювати ефективний контроль запиленості.

Для досягнення постановленої задачі необхідно:

1. Проаналізувати існуючі методи виміру та визначити доцільність їхнього використання для вимірювання пилу в робочій зоні
2. Обґрунтування обраного методу;

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для вимірювання пилу в робочій зоні використовують різні методи, що ґрунтуються на різних фізичних явищах. Пропонується класифікація методів детектування пилу:

- 1.Гравіметричний(ваговий) метод. Методика виміру базується на відборі проб пилу, визначенні маси та фіксуванні отриманих значень безпосередньо на місці виміру. Для приладів заснованих на цьому методі характерні великі

габарити та відносно низька експлуатаційна надійність. Як наслідок – необхідність в присутності людини є обов'язковою.

## 2. Електричні методи (електроіндукційний, електроконтактний)

Фізична суть методів є схожою та полягає у вимірюванні потоку пилових частинок або на вимірюванні числа заряджених частинок. Початковий сигнал є пропорційним поверхні частинок та не є мірою їхньої маси. В цьому випадку зміна дисперсного складу може бути причиною похибок вимірювання. Суттєво на результат вимірювання впливає лише склад пилу та його електричні властивості. Ключовим недоліком даного методу є необхідність контролювати вологість повітря у вимірюваному середовищі, що в свою чергу ускладнює експлуатацію.

3. Радіометричний. Даний метод заснований на вимірюванні бета-випромінювання яке виділяє пил осаджений на поверхню. Склад пилу ,на відміну від маси не є суттєвим показником результату та не спотворює данні.

Прилади засновані на цьому методі є досить складними та мають в своїй структурі велику кількість конструктивно важливих елементів. Як наслідок маємо високу собівартість ,яка може виправдати себе тільки в отриманні якісних метрологічних даних.

4. Оптичні методи. Методи засновані на визначенні поглинутого та розсіяного світла пилом, який в свою чергу осаджений на поверхню. Результати вимірювання залежать від дисперсності пилу, оскільки її оптичні параметри визначаються площею поверхні . Також на достовірність результату суттєво впливає густина пилу та її оптичні характеристики. Проте залежно від середовища проведення вимірювань дані показники відчутного впливу не несуть. Окремо можна виділити оптичний турбодиметричний метод. Суть методу полягає у фіксуванні випромінювання, яке проходить через досліджуване середовище та оцінці дисперсного складу та концентрації за отриманими характеристиками. Відмінність турбодиметричного методу від оптичних полягає у використанні двох джерел випромінювання (видимого та інфрачервоного).

Основною перевагою даного методу є висока чутливість та відносно дешева собівартість.

## **ВИСНОВКИ**

Були проаналізовані методи контролю концентрації пилу у вугільних шахтах, в результаті чого був обраний та обумовлений турбодинамічний метод, так як він дає змогу визначати концентрацію пилу з високою точністю, з високою швидкістю та без участі людини, а також дозволяє додатково визначити дисперсність пилового середовища. Даний метод дозволить створити математичну модель, яка буде враховувати вплив дестабілізуючих факторів (температура, вологість та інші)

Був обґрунтовано вибір турбодиметричного методу як найбільш чутливий.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В.Непрерывный контроль концентрации пыли // А. П. Клименко , В. И. Королев, В. И. Шевцов . – К.: Техника, 1980. – 181 с., ил. – Библиограф.: 176-179 с.
- [2] Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздуш- ного бассейна от загрязнений: технология и кон- троль: Пер. с англ. / Под ред. А. Ф. Туболкина. - Л.: Химия, 1989. - 288 с.
- [3] Пронин С.П., Кононова Е.С., Кононов С.В., Артамонов В.С., Люцигер А.О., Шутова К.О. Ис- следование корреляционной зависимости между массой взвешенных частиц пыли в атмосферном воздухе, измеренной гравиметрическим методом и по методу оптического контраста / Ползуновский Альманах, 2011. – С.179–187.
- [4] Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Методы и аппаратура для классификации частиц. Messtechnik zur Charakterisierung von Partikeln. Beiricht von der PM-Tour 2009 der Sympates GmbH in Portmund. Lyko H. F and S: FiHr und Seper. 2009 23 №6.

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Івасенко В.М.*

УДК 542.85; 665.765

К.І. Кузьменко, студент гр. ПН-61-1, М.І. Харченко, студент гр. ПН-71мн,  
Потебенько О.С. студент гр. ПНз-61,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

**Анотація.** В роботі представлено методику визначення змін спектру люмінесценції різних сортів соняшникової олії за рахунок одночасного вимірювання довжини хвилі і потужності випромінювання. Були проведені виміри на прикладі чотирьох сортів олій отриманих на різних етапах технологічного процесу переробки олії соняшникової рафінованої вимороженої дезодорованої марки П. В процесі вимірювань було встановлено залежність спектру люмінесценції від умов технології виготовлення та фізико-хімічних показників соняшникової олії.

**Ключові слова:** соняшникова олія, світлодіоди, вимірювачі спектру, люмінесценція, випромінювання, УФ-спектрометр.

### ВСТУП

Соняшникова олія є одним із найбільш важливих джерел рослинних жирів для організму людини. Саме з неї ми отримуємо такі елементи як лінолева кислота (46-62% по масі), що належать до незамінних жирних кислот. У загальному експорті рослинних олій в Україні соняшникова олія становить 40%-47% (по різних статистичних публікаціях) [1], що має вагомий внесок у внутрішню та зовнішню економіку країни. Контроль характеристик соняшникової олії, різного сортового складу, на виробництві сьогодні відбувається в лабораторіях що присутні у складі комбінатів по переробці соняшникової олії.

Малі виробництва частіше використовують малогабаритне автономне сертифіковане обладнання, що використовується лише при перевірці продукції на виході певного технологічного процесу. Відсутність методів контролю (в режимі реального часу) саме під час поточних процесів виробництва соняшникової олії може мати такі негативні наслідки як списання партії продукції, або до переведення її в нижчий клас, що призводить до збитків конкретного підприємства.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Для вирішення завдання контролю за технологічним процесом виготовлення та переробки олії соняшникової різного хімічного складу нами було запропоновано сучасні оптичні модулі неруйнівного контролю які використовують фізико-хімічні методи експрес-діагностики.

Головною ознакою малогабаритних датчиків є використання сучасної елементної бази для їх виготовлення та програмної обробки для отримання результатів. Було проведено огляд найбільш актуальних параметрів, вибрані аналоги, визначено об'єкт та предмету досліджень, а саме головне, були проведені досліди з реальними оліями, які нам запропонували українські виробники.

За основу методу контролю взято можливість збудження рідини за допомогою потужних УФ світлодіодів в області 365-385 нм, які викликають збудження люмінесценції у об'єкту дослідження, проходячи через оптичну

фокусуючи систему для потрапляння максимальної кількості збуджуючого випромінювання на досліджувану речовину. За допомогою об'єктива квантовий вихід люмінесценції проходить до фотоприймача та АЦП (аналогово-цифрового перетворювача), які потім передають отриманні данні на комп'ютер. Блок схема вимірювача представлена на рис.1.

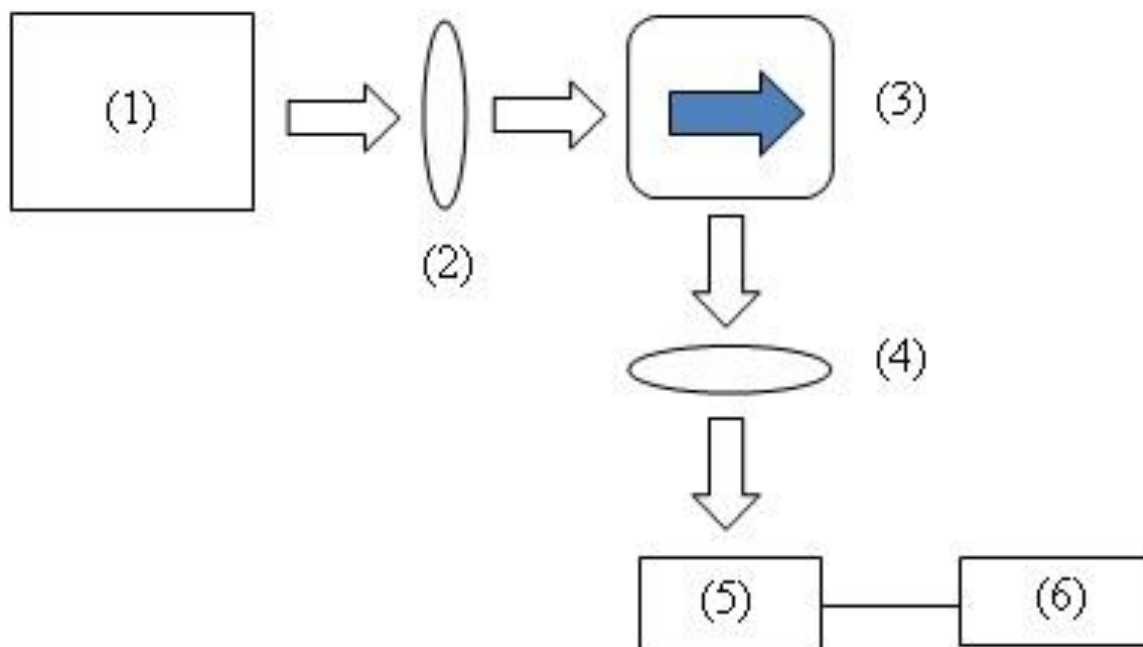


Рис.1. Функціональна схема малогабаритного люмінесцентного вимірювача: 1-світлодіод серії LTPL 10 Вт; 2- оптична формуюча система; 3-кварцева кювета; 4-світлофільтр СЗС-21 (обрізувачі фільтри ОС-11, ОС-12, ОС-13, ОС-14); 5-фотоприймач; 6-пристрій реєстрації аналогового сигналу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основною метою дослідження є розробка експрес-методу контролю складових компонентів соняшникової олії. До завдань аналізу входить порівняння форм спектрів складу досліджуваної суміші, що дає високу точність виміряних результатів – мінімальна різниця між спектральними лініями досягає 1%, що є достатнім для контролю за процесами. Так, саме порівняльна залежність вихідної потужності сигналу вимірювальної інформації від нормованого значення (для конкретної речовини в соняшниковій олії) дозволяє в режимі реального часу проводити контроль відхилень показників соняшникової олії по певному параметру від нормального значення. Подальше калібрування олії по вибраних показникам – визначення компонент відповідальних за піки у спектрі люмінесценції в системі координат «довжини хвиль – інтенсивність випромінювання» дає можливість, наприклад, оцінювати оптимальну кількість вітаміну А, піногасника та інших добавок при виробництві соняшникової олії.

Перевага даного методу реєстрації полягає в тому, що для вирішення багатьох технологічних завдань сьогодні можливо використання сучасного метрологічного обладнання безпосередньо під час виробництва. Ці фактори дають змогу не лише контролювати технологічний процес під час переробки

соняшникової олії, а й витратити для цього мінімум зусиль і ресурсів. На рис.2 наведено спектри люмінесценції напівфабрикатів соняшникової олії після окремих етапів виробництва. На графіках добре видно залежність інтенсивності люмінесценції в умовних одиницях від динамічного діапазону вимірювань на різних довжинах хвиль.

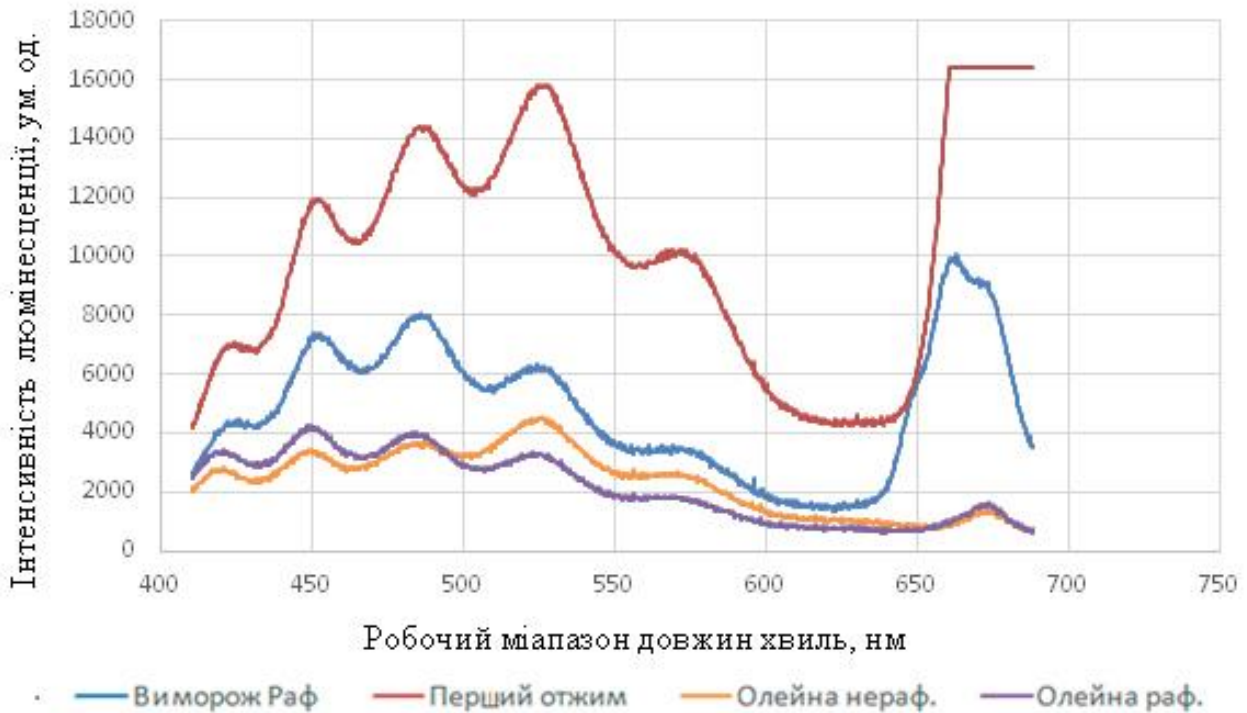


Рис.2. Ідентифікація олій за спектром люмінесценції виготовлених за різними технологіями: виморожена рафінована, першого віджиму, нерафінована.

На графіку показано як різні технологічні процеси можуть змінювати склад олії від соняшникової олії першого віджиму (найвищий рівень люмінесценції що відповідає вмісту «важких» включень в олії – воски, стерини, фосфоліпіди та ін.), до повністю завершеного продукту, що пройшов послідовні стадії екстракції, виморожування, рафінації, дезодорування, – який ми зустрічаємо на полицях магазинів – олію соняшкову рафіновану виморожену дезодоровану (нижчий рівень).

Абсолютна чутливість люмінесцентного методу досить висока. Відносна концентрація речовини може бути малою – для яскраво люмінесціюючих речовин вона становить величину порядку  $10^{-9}$ г/кг [2]. Даний метод застосовують для кількісного визначення поліциклічних органічних сполук, вітамінів, білків, нітратів, сульфідів, ціанідів, токсичних металів у складі харчових продуктів (молоці, м'ясі та рибі), для діагностики псування овочів, плодів і виявлення в продуктах консервантів, лікарських препаратів, канцерогенних речовин та ін. [3].

Встановлення методичної основи розробки вимірювального обладнання що визначає квантовий вихід люмінесценції  $\Phi(f)$  хімічних сполук різної хімічної будови можна провести двома абсолютними методами з комплементарними

принципами вимірювань: тут оптична спектроскопія використовується для ідентифікації типу хімічної досліджуваної речовини в зразку (сканування по спектрам відбувається досить повільно, але має при цьому досягається висока роздільна здатність), в той же час люмінесцентна УФ-спектрофотометрія використовується в якості експрес-методики для визначення концентрацій відомих типів хімічних сполук в розчинах по їх квантовому виходу люмінесценції [4]. Для оцінки агрегаційних спотворень вимірюваних квантових виходів люмінесценції та процедур для надійного розгляду таких ефектів, порівняння доцільно проводити в етанолі та у воді з використанням різних концентрацій досліджуваних контрольних та зразкових сполук [5]. Не потрібно проведення точних спектральних вимірювань швидко протікаючих процесів, а потрібно виміряти інтенсивність флуоресценції при збудженні і реєстрації в відносно широкій області спектру ( $10\pm 1$  нм), то можна використовувати найпростіший флуориметр зі світлофільтрами. При вимірі люмінесценції істотним є вибір світлофільтрів, необхідних для виділення спектру, що збуджує люмінесценцію, і обрізання виходу люмінесценції [6].

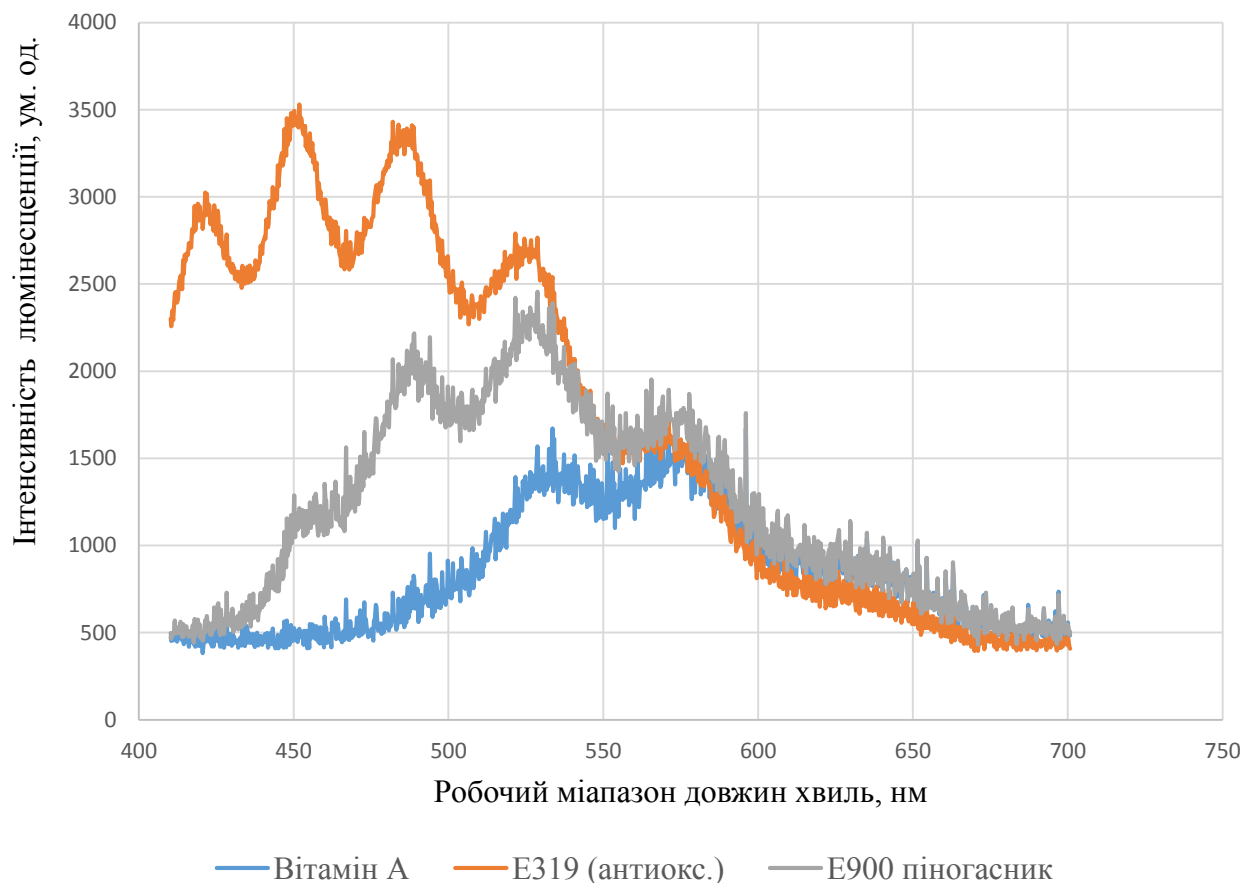


Рис.3. Характеристичні спектри харчових домішок в соняшниковій олії.

На цьому графіку чітко видно відмінності спектрів харчових домішок у соняшниковій олії, що дозволяє проводити вимірювання відносного вмісту даних компонентів у соняшниковій олії на різних етапах її виробництва.



## **ВИСНОВКИ**

Розглянуті в даній роботі методи і засоби контролю фізико-хімічних показників соняшникової олії на різних етапах її виробництва дозволяють проводити контроль інформативних показників соняшникових олії різного хімічного складу та сортових якостей в умовах реального часу технологічних процесів її виготовлення. В подальшому планується розробка калібрувальних графіків для контролю відносного вмісту харчових домішок в соняшниковій олії із формуванням зворотного зв'язку, що дозволить технологам конкретного виробництва контролювати показники соняшникової олії на певному етапі виробництва в допустимих межах, та у випадку виходу граничні показники – проводити зміни у технологічних процесах виробництва. Важливим етапом даного процесу розробки є формування електронної бази даних типових відгуків досліджуваних хімічних сполук різних концентрацій.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- [2] Защепкіна Н.М. Вибір експрес методик аналізу кількісних та якісних параметрів продуктів харчування із застосуванням УФ-випромінювання. /Н.М. Защепкіна, О.А. Наконечний// Вісник НТУ «ХП». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХП», 2016. – Т.1. – № 3(62). – С. 155-161.
- [3] Лукин С.Б., Демин Р.Е. Исследование возможности диагностики качества мясных продуктов на основе спектров люминесценции. /С.Б. Лукин, Р.Е. Демин// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2004. – №12. – С. 172-175.
- [4] Дрозд А. В. Внутрішньолабораторна перевірка якості спектрофотометричних вимірювань / А. В. Дрозд, Н. О. Леонова, О. С. Каліненко // Метрологія та прилади.– 2010. – № 5 (25). – С. 62–66.
- [5] Niki K., Kiso Y., Takeuchi T. et al. // Analytical Methods. – 2010. – V. 2. – P. 678-683.
- [6] Valeur, B.; Berberan-Santos, M.N. Molecular Fluorescence: Principles and Applications, 2nd ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2013, p 138-142.

***Наук. керівник – к.т.н., ст. вик. Таранов В.В.***



## **Секція 6.**

# **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**УДК 615.859**

*I.A. Prylypa, student of PB-z82mp gr., Nataliia Stelmakh*  
Igor Sikorsky KPI

## **INVERSE LINK UNIT FOR PARAMETERS CONTROL OF ELECTROSLEEP THERAPY DEVICE**

**Annotation.** This article examines the option of controlling the parameters of the device for electrosleep therapy in order to facilitate the procedure and avoid the patient's unpleasant sensations during therapy.

**Keywords:** electrotherapy, electrosleep, low frequency current, pulsed current, human resistance, Arduino.

### **INTRODUCTION**

Physiotherapy – an area of medicine that studies the physiological effects of natural and artificial physical factors, also develops methods for the treatment of prophylactic use. This therapy is a very important component of physical rehab, which makes it relevant. Based on the fact that the therapy process and devices need improvement, it was decided to choose one of the methods of physiotherapy for study, namely, electrosleep therapy.

But the problem of determining the current strength, by which will be conducted therapy is actual, because the value of current strength is determined individually for each person in a practical way, that is, from the smallest value to a comfortable for a person.

### **THEORETICAL BACKGROUND**

A method such as the electroshock was developed by Soviet scientists more than 60 years ago. They found a favorable effect of pulsed low-frequency pulse on the central nervous system. The result of this effect was stimulation of the trophic (nutritional) function of the autonomic nervous system. So scientists have discovered a new method of electrotherapy called the electrosleep, which is up to date.

The goals of electrotherapy:

- analgesic and sedation in various inflammatory diseases of the peripheral nervous system, such as radiculitis, radicular syndrome, etc.;
- stimulation of the neuromuscular system under muscular atrophy, flabby paresis and paralysis, with peripheral nerve damage, arthrosis of joints, and the like;
- muscle relaxation in the presence of spasms and inflammation, tonic tension in spastic paresis and paralysis, and the presence of inflammation in the joints. [1]

The greater the sensitivity of a person to the electric current, the less value of the current strength is required for the action of the latter. So, we can say that sensitivity is the inverse of the value of resistance to electric current, therefore it will be more convenient to work with the magnitude of the electrical resistance of the human body.

The human body is a conductor of electric current. The conductivity of living tissue, unlike ordinary conductors, is due not only to its physical properties, but also to the complex biochemical and biophysical processes inherent in living matter. The electrical resistance of various tissues of the human body is uneven: skin, bones, fatty tissue, tendons and cartilage have relatively high resistance, and muscle tissue, blood, lymph and especially the dorsal one and the brain are small resistance.

From these data, it follows that the skin has a very high specific resistance, which is the main factor defining the resistance of the human body as a whole. [2-3]

**DEVELOPMENT**

On the basis of the above information, it was decided to develop the inverse link unit in the electrosleep therapy device to control the parameters of the device, namely, the strength of the current for influence the patient. Control is carried out using microcontroller board Arduino, which is an effective way to control parameters via feedback. The advantages of using Arduino boards are affordability and low cost.

At Figure 1 shows a functional diagram of the electrosleep therapy device, inverse link unit and interaction with humans (object).

The object – human – is the main link of the scheme. The object is supplied with an electric current under the control of the feedback unit.

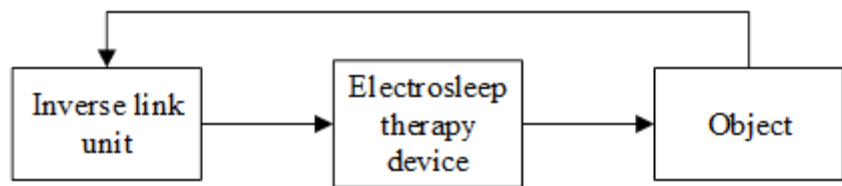


Figure 1. Functional diagram

The next step is to register the signal using the electrodes that are applied to the eyebrows and head and connected to inverse link unit. In the inverse link unit, data processing is carried out, namely the computation of the required values, and a signal is sent to the electrosleep therapy device, namely, the magnitude of the electric current that should act on the object.

The inverse link unit include:

- microcontroller board Arduino;
- model board;
- connecting wires;
- electrodes;
- personal computer (if necessary).

For the realization of the problem and understanding of the process, an algorithm of the feedback operation was developed, which is reflected in Figure 2. The algorithm takes into account all the components of the functional scheme proposed earlier.

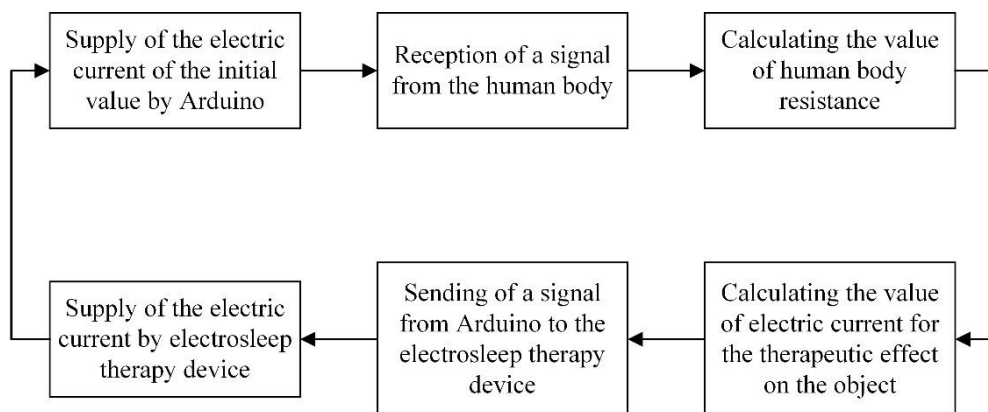


Figure 2. The algorithm of the feedback operation

The first stage of operation of the device is a controlled supply of the electric current to the object. This current supply is controlled by the Arduino microcontroller board.

After the interaction of the electric current with the human body, the microcontroller board Arduino takes the original values from the human body, fixing the required values [4].

After registering data from the human body, the Arduino microcontroller calculates the data to obtain the value of human body resistance.

With the obtained value of resistance of a human body, the necessary value of electric current for the therapeutic effect on the object is calculated. The fifth stage of the algorithm is the sending of a signal to the electrosleep therapy device. The signal contains the required value of electric current for a comfortable procedure.

The final stage of the work is the supply of electric current to the human body from the device.

So for realization of inverse link unit was selected the Arduino Uno microcontroller board, also for the creation of the inverse link unit required model board, connection wires, resistor and electrodes for testing.

Configuring the microcontroller board, writing to it the code and testing are carried out using a personal computer; the computer connects the board with a USB cable.

Ready inverse link unit connects to the electrosleep therapy device with a separate port for power supply, that is, the inverse link unit and device have a single power supply and the process takes place without the participation of the computer.

At Figure 3 shows the code implemented in the Arduino IDE, which is necessary to determine the skin-galvanic reaction of human skin. This reaction is recorded by the microcontroller board using the electrodes and the current directed to the object. The program code contains the simplest operations and commands that are provided in most Arduino training manuals.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop ()
{
  delay (100.25);
  float sensorValue = analogRead(A0);
  float InputVoltage=sensorValue*0.0049;
  Serial.println(InputVoltage);
  delay (99.75);
}
```

Figure 3. The Arduino IDE software code for the Arduino microcontroller

Explanation to the code:  
 void setup ()  
 {  
 Serial.begin (9600);  
 }  
 Set up the exchange of information between the motherboard and the PC and set the speed of data transfer.  
 void loop ()  
 {  
 float sensorValue = analogRead (A0);  
 float InputVoltage = sensorValue \* 0.0049;

```
Serial.println (InputVoltage); }
```

Launching a loop in which "int sensorValue = analogRead (A0)" denotes reading data from the analog input A0;

"Int InputVoltage = sensorValue \* 0.0049" - bringing the value entering the analog input A0 to the actual value of the voltage.

The converted value is displayed in the form  $5 \text{ V} / 1024 = 0.0049$ . Thanks to the built-in ADC, the inputs can read the voltage applied to them, but each value input to the analog input is divided by 0.0049. The microcontroller used in Arduino Uno includes a six-channel ADC whose resolution is 10 bits. This allows the output to get values from 0 to 1023 (only 1024 gradations).

"Serial.println (InputVoltage)" - output the received value to the screen.

In this case, in order to influence the object and read signals from it, different electrodes are required: active (for influence) and passive (for reading the signal). To simplify the design, one pair of electrodes (for the eye and neck) are needed that will change the condition, depending on the actions needed to work. This is possible because the device influences the pulsed electric current: at the moment of the therapeutic action of the device, the electrodes are active, at a time when there is no therapeutic effect, the electrodes are in a passive state and can receive the signal of the object.

Suppose the therapy passes with the following parameters:

The frequency of the pulses passing -  $\nu = 5 \text{ Hz}$ , that is, 5 pulses in 1 second;

Duration of pulses -  $t_i = 0,5 \text{ ms}$ .

Calculate the duration  $t_d$  of the time intervals in which data from the object a will be read:  $t_d = t_i \cdot \nu = 0.5 \cdot 5 = 2.5 \text{ ms}$  The time interval for data readout is also 5. Then we have  $1 - 0.0025 = 0.9975 \text{ sec}$  for 5 data readings in 1 second, one reading is  $0.9975 / 5 = 0.1995 \text{ sec} = 199.5 \text{ ms}$ .

"Delay (100.25)" - a delay of 100.25 ms at the beginning of the cycle, used to read data from an object in a gap when the impulse device is not operating;

"Delay (99.75)" is a delay of 99.75 ms at the end of the cycle, used to prevent reading from starting before the start of the pulse, that is, before the start of the cycle.

## REFERENCES

- [1] Медичний центр Меднеан: Електротерапія – покази до застосування та основні ефекти» [Electronic resource]: Resource access mode: <http://mednean.com.ua/uk/elektroterapiya>
- [2] Вожаєнко А. Ю., Терещенко М. Ф., Стельмах Н. В. Моделювання реакції нервової системи людини в різних функціональних станах. – 2018.
- [3] «StudFiles: Імпеданс» [Electronic resource]: Resource access mode: <https://studfiles.net/preview/1902522/page:30/>
- [4] «Студопедия: Электромагнитные колебания и волны» [Electronic resource]: Resource access mode: [https://studopedia.su/1\\_8612\\_lektsiya--.html](https://studopedia.su/1_8612_lektsiya--.html)

## УДК 621.681.2

*О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент,  
С.М. Матвієнко, асистент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ГОЛОВНОГО МОЗКУ**

**Анотація:** Приведено аналіз та особливості методів діагностики стану головного мозку, методів сканування акустичних сигналів, їх прийом, обробка та подальший аналіз для отримання інформації про можливу наявність пухлин та крововиливів у мозку людини

**Ключові слова:** стан головного мозку, сканування акустичних сигналів, ультразвукова ехотомоскопія..

#### **ВСТУП**

Серед усіх засобів медичної інтроскопії, візуалізації внутрішніх органів та структур, ультразвукові діагностичні прилади займають особливе місце [1]. Це обумовлено тим, що ультразвукові методи досліджень мають високу діагностичну інформативність, що пов'язано з чутливістю до фізичних і фізіологічних змін характеристик біологічних тканин, а також здатність оцінювати динамічні характеристики структур, які рухаються (швидкість кровотоку, лімфотоку). До переваг ультразвукових методів дослідження треба віднести також нешкідливість як для пацієнта, так і для лікаря, яке забезпечується достатньо низьким рівнем випроміненої потужності ультразвуку [2]. Ультразвукова система діагностики дозволяє стежити за виникненням пухлини та крововиливів у мозок, які можуть виникнути при травмах голови. Робота такої системи основана на дослідженні інформації про внутрішню структуру мозку, отриманої шляхом використання явищ відбиття, розсіювання та поглинання ультразвукових сигналів, що утворюються при взаємодії ультразвукового випромінювання з об'єктом, який досліджується [3]. Найпоширенішим методом діагностики головного мозку є ехоенцефалографія, яка застосовується для розпізнавання об'ємних процесів в головному мозку, а також для діагностики підвищення внутрішньочерепного тиску [4]. При цьому ехоенцефалографія є безболісною, короткотривалою та практично нешкідливою процедурою, до проведення якої немає протипоказань.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Для діагностики стану головного мозку, щоб дізнатися чи здоровий він, використовується декілька методів. Цей найважливіший орган знаходиться в порожнині черепа, і дістатися до нього непросто. До діагностики захворювань на відкритому мозку після трепанації черепа вдаються тільки під час операцій. Проте запідозрити захворювання можна на підставі скарг пацієнта і деяких ознак, наприклад порушення чутливості, зниження м'язової сили, появи патологічних рефлексів.

«Побачити» мозок можна і за допомогою ультразвука. Використовуваний в цьому дослідженні принцип ультразвукової локації дав назву методу – ехоенцефалографія. Вона широко застосовується для розпізнавання об'ємних процесів в головному мозку - пухлин, абсцесів, кіст, гематом, а також для діагностики підвищення внутрічерепного тиску. Для дослідження не



вимагається спеціальної підготовки хворого. Для того, щоб виключити поверхневі перешкоди, шкіру змащують спеціальним гелем, що добре проводить ультразвук. Ехоенцефалографія безболісна і практично нешкідлива, не має протипоказань і може бути використана навіть у дітей і вагітних. Ехоенцефалографія найчастіше призначається лікарем-неврологом для первинної діагностики при підозрі на захворювання головного мозку у дорослих і дітей, а також в екстрених випадках для визначення патологій, загрозливих для життя пацієнта. Результати дозволяють: виявити об'ємні ураження тканин мозку: вогнища крововиливу при підозрі на внутрішньочерепні гематоми, розмір і локалізацію пухлин, кістозних утворень і чужорідних тіл, гнійні скупчення при підозрі на абсцес мозку голови, виконати контрольні вимірювання ступеня внутрішньочерепного тиску, відстежити динаміку змін і причини погіршення кровотоку в судинах головного мозку при підозрі на атеросклероз, вегето-судинну дистонію, інсульт, ішемію (кисневе голодування мозку), оцінити ступінь гідроцефалії (водянки) головного мозку. Ехоенцефалоскопія головного мозку найчастіше виконується в положенні лежачи. В процесі обстеження голова повинна знаходитися в нерухомому стані, тому при проведенні у маленьких дітей може знадобитися допомога батьків. На шкіру наноситься контактний гель, що перешкоджає утворенню перешкод, і встановлюються датчики. Залежно від виду дослідження лікар послідовно або плавно переміщує датчики в різні області голови. У першому випадку результат діагностики відображається у вигляді графіка, в другому – у вигляді двомірного зображення зрізу голови. Вся процедура триває не більше 10-15 хвилин. Тому, для моніторингу стану головного мозку найбільш безпечним для пацієнта являється метод ехоенцефалографії.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Успіхи у розвитку мікропроцесорних засобів цифрової обробки інформації дозволили перейти до нового принципу побудови ультразвукових приладів діагностики. Суть цього принципу базується на системній організації внутрішньої побудови приладів на основі вбудованої мікрокомп'ютера керування приладом та ряду програмно-керованих функціональних модулів: збору, перетворення, обробки та відображення інформації. В цьому випадку організація взаємодії функціональних модулів реалізується на основі єдиного інтерфейсу, а керування приладом здійснюються програмними методами. Такий підхід до структурної організації мікропроцесорних приладів дозволяє перенести навантаження по формуванню необхідних функцій збору-обробки інформації на програмне забезпечення, що стає передумовою побудови гнучких, багатофункціональних інформаційно-вимірювальних систем.

Наведено структурну схему розробленого приладу (Рис. 1), що реалізована на підставі основних законів випромінювання та прийому сигналів ультразвукових перетворювачів.

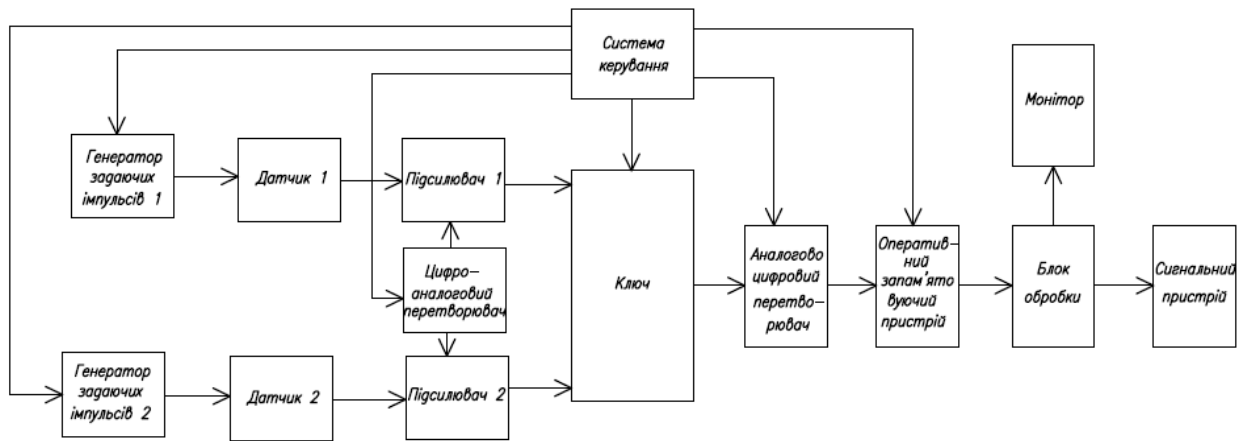


Рисунок 1. Структурна схема розробленого приладу

Датчики забезпечують випромінювання ультразвукових сигналів у визначених напрямках та прийом відбитих ехо-сигналів з тих же напрямків.

Мікроконтролер (МК) керує роботою генератора зондуючих імпульсів, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) ключем, який переключає канали, а також займається обробкою даних.

Пристрій пам'яті – інформація в ньому записується в такому темпі, з яким відбувається випромінювання та прийом ультразвукового (УЗ) променя.

Сигнальний пристрій – використовується для сигналу сповіщення, якщо у людини стався крововилив.

Основним вузлом схеми є мікроконтролер, який запрограмовано та використовується для керування майже всіма блоками схеми. Спочатку роботи МК здійснює опитування всіх систем розробленого приладу, запускає генератор задаючих імпульсів (ГЗІ). Імпульс з ГЗІ поступає на входи УЗ перетворювачів. Після відбиття та повернення відбитого імпульсу, сигнал поступає на вхід попереднього підсилювача.

МК формує код, який поступає на вхід цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), де перетворюється в аналоговий сигнал, який керує підсилювачем. Отримуємо змінний коефіцієнт підсилення, який компенсує функцію  $KAT(h)$ . З виходу підсилювача сигнал потрапляє на АЦП, де з певною частотою враховуються вибірки сигналу та перетворюються в код. Сигнал запуску АЦП подає МК.

Запис даних в оперативний запам'ятовувачий пристрій (ОЗП) та їх зчитування відбувається за допомогою керуючих сигналів від МК. Адреса, за якою відбувається запис та зчитування даних формується за допомогою МК. Накопичені дані з ОЗП надходять на вхід мікроконтролера. В мікроконтролері за раніше введеному алгоритму відбувається обробка даних.

З виходу аналого-цифрового перетворювача оцифрований сигнал по шині даних потрапляє до зовнішньої оперативної пам'яті. Магістраль адресу формується за допомогою буферних регістрів, які керуються блоком керування. Записом даних до зовнішньої пам'яті, а також її синхронізація з роботою АЦП керує МК. Запис здійснюється при нульовому потенціалі. Після отримання всієї інформації за один цикл випромінювання та запису всіх отриманих даних до

зовнішньої пам'яті необхідно зчитати всі дані з зовнішньої пам'яті для їх подальшої обробки. Це здійснюється за допомогою подачі керуючого сигналу з МК, а оброблені дані потрапляють до ПК.

## **ВИСНОВКИ**

Розроблений прилад орієнтований на нейрохірургічні дослідження, в якому використовуються перетворювачі, виготовлені з п'єзоелектричного полімеру полівінілідендифториду PVDF. Цей матеріал за своїми властивостями схожий на тефлон, а його щільність дорівнює  $1,78 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, швидкість розповсюдження повздовжніх хвиль – 2,2 км/с, а акустичний імпеданс дорівнює  $3,92 \cdot 10^6$  кг/(м<sup>2</sup>·с). Виходячи з цього, імпеданс такого матеріалу більш наближений до імпедансу води ( $1,5 \cdot 10^6$  кг/(м<sup>2</sup>·с)), ніж у кераміки ( $\approx 30 \cdot 10^6$  кг/(м<sup>2</sup>·с)). Враховуючи цей факт, неузгодженість імпедансів при випроміненні у воду незначне. Оскільки швидкість ультразвуку в тілі людини наближена до швидкості ультразвуку у воді, більш доцільно використовувати саме цей матеріал при виготовленні перетворювача розробленого приладу.

Принципово новим в конструкції запропонованого приладу є рішення щодо кріплення датчиків на голові у людини. Оскільки пацієнти, стан мозку яких буде досліджуватись, можуть знаходитись в тяжкому стані після травми голови, тому не бажано здійснювати не бажано здійснювати перевезення таких пацієнтів і їх переміщення. Тому розроблена конструкція приладу для здійснення ехоенцефалографії у вигляді навушників дозволяє кріпити датчики на голові людини не рухаючи при цьому її голову. Крім того, така конструкція дозволяє забезпечити акустичний контакт завдяки додатковому підпружиненню датчиків.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Лепіх Я. І. Прикладна акустика в медицині : [Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Я. І. Лепіх ; Одес. нац. ун-т ім. І.І.Мечникова. — Одеса : Астропринт, 2005. — 206 с.
- [2] Абакумов В. Г. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг / В. Г. Абакумов, О. І. Рибін, Й. К. Сватош. – К.: Нора-прінт, 2001. – 516 с.
- [3] Гнездицкий В. В. Руководство по ультразвуковой компьютерной эхоэнцефалографии / В. В. Гнездицкий. – М.: НИИ неврологии РАМН, 2002. – 15 с.
- [4] Віничук С. М. Нервові хвороби / С. М. Віничук, Є. Г. Дубенко, Є. Л. Мачерет та ін.; За ред. С. М. Віничука, Є. Г. Дубенка. — К.:Здоров'я, 2001. — 696 с.

## УДК 615.847.8

*О.Т. Грузинська, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **МЕТОД ЕЛЕКТРОКАРДІОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗШИРЕНИМИ ФУНКЦІЯМИ**

**Анотація** Проведено дослідження існуючих методів сучасної електрокардіографії (ЕКГ) та метода ЕКГ з каналами серця та перикарда з метою дослідження їх функціональних можливостей. Проведено виміри сигналів ЕКГ стандартними способами, та за допомогою удосконаленої системи контролю роботи каналів серця та перикарда ЕКГ, новизна якого полягає у тому, що сигнали, отримані з комплексних електродів, розташованих на меридіанах каналів серця та перикарду, що дозволить отримати більш чітку картину стану серця з розширеними функціями.

**Ключові слова:** методи електрокардіографії, сигнали ЕКГ каналів перикарда та серця.

#### **ВСТУП**

Захворювання серця - яскравий приклад патології, перебіг і результат якої безпосередньо залежить від термінів звернення до лікаря, своєчасної постановки діагнозу і початку адекватного лікування [1]. Невтішна статистика показує, що вдосконалення методів ЕКГ та апаратів є одним з головних завдань сучасної медицини. Для правильного трактування ЕКГ необхідно мати чіткі уявлення про просторових процесах формування сигналів електричного поля в клітинах міокарда та серця в цілому [2].

#### **ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ**

ЕКГ - найбільш простий і, разом з тим, вкрай інформативний метод обстеження. ЕКГ являє собою запис на носію чи реєстрація на моніторі електричної активності серця. ЕКГ дозволяє діагностувати різні види патології серця. За ЕКГ можливо: визначити водій ритму серця (синусовий, вузловий та ін.), визначити частоту серцевих скорочень (ЧСС), виявити порушення провідності - синоатріальну (СА) блокаду, атріовентрикулярну (АВ) блокаду, блокади ніжок пучка Гіса, виявити порушення ритму - позачергові серцеві скорочення (екстрасистоли), фібриляції передсердь (або миготливої аритмії), тріпотіння передсердь, вузловий тахікардії (АВУРТ), синдрому WPW, та отримати інформацію про наявність чи відсутність у людини серцево-судинних захворювань [3].

Завдання сьогодення – це створення комплексного способу діагностики та візуалізації тканин серця людини шляхом розміщення першого відведення при реєстрації електрокардіограми по черзі в зонах зап'ястя на сигнальних точках каналу перикарда і серця, що дозволить отримувати сигнали безпосередньо з каналів перикарду і серця.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Дві точки в просторі електричного поля, між якими вимірюють різницю потенціалів, називають відведеннями, а лінія, що з'єднує ці точки, дає уявлення про вісь відведення. Важливо відзначити, що кожне з відведень має векторний характер, причому напрямок до однієї певної точки з двох, що утворюють відведення, умовно прийнято за позитивне. Як уже згадувалося, за позитивний

напрямок прийнято напрямком від "-" до "+". Термін "позитивний напрямок" для будь-якого відведення означає наступне. Електрокардіографи у всьому світі влаштовані так, що якщо реєструється хвиля збудження (різниця потенціалів), яка у напрямку збігається з позитивним напрямком цього відведення, то реєстраційна частина апарату ЕКГ фіксує зміни вище ізолінії. Чим більша величина ЕРС реєструється при цьому, тим більше відхилення від ізолінії. Таким чином, якщо під час запису інтегрального вектора електричного поля серця в будь-якому відведенні реєструється відхилення вгору (вище ізолінії), це означає, що напрямок поширення збудження по міокарду збігається з позитивним напрямком даного відведення. Зокрема, сумарний вектор для міокарда шлуночків можна уявити як алгебраїчну суму відхилень щодо ізолінії в комплексі зубців QRS. При русі сигналів в електричному полі перпендикулярно осі відведення, то на ЕКГ відхилення від ізолінії вгору і вниз будуть приблизно однаковими (алгебраїчна сума відхилень близька до нуля). Найбільш часто використовують два типи відведень: біполярні (двополюсні) і уніполярні (однополюсні). Біполярні відведення складаються з одного позитивного і одного негативного електродів. Уніполярні відведення складаються з одного позитивного електрода і електрично нейтральної точки, яка визначена середнім значенням електричних потенціалів двох або більше стандартних відведень. Ця нейтральна точка за величиною близька до нуля, оскільки утворена складанням позитивних і негативних величин і розташована в центрі, між електродами. Щоб уявити образ однополюсного відведення в просторі, треба з'єднати цю віртуальну точку з відповідним електродом на поверхні тіла, причому за позитивний напрямок цього відведення буде прийматися напрямок до активного електроду.

Стандартна ЕКГ складається з 12 відведень: 6 відведень від кінцівок (I, II, III, aVR, aVL, aVF) і 6 грудних відведень (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Кожне відведення дає уявлення про електричну діяльність м'язових стінок серця з різних кутів. Всі 12 відведень разом забезпечують загальне уявлення про серцевої діяльності. Відведення від кінцівок реєструють ЕРС серця при накладенні електродів на праву і ліву руки і ліву ногу. З 12 відведень тільки відведення від кінцівок I, II, і III є біполярними (буква "V" в назві вказує на уніполярні відведення). Осі відведень від кінцівок проходять у фронтальній площині через точку, вміщену як би в центрі грудної клітини. У цій площині прийнято оцінювати відхилення так званої електричної осі серця. Грудні відведення лежать в горизонтальній площині і дають можливість окреслити зміщення серця навколо електричної осі по або проти годинникової стрілки. У відведенні I електрод на лівій руці прийнятий за позитивний, електрод на правій руці - за негативний: права рука (-) → ліва рука (+). Відведення I можна представити у вигляді стрілки, спрямованої справа наліво, від правого плеча до лівого плеча. Прийнято вважати, що відведення I відображає зміни в передньо-боковій стінці серця.

У відведенні II електрод на лівій нозі прийнятий за позитивний, електрод на правій руці - за негативний: права рука (-) → ліва нога (+). Відведення II можна представити у вигляді стрілки, спрямованої вниз і справа наліво. Воно в основному відображає результуючі зміни, пов'язані з відведеннями I і II, переважно в нижній

стіни. У відведенні III електрод на лівій нозі прийнятий за позитивний, електрод на лівій руці - за негативний: ліва рука (-) → ліва нога (+). Відведення III можна представити у вигляді стрілки, спрямованої вниз і зліва направо. Прийнято вважати, що відведення III відображає зміни в нижній стінці серця [4].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження – проаналізувати сигнали, отримані з каналів серця та перикарду. Для цього було використаний апаратний комплекс «KL-720 Biomedical Measurement system», блок для вимірювання електрокардіограми та комплексні електроди, що були розроблені спеціально для виміру сигналів безпосередньо з каналів серця та перикарду.

Вимірювання проводилось в контрольній групі з чотирьох чоловіків, віком 22 років. На першому етапі проводилось стандартне вимірювання ЕКГ, на другому етапі проводилось вимірювання ЕКГ шляхом вимірювання сигналів з каналу серця, на третьому проводилось вимірювання ЕКГ шляхом вимірювання сигналів з каналу перикарду. Для даного дослідження було взято вибірку з перших тисячу відліків сигналу.

На рис.1. – рис.4. наведені графіки порівняння стандартних ЕКГ, ЕКГ каналу серця (ЕКГс) та ЕКГ каналу перикарда (ЕКГп).



Рисунок 1. Графік стандартної ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у першого досліджуваного



Рисунок 2. Графік стандартної ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у другого досліджуваного



Рисунок 3. Графік стандартної ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у третього досліджуваного



Рисунок 4. Графік стандартної ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у четвертого досліджуваного

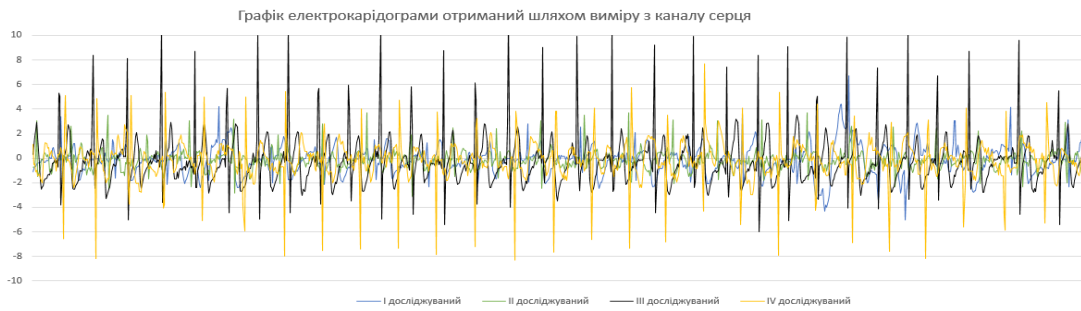


Рисунок 5. Графік ЕКГс усіх досліджуваних

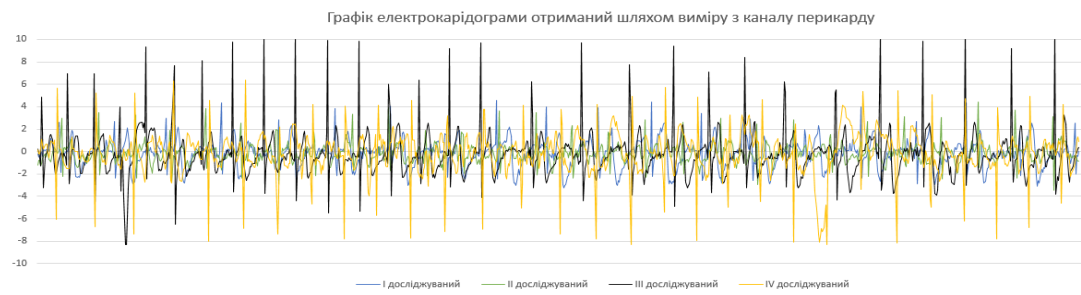


Рисунок 5. Графік ЕКГп усіх досліджуваних

## ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено вимірювання стандартного сигналу ЕКГ у чотирьох досліджуваних одної статевої та вікової категорії (чоловіки 22 років) для контрольного порівняння, вимірюванням сигналів ЕКГс, вимірювання сигналів ЕКГп, зведення загальних таблиць для кожного досліджуваного та для усієї контрольної групи.

Було встановлено, що отримані сигнали стандартного сигналу ЕКГ відрізняються від сигналів ЕКГ каналу серця та ЕКГ каналу перикарда, але мають один і той же чітко визначений QRST-комплекс. А сигнали ЕКГс та ЕКГп дають можливість розширити діапазон встановлення достовірного діагнозу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д.К. Авдеева Новые возможности электрокардиографа на нанoeлектродах для индивидуального применения с телекоммуникационным каналом / И.А. Лежнина, М.М. Южаков, Вестник науки Сибири. – 2012. – Т 4, №5. – С. 55.
- [2] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [3] *Голухова Е.З.* В кн.: Бокерия Л.А., Голуховой Е.З. (ред.) Клиническая кардиология: диагностика и лечение. М.: Издательство НЦССХ им. А.Н. Бакулева; 2011
- [4] А.П. Баранов. Основы ЭКГ для клинициста. / А.П. Баранов А.В. Струтынский // – Школа электрокардиографии - 2004. – 71 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

## УДК 616.12-073

*Т.О.Гурова, студентка гр. ПБз-82мп, В.В.Шевченко, к.т.н., доцент*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ**

**Анотація** В даній статті розглянута система діагностики, яка дозволяє отримати оцінку фізіологічного стану людини на основі зняття електрокардіограми, електроміограми, визначення параметрів дихання (частоти дихання та об'єму видихуваного повітря), поточного значення частоти пульсу, насичення крові киснем та аналізів проб видихуваного повітря. Розглянуто особливості даної системи, що полягає в можливості оцінки стану біооб'єкта одразу по декількох різних характеристиках, а також в здатності зняття даних на відстані від досліджуваного об'єкта.

**Ключові слова:** електрокардіограф, пульсометр, радіотелеметрична система діагностики

### **ВСТУП**

Проблема створення й експлуатації універсальних телемедичних систем історично була нерозривно пов'язана з космічною медициною, що має великий досвід у розробці й застосуванні біотелеметричних систем. Потім встало питання про впровадження в практичну діяльність унікальних технологій, використовуваних у медичному забезпеченні пілотованих космічних польотів.

Перша проблема, яку необхідно вирішити при розробці будь-яких біотелеметричних систем, - визначення завдань дослідження й диференціювання всіх істотних для цих завдань біологічних параметрів по їхній змістовності й інформаційній значимості. Від успішного рішення цього завдання багато в чому залежить, ефективність роботи біотелеметричної системи в цілому. Причому завдання відбору сукупності вимірюваних параметрів повинні бути тісно зв'язані з метою проведених досліджень і внутрішньою структурою переданої інформації, станом біотелеметричної системи й умовами її роботи. При цьому необхідно не тільки враховувати доступність виміру того або іншого параметра, можливість і зручність його перетворення для передачі й обробки, але й здійснювати попередню оцінку фізіологічного параметра з погляду як кількості, так і якості інформації, що знаходиться в ньому.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

1) 12-ти канальний електрокардіограф «HEART SCREEN 112D»

12-ти канальний електрокардіограф з автоматичною 12-ти канальною синхронною реєстрацією ЕКГ, із 6-3-х канальним термопринтером шириною 112 мм та 3-х канальним рідкокристалічним дисплеєм, з пам'яттю на 30 ЕКГ, з програмою аналізу і пропозиції діагнозу, аналізом варіабельності серцевого ритму.

Електрокардіограф забезпечує реєстрацію електрокардіограми у дванадцяти стандартних відведеннях (I – II – III - AVR - AVL - AVF - V1 - V2 - V3 - V4 - V5 - V6), обчислення частоти серцевих скорочень, реєстрацію кривої ЕКГ на паперовому носії та відображення на дисплеї електрокардіографа, має програмне забезпечення, що дозволяє підключати електрокардіограф до ПК і використовувати в кабінетах з великим потоком пацієнтів, в умовах роботи швидкої допомоги.

2) Пульсометр «G1B»



Пульсометр призначений для дорослих, дітей та новонароджених (залежно від датчика), із діапазоном пульсу 30-250 уд./хв та точністю виміру  $\pm 2$  уд./хв. Вимоги до джерела живлення: напруга живлення зарядного 100~ 240 VAC, 50/60 Гц, потужність <6 VA. Елементи живлення тип AA 4 шт.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Чотирьох канальна радіотелеметрична система діагностики більш функціональна, ніж окремо взяті прилади.

Система забезпечує комплекс зняття, передачу та прийом: електрокардіограми (ЕКГ), електроміограми (ЕМГ), частоти дихання (ЧД), об'єму видихуваного повітря (ОВП), вимірювання поточного значення частоти пульсу(ЧП), рівня сатурації крові киснем (SpO<sub>2</sub>) та дозволяє спостерігати за зміною показників варіабельності ритму серця. За допомогою блоку газоаналізатора система дозволяє отримати дані про концентрацію певних газів в пробах видихуваного повітря. Дані по приведеним параметрам за допомогою кабелю та програмного забезпечення реєструються на ПК.

Основним напрямком застосування системи являється дослідження фізіологічних функцій людини, які змінюються в процесі рухової активності і, особливо, швидко змінюючихся на початку роботи, в процесі реституцій і після різноманітних видів впливу на організм.

Конструктивно система складається з 3-х датчиків ЕКГ (ЕМГ), датчика частоти пульсу та насиченості крові киснем, передавального пристрою, приймального пристрою, блоку живлення та тестер – калібратора, блоку відображення зміни показників варіабельності ритму серця, спіроанемометра та блоку аналізів проб видихуваного повітря. Робота системи відображається на ПК. Система складається з чотирьох радіоканалів. За побудовою і принципом роботи всі радіоканали ідентичні і відрізняються лише несущими і під несущими частотами.

В системі використана подвійна частотна модуляція (ЧМ-ЧМ), яка забезпечує підвищений захист від перешкод і якісну передачу параметрів.

Досліджуваний сигнал подається на вхід одного з передаючих пристроїв, посилюється відповідним підсилювачем і подається на вхід генератора піднесущої частоти для управління його частотою. В генераторі піднесущої частоти проходить кодування – перенесення інформації на піднесущу частоту і керування частотою передавача. В передаючому пристрої використовується штирова антена, узгоджена з виходом передавача за допомогою подовжуючої індуктивності.

Живлення передаючої частини здійснюється від автономного акумуляторного джерела живлення, яке забезпечує безперервну роботу на протязі двох годин.

Зарядження акумуляторних батарей здійснюється на блоці живлення приймальної частини системи на протязі 18 годин.

Інформація, прийнята приймачем, після змішування перетворюється в одну з проміжних частот і після частотного детектування подається на плату дешифратора.

Сигнал від датчика частоти пульсу подається на плату ПВЧ, звідки поступає на синхронний демодулятор плати пульсоксиметра.

В дешифраторі відбувається виділення (розшифрування) сигналу, поступаючого на вхід кодуючого пристрою.

Система забезпечує передачу інформації від входу передаючого пристрою до виходу дешифратора в смузі частот  $0.2 \div 400$  Гц з нелінійністю не більше 5% при нерівномірності не більше 3 Дб.

Живлення приймальної частини системи здійснюється від мережі змінного струму з напругою 220/127 з частотою 50 Гц через блок живлення або від автономних джерел постійного струму з напругою  $12_{-1}^{+2}$  В.

Перевірка функціонування радіотелеметричних каналів здійснюється за допомогою тестер – калібратора.

### **ВИСНОВКИ**

В даній роботі запропонована комплексна система діагностики стану здоров'я людини на основі реєстрації параметрів серця та дихання, що дають можливість значно підвищити точність та надійність виявлення захворювання людини та своєчасно обрати оптимальні методи лікування[1-4].

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Мурашко В.В., Струтинский А.В. Электрокардиография. М.: Медпресс. – 1998. – 278 с.
- [2] Дошицин В.Л. Практична електрокардіографія. – М.: Медицина. – 1987. – 336 с.
- [3] Старшов, А.М., Смирнов И.В. Спірографія для професіоналів Методика й техніка дослідження функцій зовнішнього подиху. М.: Медицина. - 2003.–287 с.
- [4] Біометричні виміри й захист інформаційних джерел / Під. ред. П.Н. Гардєєва. М.: Ліра, 2000.

*Науковий керівник – к.т.н., доцент Шевченко В.В.*

## УДК 615.84

Дорошук. І. А., студент гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### СИСТЕМА СТИМУЛЯЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН З ДІАГНОСТИКОЮ

**Анотація** Система стимуляції біологічних тканин (БТ) з діагностикою базується на способі імпульсної електростимуляції БТ з впливом на пацієнта імпульсними струмом різних видів, в межах діапазону по струмі (0 - 30,0) мА, що характеризується частотою проходження імпульсів (0,1 - 99,9) Гц та тривалістю імпульсів в інтервалі (0,1 - 9,9) мс. Процес впливу імпульсним струмом на пацієнта та їх ефект контролюють шляхом заміру значень струму на ділянці тіла пацієнта в зоні його дії та значенням температури в цій же зоні в період з початку процедури впливу і до її закінчення. Така система забезпечує високу ефективність біостимуляції м'язів, з надійним та безпечним контролем фізіотерапевтичного впливу. Вимір градієнтів температури виконують за допомогою спеціально вбудованого в систему датчика.

**Ключові слова:** електрична стимуляція, системи та апарати електротерапії.

### ВСТУП

Досить давно відомо, що застосування електричного струму в медицині використовується з метою збудження або посилення діяльності будь-яких органів і систем. Під дією електричного струму поліпшується кровообіг, розсмоктуються набряки, збільшуючи вміст кисню в клітинах організму, а також електричний струм застосовується при вираженому больовому синдромі, травматичних пошкодженнях, захворюваннях опорно-рухового апарату і суглобів, епілепсії, мігрені і деяких інших хворобах, навіть таких як параліч. Електротерапія має ряд протипоказань та має певні вікові межі [1].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В сучасній медичній практиці широко використовуються апаратами електростимуляції акупунктури, такі як «Прогноз», «Біомед-010», «Куртід», «SVESA-1010», «Dermaton-50600», «Дельта-2» (пригнічувач болі), «ЕПБ-60-01» (переносний електроімпульсний апарат для пригнічування болі) та «Еліман-101» (апарат стимуляції через шкіру). В цих апаратах відсутня діагностика стану пацієнта[2].

Задачею розробки такої системи є суттєве розширення функціональних можливостей з забезпечення зростання ефективності та безпечності використання електростимуляції, шляхом впровадження діагностичних функцій.

Так у спроектованій системі стимуляції біологічних тканин з діагностикою використовують імпульсним спосіб електростимуляції пацієнта струмом з двома типами імпульсів – діадинамічними та прямокутними. Для цих імпульсів встановлюють параметри частоти та тривалості імпульсів. Процес впливу імпульсним струмом на пацієнта діагностують шляхом заміру значень струму на ділянці тіла пацієнта в зоні дії. А також контролюють значення температури в цій же зоні в період з початку процедури впливу і її закінчення, частота змінюється в межах 100 Гц., тривалості імпульсів до 10 мс., а вимір градієнтів температури виконують контактуючи з поверхнею за допомогою спеціального датчика[3].

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В розробленому методі, спочатку знаходять відхилення від нормального

функціонального стану, діагностуючи первинний функціонального стану пацієнта до початку процедур фізіотерапевтичного впливу, а вже потім впливають імпульсними струмами заданої терапевтичної процедури, знову заміряють параметри дійсного функціонального стану пацієнта, порівнюють ці стани, а потім формують необхідний корегуючого сигналу стимуляції біологічних тканин людини. Це дає можливість відновити нормальний фізіологічний стан організму людини[4].

На рис.1 зображена функціональна схема системи стимуляції біологічних тканин з діагностикою, що реалізує даний спосіб. На ділянку тіла пацієнта розміщують два електроди (АЕ – активний електрод, ДАЕ – додатковий активний електрод та ІЕ – індиферентиний електрод) які формують електричні імпульси заданої форми з нормованими (амплітуди, частоти, тривалості імпульсів) параметрами, за рахунок подачі імпульсного струму з пристрою діагностики та електростимуляції.

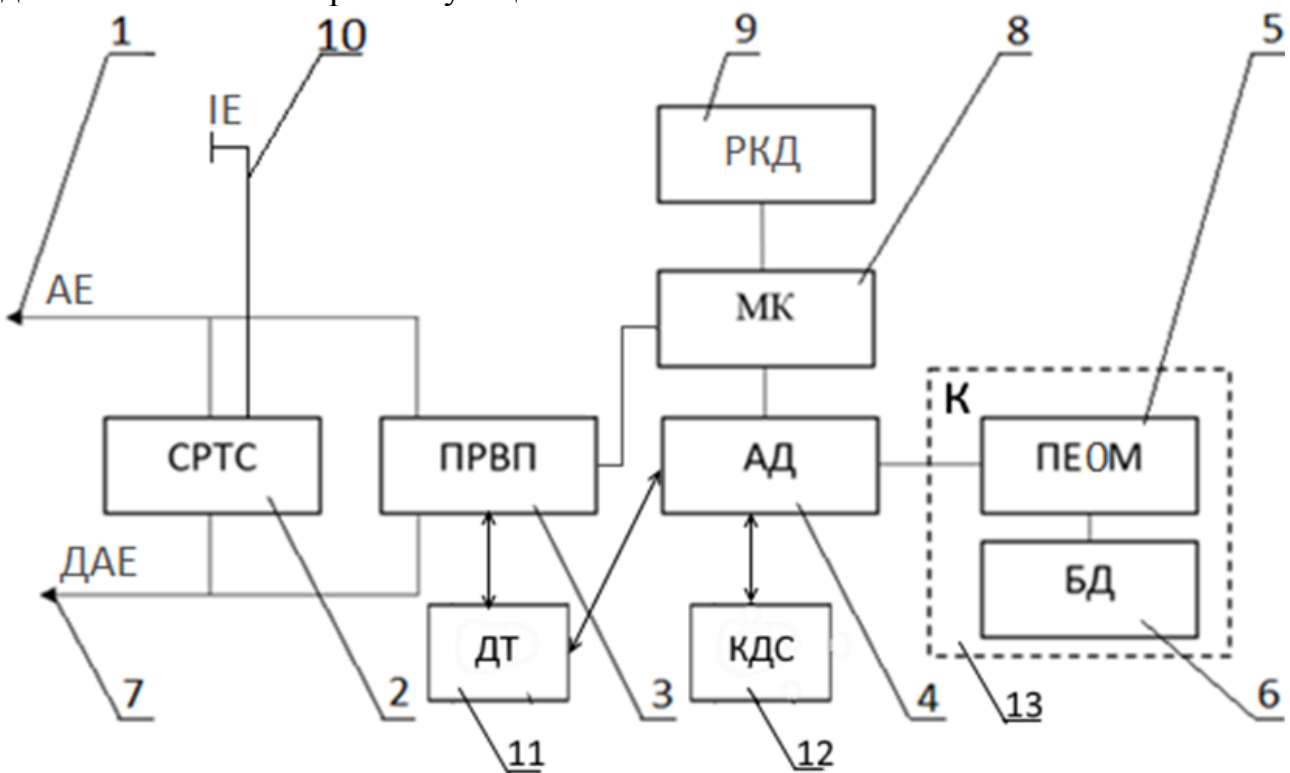


Рис.1. Функціональна схема

Значення параметрів електричного струму, що діє на пацієнта заміряють за допомогою осцилографа. А значення параметрів та їх градієнтів температури біологічної тканині пацієнта в зоні дії електричного струму заміряють вбудованим в систему датчиком температури (ДТ). Такий контрольований інтенсивний спосіб з імпульсною електростимуляцією здійснюють наступним чином. Активний електрод АЕ та індиферентиний електрод ІЕ установлюють в заданій зоні кінцівки чи тіла пацієнта. З приладу електростимуляції для формування електричних імпульсів з заданими нормованими параметрами через електроди пропускають імпульсний струм, що змінюється відповідно до заданих законів, з нормованими параметрами та формою. Дана система містить

комп'ютер К і адаптер АД, рідкокристалічний дисплей РКД та мікроконтролер МК, що зв'язані між собою, мікроконтролер підключений до приладу реєстрації вимірюваного параметра ПРВП та адаптеру, два активні і індіферентний електроди, прилад реєстрації вимірюваного параметра, з'єднаний з активними електродами, блоком стабілізації рівня тестуючого сигналу СРТС, а електроди з'єднані з блоком стабілізації рівня тестуючого сигналу, при цьому під'єднані датчики температури ДТ, з'єднаний з приладом реєстрації вимірювального параметру та кероване джерело струму КДС, що під'єднанні до адаптера [5].

Таким чином блоки керованого джерела струму та датчики температури, що під'єднанні до адаптера, з новим алгоритмом роботи, дозволили суттєво розширити функціональні можливості, за рахунок поєднання діагностики та системи звичної електротерапії.

Під час проведення процедури точно нормовані значення електричних сигналів заданої форми діють на задану ділянку тіла пацієнта. Осцилографом заміряються параметри діючого струму на біологічній тканині і індуються на табло РКД. В зоні дії струму за допомогою вбудованих датчиків ДТ фіксується значення температури з часу початку фізіопроцедури до її закінчення та її часові та поверхневі градієнти[6].

Для кожної системи, органу, типу і стадії захворювання вибирають необхідні точно нормовані параметри струму з діапазону (0 - 30,0) мА. Такий вибір виконують індивідуально для кожного пацієнта ще до початку лікування та підтримують протягом всього циклу фізіотерапевтичних процедур.

Імпульсний струм вище 30,0 мА може викликати порушення функцій органів і руйнування мембран і клітин, пригнічення метаболізму організму людини, а менше 1,0 мА - не визиває суттєвого позитивного терапевтичного ефекту. При цьому ефективність лікування набагато підсилюється при умові, що задані значення параметрів імпульсного струму та їх форма дійсно відповідають розрахунковим значенням визначеним до початку лікування і відповідають його протоколу та регламенту. Суттєвий ефект досягається і при зростанні частоти до 99,9 Гц [7]. А виміряні значення температури тіла та її часового і поверхневого градієнтів індують і підтверджують ефективність впливу цієї процедури. Це дає можливість виконувати виміри температур та їх градієнтів практично влюбій зоні тіла людини.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином розроблена системи стимуляції біологічних тканин з діагностикою параметрів струму та температури з новим алгоритмом діагностики комплексного значення опору шкіри біологічної тканини та поточного значення температури в момент виміру активного опору та формуванню необхідного корегуючого сигналу стимуляції біологічних тканин людини дозволили суттєво підвищити точність діагностики та розширити функціональні можливості за рахунок поєднання діагностики відхилень від нормального функціонального стану організму людини, електростимуляції і корегування електричного поля зони дослідження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В.П. Олейник, *Терапевтические аппараты и системы*. Учеб. пособие. — Харьков: Нац. аэрокосмический университет “Харьк. авиац. институт”, 2002.
- [2] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраев, А.Ю. Кравченко, *Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія*. Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [3] Tymchik G., Vysloukh S., Tereshchenko N., Matvienko S. Investigation thermal conductivity of biological materials by direct heating hermistor method. 2018 IEEE 38th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (Kyiv, 24.04.2018). Kyiv, 2018. P. 429-434
- [4] Г.С. Тимчик, М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик, «Система температурного контролю в магнітотерапії» *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія приладобудування, № 1(87), с. 111–116, 2013.
- [5] В.В. Цапенко, Н.Ф.Терещенко, Н.В. Чухраев. «Комплексный излучатель ультратонотерапии» *Приборостроение-2015: материалы 8й международной научно-технической конференции*, Минск, 25-27 ноября 2015 г.: в 2 т. Белорусский национальный технический университет; редкол.: ОК Гусев [и др.]. Минск, 2015. т. 1. с. 158-159.
- [6] Терещенко М. Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури / М. Ф.Терещенко, В. Ю. Рудик // XI Міжнар. науково-техн. конф. “Приладобудування 2012: стан і перспективи”, 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. с. 193 – 194.
- [7] Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения. Материалы 9–й Международной научно\_технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с.135.

**Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.**

УДК 615.847.8

Клепач М.М., студентка гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

**Анотація** Наведено дослідження глибини проникнення лікарських препаратів в біологічну тканину під впливом змінного магнітного поля. Встановлена залежність дозволяє контролювати та визначати час введення лікарського засобу, його проникнення в шари біологічної тканини. Проникність шкіри людини являє вагомий інтерес для фізіотерапії, так як на ній ґрунтується дія і терапевтичний ефект фізичних методів лікування. Задача дослідження впливає з розвитку методу неінвазивного введення лікарських препаратів.

**Ключові слова:** магнітне поле, трансдермальна доставка препаратів, лікарські засоби.

### ВСТУП

Магнітне поле має суттєвий вплив на організм людини. Під дією магнітного поля покращується кровообіг, розширюються судини, змінюється швидкість біохімічних та біофізичних процеси. Магнітотерапія практично не має протипоказань, використовується для лікування людей будь-якого віку при широкому спектрі захворювань.

Магнітотерапія, заснована на використанні магнітних полів з різних джерел в широкому діапазоні зміни параметрів, міцно увійшла в клінічну практику і широко використовується в лікуванні багатьох захворювань. Застосування магнітних полів в комбінації з лікарською терапією сприяє досягненню цілей: зростанню ефективності лікування та зниження побічної дії лікарських речовин. В наш час магнітні поля широко використовуватися для підвищення проникності шкіри і клітинних мембран для лікарських речовин, доставки лікарських засобів в системи, органи та біологічні тканини (БТ) людини .

Серед методів магнітотерапії вагоме місце займає магнітофорез лікарських речовин, в основі якого лежить взаємодія фармацевтичних препаратів (ФП) та магнітних полів з різними параметрами. На сьогоднішній день магнітофорез досліджений досить мало, тому задача даної роботи досить актуальною.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задачею цієї роботи є дослідження глибини проникнення лікарських препаратів в біологічну тканину під впливом змінного магнітного поля. При отриманні якоїсь закономірності, це дозволяє контролювати та прогнозувати час введення лікарського засобу в БТ, його проникнення в шари біологічної тканини. Така методика дозволяє створення високої концентрації лікарського препарату в локальній зоні і є найбільш ефективною, коли потрібно депонувати необхідну кількість препарату для його пролонгованої дії, наприклад, при хронічних болях в хребті або суглобах кінцівок. Крім того, введені ліки зменшують рівень шкідливого впливу на організм людини. Такі властивості обумовлюють оптимальні умови для довготривалого і регулярного самостійного застосування лікарського засобу пацієнтом.

Ця задача витікає з напрямів розвитку методу неінвазивного введення фармацевтичних препаратів, оскільки описаний метод доставки лікарської

речовини є більш ефективнішими та безпечнішими в порівнянні з інвазивними ін'єкціями в БТ.

Під час експерименту досліджувалась властивість речовин проникати в біологічну тканину. Проникнення речовин через шкіру, в загальному випадку, відбувається за законом Фіка [1]:

$$J_s = K_p \Delta C_s, \quad (1)$$

де  $J_s$  – значення потоку надходження речовини;  $K_p$  – величина константи проникності;  $\Delta C_s$  – величина різниці концентрації по обом сторонам мембрани.

Так R. Tregear, узагальнивши об'ємні дані досліджень, дійшов до висновку, що в більшості випадків процес всмоктування речовини через шкіру ґрунтується на законі Фіка і може, в стандартних умовах, бути вираженим рівнянням [2]:

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_m}{\delta} \cdot \Delta C_s, \quad (2)$$

де  $J_s$  – значення потоку надходження речовини (притік);  $K_m$  – величина коефіцієнта розподілу речовини між мембраною і розчинником;  $D_m$  – значення константи дифузії для розчиненої речовини в мембранному шарі;  $\delta$  – значення товщини мембрани,  $\Delta C_s$  – величина різниці концентрації по протилежним сторонам мембрани.

Значення товщини мембрани залежить від сукупності параметрів [3]:

$$\delta(\tau) = -\frac{\tau}{t} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}\right)\right) \quad (3)$$

де  $\delta(\tau)$  – залежність товщини мембрани від сталої часу відновлення мембрани,  $t$  – час дифузії в мембрані (еквівалентна часу дії магнітного поля),  $\tau$  – стала часу відновлення мембрани для даного типу мембран,  $E$  – дифузійний потенціал еквівалентної енергії дії магнітного поля,  $F$  – стала Фарадея,  $R$  – універсальна газова стала,  $T(\tau)$  – температура,  $u_k, u_{Na}$  – значення потенціалів концентрації іонів калію і натрію.

Підставивши рівняння (3) в вираз (2) отримаємо математичну модель залежності потоку проникнення фармацевтичного препарату в біологічну тканину під дією енергії  $E$  магнітного поля

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_m}{-\frac{\tau}{t} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}\right)\right)} \cdot \Delta C_s \quad (4)$$

Проведемо дослідження отриманої залежності (4).

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Поставлена задача вирішувалась шляхом встановлення закономірності параметрів глибини і швидкості проникнення фармакологічного препарату в шкірні покриви при впливі змінного магнітного поля. Вплив змінного МП здійснювали за допомогою комбінованого фізіотерапевтичного апарату «МІТ-11» [4]. Для практичного обґрунтування ефективності дії змінного магнітного поля було проведено дослідження із серією замірів на біологічній тканині, використовуючи фармакологічні препарати різного структурно-молекулярного



стану, кольору, розміру(розчини йоду (I), переманганату калію ( $KMnO_4$ ), брильянтовий зелений ( $C_{27}H_{34}N_2O_4S$ )), з використанням експериментальної установки, структурна схема якої наведена на рис. 1.



Рисунок 1. Структурна схема експериментальної установки

Діємо імпульсним низькоінтенсивним магнітним полем з використанням біполярних імпульсів МП, що змінюється по амплітуді з індукцією (5,0-80,0) мТл і частотою проходження імпульсів (0,1-20,0) Гц. Для формування біполярного імпульсного періодично змінюваного по амплітуді магнітного поля використовують імпульсний струм. Магнітна індукція поля, при цьому дорівнює [5]:

$$B(t) = k_B \cdot I(t) \quad (5)$$

де  $I(t)$  – значення імпульсного струму,  $k_B$  – постійна по магнітній індукції котушки даного типу індуктора,

Процес впливу імпульсним магнітним полем на пацієнта контролюють шляхом заміру значень магнітної індукції на ділянці тіла пацієнта в зоні дії поля та значенням часового та поверхневого градієнтів температури в цій же зоні в період з початку процедури впливу і її закінчення. Амплітуди магнітної індукції змінюються в межах (1,0-100,0) мТл і частоти проходження імпульсів лежать в межах (0,1-100,0) Гц. Вимір градієнтів температури виконують безконтактно.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході виконання даного експерименту були оцінені ефективність дії змінного магнітного поля на глибину проникнення лікарських препаратів протягом заданого інтервалу часу. Отримані наступні результати та висновки:

- 1) при збільшенні терміну впливу змінним магнітним полем – збільшується значення глибини проникнення ФП (дивись рис. 2);
- 2) найбільшу глибину проникнення отримуємо, використовуючи розчини йоду (I) та брильянтового зеленого ( $C_{27}H_{34}N_2O_4S$ ).

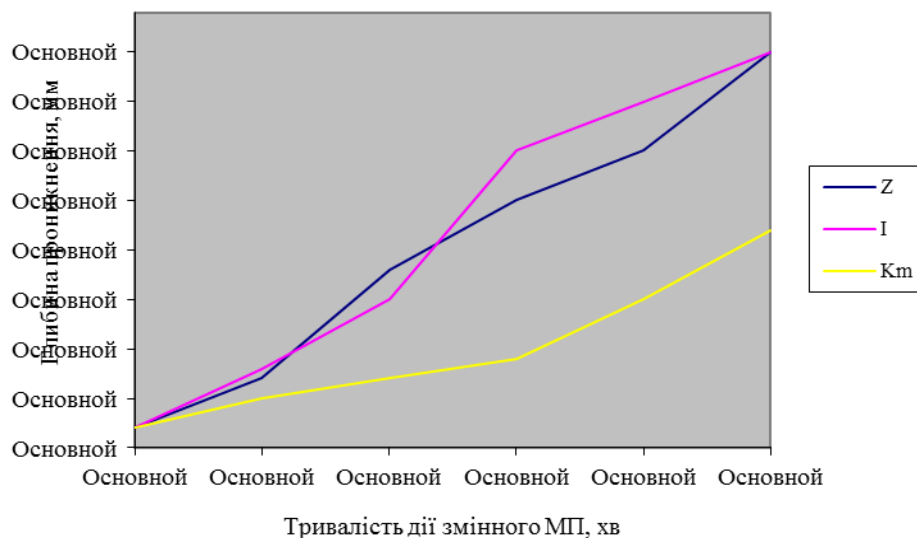


Рисунок 2. Залежність глибини проникнення ФП від тривалості дії змінного МП

## ВИСНОВКИ

Таким чином, ми експериментально встановили залежність глибини проникнення ФП від тривалості дії змінного магнітного поля. Зростання часу дії та інтенсивності змінного магнітного поля призводить до збільшення глибини проникнення ФП. При цьому для досліджуваних сполук ФП швидкість зростання суттєво різниця .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, *Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія* . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»,2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501..>
- [2] В.С. Улащик, *Трансдермальное введение лекарственных веществ и физические факторы: традиции и инновации*. Минск: Беларус. наука, 2017. 266с.
- [3] Паньков С.Б., Терещенко М.Ф., «Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності», *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 29(68), №4 ч.1, 2018. с.61-66.
- [4] Терещенко М.Ф., Гриценко В.В.. «Методи та принципи побудови фізіотерапевтичної апаратури імпульсних магнітних полів», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*. –Вип.38.- с.127-135, 2009.
- [5] Терещенко М.Ф., Кос О.С. «Особливості та структура автоматизованого магнітотерапевтичного апарату», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип.48(2).- с.188-193, 2014.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

**УДК 615.84: 615.032**

*В.В. Копицик, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ імені Ігоря Сікорського*

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН**

**Анотація:** приведені результати дослідження впливу параметрів ультразвукових коливань на проникність лікарських речовин трансдермальним шляхом. Отриманні дані дозволять контролювати та передбачати результати використання ультрафонофорезу при лікуванні тих чи інших захворювань. Неінвазивне лікування є оптимальним методом лікування так як при використанні має найменшу кількість побічних ефектів, що викликає інтерес до фізіотерапії.

**Ключові слова:** ультразвук, ультрафонофорез, трансдермальний метод, проникність, фізіотерапія

### **ВСТУП**

Ультразвукові коливання покращують обмін речовин, проявляють нормалізуючий вплив на всі системи організму, наділені знеболюючим, спазмолітичним, протизапальним і десенсибілізуючу властивостями [1].

Прискорення та посилення процесів на клітинному та тканинному рівні збільшує проникність шкіри та активізує фізіологічні процеси в організмі, що дозволяє використовувати природу ультразвукових коливань для трансдермального методу введення лікарських речовин [2].

Лікарські речовини в залежності від свого хімічного складу та властивостей мають різну проникність при різних частотах та часі впливу. Тому важливо дослідити фізичні фактори, що впливають на проведення процедури, щоб збільшити ефективність проведення фізіотерапії [3].

### **ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ**

Ультрафонофорез лікарських речовин - поєднання впливу на організм ультразвуку і нанесенням на шкіру або слизисті оболонки лікарських речовин.

При ультразвуковій терапії на біологічний об'єкт діють три фактори: механічний, що підвищує проникність клітинної мембрани, розриває слабкі міжмолекулярні зв'язки, підвищує функціональну активність клітин крові та інше; тепловий, що змінює швидкість біохімічних реакцій і дифузних процесів, підвищує мікроциркуляцію; фізико-хімічний, що проявляється в зміні фізико-хімічних, біохімічних та біофізичних процесів [4].

В порівнянні з високочастотним ультразвуком, що знайшов своє застосування в медичній практиці набагато раніше, низькочастотний ультразвук відносно новий напрямок в терапії та поки маловивчений його лікувальний ефект.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

В ході дослідження низькочастотного ультразвуку було встановлено, що він має набагато більшу проникність в тканини, має виражений бактерицидний та протизапальний ефект, проти набряковий ефект, ефективно впливає на судинну і епітеліальну проникність, при певних умовах може викликати кавітацію.

Здатність речовини проникати через шкіру характеризується проникністю. Зміна значення проникності обрховується за формулою Фіка [6]:

$$J_s = K_p \Delta C_s, \quad (1)$$

де,  $J_s$  - потік надходження речовини,  $K_p$  – значення константи проникності,  $\Delta C_s$  – значення різниці концентрації сторін мембрани.

В нормальних умовах, без стороннього впливу, рахуючи роговий шар, як порівняно товсту мембрану, проникність речовини можна описати рівнянням[7]:

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_m}{\delta} \cdot \Delta C_s, \quad (2)$$

де,  $J_s$  – значення потоку надходження речовини,  $K_m$  – величина коефіцієнту розподілу речовини між мембраною і розчинником,  $D_m$  - значення константи дифузії для розчиненої речовини в мембрані;  $\delta$  - товщина мембрани,  $\Delta C_s$  - значення різниці концентрації по різних сторонах мембрани.

Значення швидкості дифузії описується рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = -D \cdot s \cdot \lim_{l \rightarrow 0} \frac{C_1 - C_2}{L}, \quad (3)$$

де,  $\frac{dm}{dt}$  - швидкість дифузії,  $D$  - коефіцієнт дифузії,  $s$  - площа мембрани,  $L$  - товщина мембрани,  $C_1$  і  $C_2$  концентрація речовини по різні сторони мембрани.

Протікання процесу дифузії залежить від температури, природи розчинених речовин і її стану ліпідної розчинності.

Дана робота спрямована на дослідження природи впливу ультразвукових коливань різної інтенсивності та частоти на глибину проникнення лікарських препаратів протягом певного інтервалу часу.

Данні отримані шляхом експериментальних досліджень, допоможуть розробити терапевтичний метод лікування, що дозволить створювати високу концентрацію препарату в зоні патології, прискорювати процес впливу та продовжувати термін дії. Крім того, рівень шкідливого впливу на організм людини при використанні даної методики мінімальний.

Даний метод зарекомендував себе для тривалого та постійного застосування пацієнтом при хронічних захворюваннях.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості генератора ультразвукових коливань використовувався апарат для комбінованої фізіотерапії МИТ-11, що назначений для комплексного фізіотерапевтичного впливу. Дана модель дозволяє проводити процедури з використанням низькочастотного ультразвуку частотою в 44 кГц.

Фармакологічні речовини при використанні ультразвуку поступають в організм за рахунок різних механізмів, на сам перед, дифузії та форетичної здатності ультразвуку.

Для проведення досліджень в якості біологічного зразку використовувалася жирова тканина свині.

Для проведення експериментів використовувалося чотири частоти, що впливають на визначенні біологічні процеси в організмі. Були використанні:

1. 1,2 Гц (впливає на кардіоритм в організмі);

2. 9,4 Гц (стимулює роботу капілярів, впливаючи на серцево-судинну систему);
3. 37 Гц ( блокування калієвих каналів);
4. 77 Гц (знеболювальна дія);

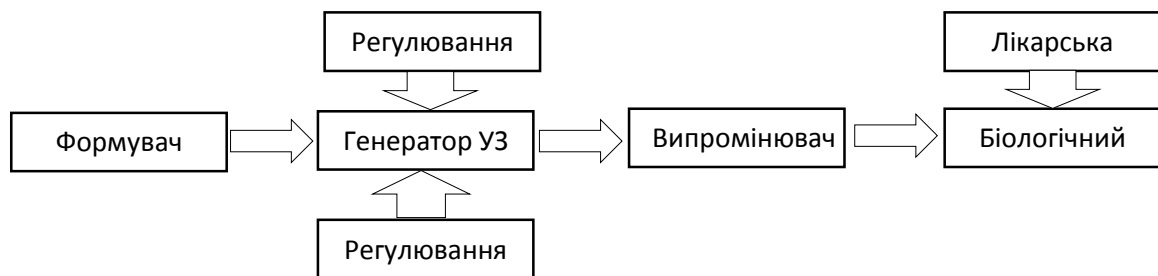
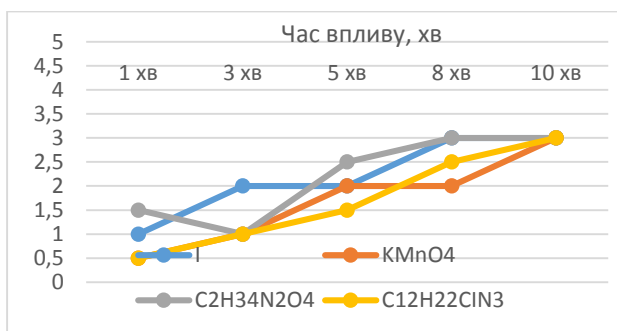
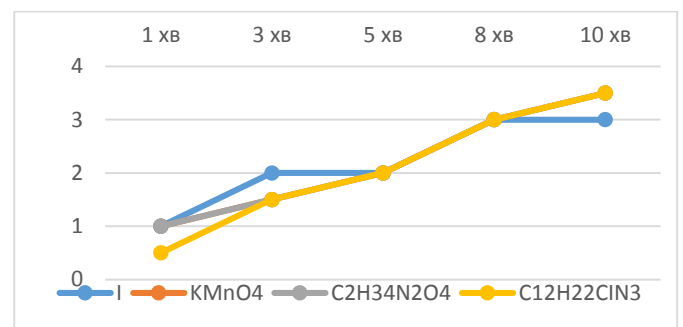


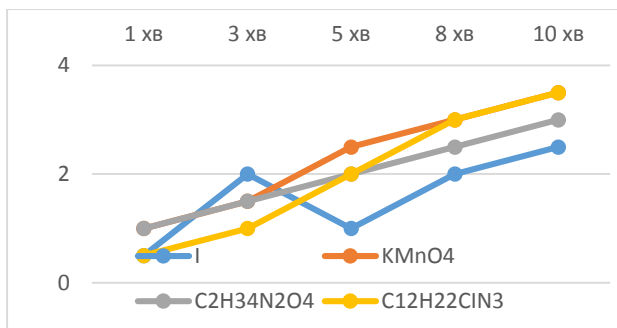
Рис.1. Структурна схема експерименту



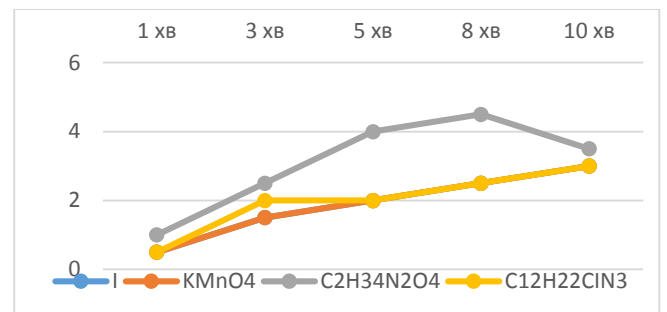
а)



б)



в)



г)

Рис.2. Залежність глибини проникнення від тривалості впливу на частоті:

а) 1,2 Гц; б) 9,4 Гц в) 37 Гц; г) 77 Гц

При збільшенні частоти та часу глибина проникнення збільшується по різному для розчинів йоду, марганцевокислого калію, оксамитового зеленого.

При низьких частотах та невеликому часі впливу підвищується форетична активність введення лікувального препарату.

## ВИСНОВКИ

Використання низькочастотного ультразвуку при ультрафонофорезі має ефективну лікувальну дію.

Порівнявши отриманні результати ми можемо зробити висновок, що глибина проникнення для різних лікувальних препаратів залежить від частоти ультразвуку.

Результати глибини проникнення речовин відповідних частот, що були використані в ході дослідження, характеризують дану методику, як ефективний метод в фізіотерапії для лікування та профілактики захворювання.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В. С. Улащик Трансдермальное введение лекарственных веществ и физические факторы: традиции и инновации , Минск: Беларуская наука, 2017. - 266 с. - ISBN 978-985-08-2082-2.
- [2] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраев, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.В.С.
- [3] В.С. Улащик Общая физиотерапия: Учебник / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. - 3-е изд., стереотип.-Мн.: Книжный Дом, 2008. - 512 с.:ил. ISBN 978-985-489-850-6.
- [4] С.Б. Паньков, М.Ф. Терещенко, «Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності». Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68), №4 ч.1, 2018. с.61-66.
- [5] С.Б.Паньков, Н.Ф.Терещенко. «Эффективность применения ультразвука при транскутанному методе введения лекарственных препаратов», Новые направления развития приборостроения. Материалы 11-й Международ. научно-технич. конф. молодых учёных и студентов. 18-20 апреля 2018г. Минск: БНТУ, 2018. с.77
- [6] В.В. Цапенко, Н.Ф.Терещенко, Н.В. Чухраев, «Комплексный излучатель ультратонотерапии», Приборостроение-2015: материалы 8-й международной научно-технической конференции, Минск, 25-27 ноября 2015 г.: в 2 т. Белорусский национальный технический университет; редкол.: ОК Гусев [и др.].Минск, 2015.Т. 1.С. 158-159.
- [7] М.Ф.Терещенко, Г.С.Тимчик, С.Б.Паньков, М.В. Чухраев «Визначення глибини проникнення фармакологічних препаратів у біологічний об'єкт при ультрафонофорезу», Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування, №56(2), с. 97-103, 2018
- [8] В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко «Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань» Новые направления развития приборостроения. Материалы 9-й Международ. научно-технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 –22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – С.135.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

УДК 535.2

Лоєнко А.А., Лоєнко Є.О., студенти гр. ПБ-382мп  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## **ВПЛИВ ОПРОМІНЮВАННЯ КРОВІ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ОПТИЧНОГО ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ НА ОКСИГЕНАЦІЮ КРОВІ ТА ЧАСТОТУ ПУЛЬСУ**

**Анотація.** Розроблено аналітичні моделі для проведення розрахунків вмісту кисню в крові при лазеротерапії. Результати проведених розрахунків та досліджень дозволили визначити та обґрунтувати необхідну тривалість часу досягнення ефекту впливу оптичного випромінювання на показники крові в залежності від типу шкіри. Зроблено висновок проте, що можна контролювати локальну концентрацію вільного молекулярного кисню у тканинах.

**Ключові слова:** лазер, оксигенація, шкіра

### **ВСТУП. АКТУАЛЬНІСТЬ. ПРОБЛЕМАТИКА**

Досягнення сучасної техніки і медицини потребують вдосконалення існуючих і нових методик і оптимізації параметрів лазерних випромінювачів. Зазвичай параметри опромінювання встановлюються перед початком процедури і таким чином неможливо контролювати зміни, які проходять в організмі[1,2]. Система біологічно – зворотного зв'язку дозволяє проводити моніторинг стану пацієнта безпосередньо під час проведення процедур лазерної терапії і, в разі настання небажаного ефекту, негайно припинити опромінення.

### **АНАЛІЗ МЕТОДИК**

Світло у видимій області спектру зазвичай поглинається хроматофорними групами у білкових молекулах, зокрема киснем. Найбільш важлива роль тут належить гемоглобіну, меланіну ряду ферментів і пігментів (В.І.Козлов і співавтори). Завдяки наявності у кисню смуги поглинання в діапазоні, близькому до 640 нм, він активно поглинає червоне світло і таким чином переходить у синглетний стан, ініціюючи у тканинах окислювальні процеси (С.Д.Захаров). Саме тому важливим є питання оцінки ступеню оксигенації при визначенні лазерного впливу на організм.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що проникна спроможність випромінювання від ультрафіолетового до оранжевого діапазону поступово збільшується від 20 мкм до 2.5 мм з різким збільшенням глибини проникнення у червоному діапазоні (до 20-30 мм), з піком проникаючої спроможності у ближньому інфрачервоному (при  $\lambda=0.95$  мкм – до 50 мм) і різким зниженням до долі міліметра далі (С.В.Москвин).

### **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

Саме тому питання вивчення зміни насичення крові киснем і частоти пульсу при опромінюванні крові оптичним випромінюванням видимого діапазону є актуальною задачею медичного приладобудування, вирішення якої дозволяє, по – перше, визначити час настання ефекту від лазеротерапії в залежності від типу шкіри і, по – друге, знайти індивідуальний підхід до кожного пацієнта в залежності від його фізіологічних характеристик. Для дослідження впливу оптичного випромінювання видимого діапазону на оксигенацію крові і частоту пульсу необхідно проаналізувати будову двох взаємопов'язаних систем організму – серцево-судинної і дихальної.

## АНАЛІЗ ФІЗИКО-БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Більшість процесів життєдіяльності пов'язані з переносом речовин через мембрани. Такий перенос в біологічних системах отримав назву транспорту. Якщо він відбувається зі зменшенням електрохімічного потенціалу, тобто не потребує затрат енергії, то такий транспорт називається пасивним. Його різновидами є дифузія (переміщення речовин в сторону меншої концентрації) і фільтрація (проходження речовин через пори в бік менших значень тиску). Саме за допомогою дифузії в клітини проникають молекули кисню і вуглекислого газу.

Кисень переноситься кров'ю у двох формах. Більша частина (99%) зв'язується з гемоглобіном, але також існує невелика кількість кисню (1%), розчиненого у плазмі. Кожен грам гемоглобіну при повному насиченні може переносити 1,38мл кисню. Таким чином, кожен літр крові з концентрацією гемоглобіну 15 г/дл (150 г/л) може переносити близько 200мл кисню при повному насиченні ( $P_{aO_2} > 100$  мм Hg – парціальний тиск  $O_2$  в артеріальній крові). При такому тиску до 3 мл кисню розчиниться у кожному літрі плазми.

Концентрація гемоглобіну може змінюватися в залежності від віку. Так, у дорослої людини концентрація гемоглобіну в нормі дорівнює 120-140 г/л для жінок і 130-160 г/л для чоловіків, в той самий час, як у новонароджених у перші 13 діб життя вміст гемоглобіну складає  $195 \pm 50$  г/л, у немовлят з другого тижня до трьох місяців -  $140 \pm 33$  г/л, з трьох місяців до десяти років -  $122 \pm 23$  г/л, з десяти до п'ятнадцяти років -  $132 \pm 24$  г/л незалежно від статі [3].

## АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ

Необхідно розрахувати залежність вмісту кисню в крові ( $CaO_2$ ), доставку кисню ( $DO_2$ ), споживання кисню у тканинах ( $VO_2$ ) і коефіцієнт утилізації ( $K_{VO_2}$ ) від концентрації гемоглобіну[4,5,6,7].

1. Вміст кисню в крові визначається наступним чином:

$$CaO_2 = (1,38 \cdot SpO_2 \cdot Hb) + (0,0031 \cdot PaO_2) \quad (1)$$

2. Кисень, що знаходить у крові в процесі циркуляції розноситься до всіх органів і тканин організму, де проходить його утилізація в залежності від метаболічної необхідності. Загальна кількість кисню, що доставляється до тканин організму, визначається з формули:

$$DO_2 = 1,38 \cdot CO \cdot Hb \cdot SpO_2 \quad (2)$$

3. Споживання кисню тканинами визначається різницею між доставкою кисню артеріальною кров'ю і насиченням киснем змішаної венозної крові:

$$VO_2 = 1,38 \cdot CO \cdot Hb \cdot (SpO_2 - SvO_2) \quad (1.19)$$

4. Частина з загальної кількості кисню утилізується для забезпечення метаболічних процесів у тканинах і органах. Коефіцієнт утилізації розраховується з формули:

$$K_{VO_2} = \frac{VO_2}{DO_2} \cdot 100\% \quad (3)$$

Дано наступні значення: Hb – вміст гемоглобіну в крові, SpO<sub>2</sub> – сатурація оксигемоглобіну в артеріальній крові = 98%, PaO<sub>2</sub> – парціальний тиск кисню в артеріальній крові = 100 мм Hg, 1,38 – коефіцієнт Гуфнера, 0,0031 – коефіцієнт



Бунзена (кількість кисню у мл, яка розчинена у плазмі 100 мл крові),  $CO$  – серцевий викид  $= 5$  л/хв,  $SvO_2$  – насичення киснем змішаної венозної крові (такою вважається кров з легеневої артерії)  $= 75\%$ .

Вміст кисню в крові визначаємо з формули (1)

Для жінок:

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 180) + (0,0031 \cdot 100) = 243,74 \text{ мл/л} - \text{при еритремії.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 125) + (0,0031 \cdot 100) = 169,36 \text{ мл/л} - \text{норма.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 85) + (0,0031 \cdot 100) = 115,26 \text{ мл/л} - \text{при анемії легкої форми.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 66) + (0,0031 \cdot 100) = 89,57 \text{ мл/л} - \text{при анемії середньої форми.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 50) + (0,0031 \cdot 100) = 67,93 \text{ мл/л} - \text{при анемії тяжкої форми.}$$

Для чоловіків:

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 220) + (0,0031 \cdot 100) = 297,84 \text{ мл/л} - \text{при еритремії.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 150) + (0,0031 \cdot 100) = 203,17 \text{ мл/л} - \text{норма.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 110) + (0,0031 \cdot 100) = 149,07 \text{ мл/л} - \text{при анемії легкої форми.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 82) + (0,0031 \cdot 100) = 111,21 \text{ мл/л} - \text{при анемії середньої форми.}$$

$$CaO_2 = (1,38 \cdot 98 \cdot 65) + (0,0031 \cdot 100) = 88,22 \text{ мл/л} - \text{при анемії тяжкої форми.}$$

Доставку кисню розраховуємо з формули (2)

Для жінок:

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 180 \cdot 98 = 1217,16 \text{ мл/хв} - \text{при еритремії.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 125 \cdot 98 = 845,25 \text{ мл/хв} - \text{норма.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 85 \cdot 98 = 574,77 \text{ мл/хв} - \text{при анемії легкої форми.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 66 \cdot 98 = 446,29 \text{ мл/хв} - \text{при анемії середньої форми.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 50 \cdot 98 = 338,1 \text{ мл/хв} - \text{при анемії тяжкої форми.}$$

Для чоловіків:

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 220 \cdot 98 = 1487,64 \text{ мл/хв} - \text{при еритремії.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 150 \cdot 98 = 1014,3 \text{ мл/хв} - \text{норма.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 110 \cdot 98 = 743,82 \text{ мл/хв} - \text{при анемії легкої форми.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 82 \cdot 98 = 554,48 \text{ мл/хв} - \text{при анемії середньої форми.}$$

$$DO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 65 \cdot 98 = 439,53 \text{ мл/хв} - \text{при анемії тяжкої форми.}$$

Споживання кисню тканинами визначаємо з формули (3)

Для жінок:

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 180 \cdot (98 - 75) = 285,66 \text{ мл/хв} - \text{при еритремії.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 125 \cdot (98 - 75) = 198,38 \text{ мл/хв} - \text{норма.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 85 \cdot (98 - 75) = 134,9 \text{ мл/хв} - \text{при анемії легкої форми.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 66 \cdot (98 - 75) = 104,74 \text{ мл/хв} - \text{при анемії середньої форми.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 50 \cdot (98 - 75) = 79,35 \text{ мл/хв} - \text{при анемії тяжкої форми.}$$

Для чоловіків:

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 220 \cdot (98 - 75) = 349,14 \text{ мл/хв} - \text{при еритремії.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 150 \cdot (98 - 75) = 238,05 \text{ мл/ хв} - \text{ норма.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 110 \cdot (98 - 75) = 174,57 \text{ мл/ хв} - \text{ при анемії легкої форми.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 82 \cdot (98 - 75) = 130,13 \text{ мл/ хв} - \text{ при анемії середньої форми.}$$

$$VO_2 = 1,38 \cdot 5,0 \cdot 65 \cdot (98 - 75) = 103,16 \text{ мл/ хв} - \text{ при анемії тяжкої форми.}$$

Коефіцієнт утилізації кисню визначаємо з формули

$$KVO_2 = \frac{198,38}{845,25} \cdot 100\% = 23,47\% - \text{ при еритремії для жінок.}$$

$$KVO_2 = \frac{349,14}{1487,64} \cdot 100\% = 23,47\% - \text{ при еритремії для чоловіків.}$$

Як бачимо, даний коефіцієнт є постійною величиною незалежно від статі, вмісту гемоглобіну або наявної хвороби.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Отримані результати наведемо на графіках залежності отриманих величин від концентрації гемоглобіну. На рисунку 1 розглядається залежність вмісту кисню в крові від концентрації гемоглобіну (а-для жінок, б- для чоловіків). На рисунку 2 наведено залежність доставки кисню від концентрації гемоглобіну (а- для жінок, б- для чоловіків). Залежність споживання кисню від концентрації гемоглобіну наведено на рисунку 3 (а- для жінок ,б – для чоловіків).

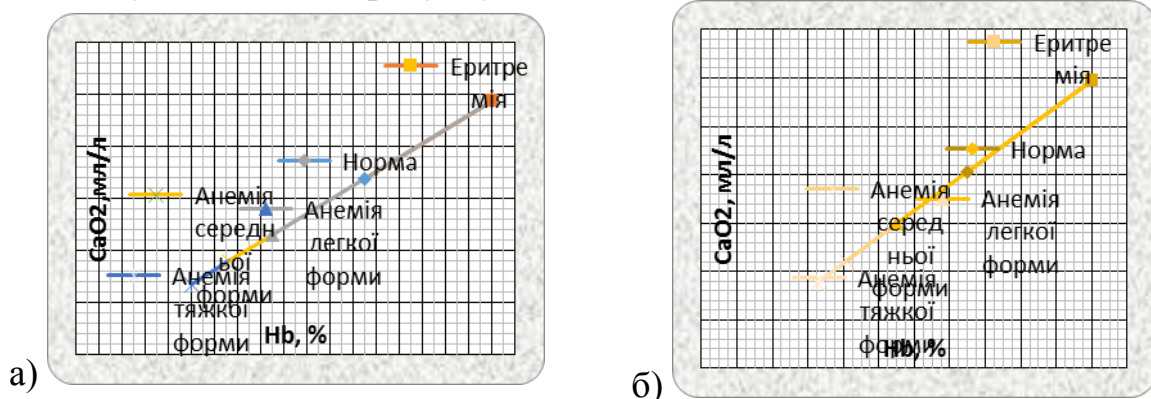


Рисунок 1. – Залежність вмісту кисню в крові від кількості гемоглобіну (а-для жінок; б- для чоловіків)

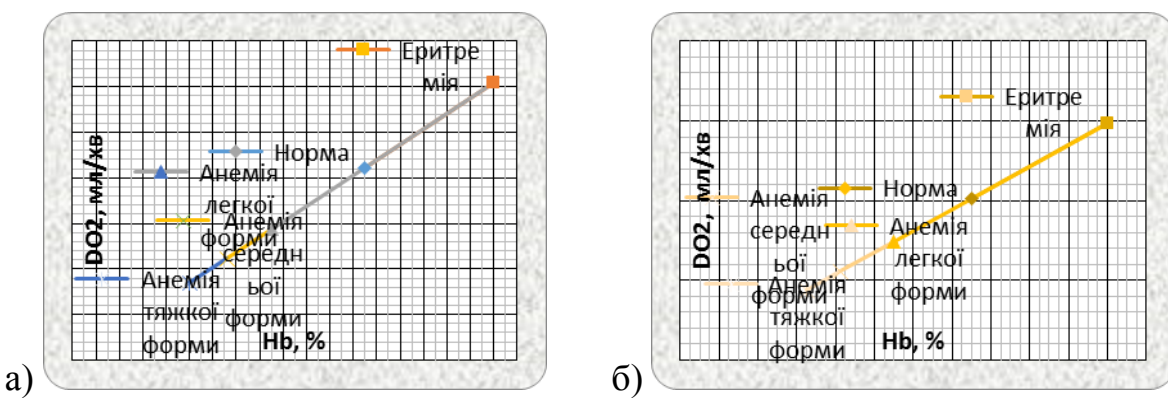


Рисунок 2. – Залежність доставки кисню в тканини від кількості гемоглобіну (а-для жінок; б-для чоловіків)



## ВИСНОВКИ

Встановлено, що різке зниження оксигенації зумовлене фотодисоціацією оксигемоглобіну з вивільненням кисню (O<sub>2</sub>) і відновленням гемоглобіну (Hb). Таким чином можна контролювати локальну концентрацію вільного молекулярного кисню у тканинах. Додаткове вивільнення кисню дозволяє завадити тканинній гіпоксії, стимулювати аеробний метаболізм клітин, і як наслідок – досягти бажаного терапевтичного ефекту. Виявлено, що після опромінення протягом 5 або 10 хвилин значення оксигенації зменшується у 61% опромінених, збільшується – у 22%, залишається без змін – у 17% (характерно для представників I і II типів шкіри). Частота пульсу зменшується і збільшується у 39% пацієнтів, залишається без змін – у 22%.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Иванов К.П., Кисляков Ю.А. Энергетические потребности и кислородное обеспечение головного мозга. – Л.: Наука, 1979 – 214с.
- [2] Мищенко Д.Л., Пилипенко М.Н. Мониторим оксигенацию //Медицина техника. – 2008. -№3(4). – С.27-30.
- [3] Москвин С.В., Буйлин В.А. Основы лазерной терапии. – М. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2006. – 256 с.
- [4] Негрійко А.М. Експериментальні дослідження механічних та спектральних ефектів у взаємодії лазерного випромінювання з атомами та молекулами: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук / КНУ ім. Т. Шевченка. – К., 2005. – 19 с.
- [5] Денисенко О.І. Експериментальне обґрунтування оптимальної експозиції лазерного опромінення крові у хворих на алергодерматози // Клінічна та експериментальна патологія. – 2004. – Т3.№4. – С. 19-23.
- [6] Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Клочко Т.Р. Інтегровані фізіотерапевтичні системи ТОНТОР: Монографія. - м. Київ, НТУУ"КПІ", 2007, 215с.
- [7] Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А., Клочко Т.Р. Фізичні засади технології ТОНТОР: Монографія. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 352 с., іл.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

**УДК 535.2:535.36:53.043**

*А.І. Нагорний, студент гр. БП - 51, М.О. Безуглий к.т.н., доцент*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **КОНТРОЛЬ ДОЗИ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИВЕДЕННІ ТАТУЮВАНЬ**

*Анотація.* В даній роботі на основі модельного експерименту проаналізовано вплив оптичного просвітлення на ефективність доставки лазерного випромінювання за допомогою фотометра з еліпсоїдальними рефлекторами.

**Ключові слова:** просвітлення, рефлектор, фотометрія, татуювання.

### **ВСТУП**

Швидка зміна популярності тих чи інших видів татуювань є поштовхом для розробки та удосконалення методів видалення зображення зі шкіри. До недавнього часу процес видалення татуювання був малоефективним оскільки існуючі методики базувались на деструкції тканини разом з тату-пігментом, що в багатьох випадках залишало рубці [1,2]. На сьогоднішній день активно розвивається метод селективного фототермолізу [1]. Даний метод базується на вибіркового поглинанні лазерного випромінювання. Фотони, випущені лазером, проникають в дерму та поглинаються пігментом, при цьому останній нагрівається та руйнується його молекулярна структура, що дозволяє в подальшому лімфатичній системі вивести пігмент з тіла людини. У залежності від кольору тату-пігменту може застосовуватись рубіновий, неодимовий, александритовий або діодний лазер.

Основною проблемою при доставці оптичного випромінювання для видалення татуювань залишається високе світлорозсіювання верхніх шарів шкіри, що спричинено неоднорідністю їх показників заломлення. Одним із методів який дозволяє вирівняти показники заломлення є оптичне просвітлення, яке полягає у введенні спеціальних хімічних агентів в шкіру. Контролювати ефективність оптичного просвітлення можна шляхом вимірювання динаміки енергетичних та спектральних характеристик, а також шляхом оцінки зміни якості зображення. До методів які базуються на вимірюванні енергетичних та спектральних характеристик можна віднести рефрактометрію, фотометрію, спектрометрію [3]. До методик, основою яких є оцінка зображення, відносять конфокальну [4] та двох-фотонну [5] мікроскопію.

При використанні лазерного випромінювання в біології та медицині, важливо враховувати його енергетичні параметри. При цьому ключовим при визначенні дози опромінення є режим роботи лазера - безперервний або імпульсний. На відміну від дози опромінення, поглинена доза, яка і визначає дію лазерного випромінювання, завжди буде меншою. Це обумовлене відбиттям частини енергії від шкіри. Величину відбитої енергії, яка може варіюватись в значних межах в залежності від оптичних властивостей досліджуваної ділянки тіла, визначають за допомогою фотометрів. Фотометри з еліпсоїдальними рефлекторами [6-7] дозволяють конструктивно поєднати процес опромінення та контролю дози поглиненого світла. З огляду на це, метою даною роботи є оцінка можливості контролю дози лазерного випромінювання при виведенні татуювань

зі шкіри людини, що зазнала оптичного просвітлення, за допомогою фотометру з еліпсоїдальним рефлексором.

## **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ**

Оскільки при нанесенні тату пігмент залягає переважно в верхніх шарах дерми, відповідно до цього моделювання проводилось з урахуванням товщини складових шарів шкіри плеча, де дерма має найбільшу анатомічну товщину [6].

Фотометр являє собою пристрій, структурна схема якого показана на рис. 1.

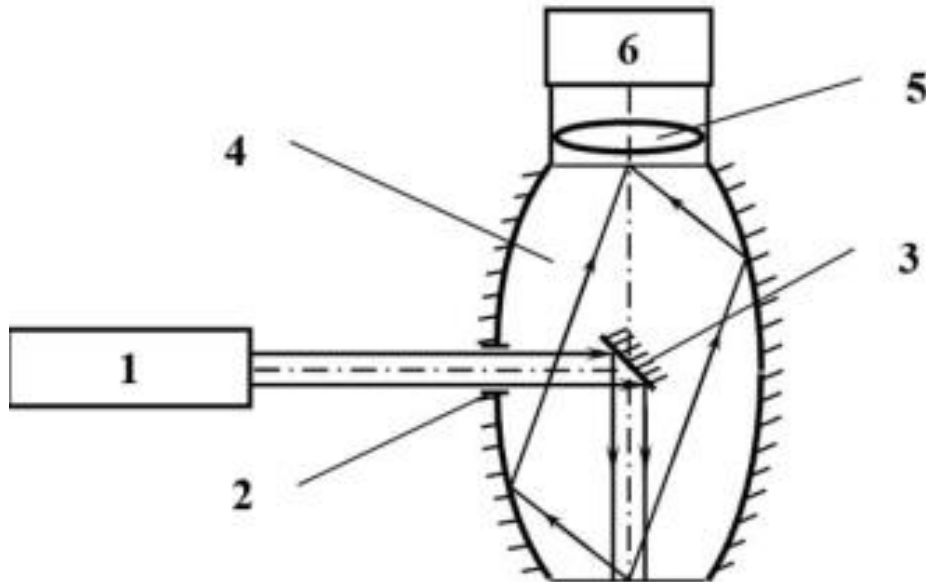


Рис. 1. Фотометр з еліпсоїдальним рефлексором: 1 – лазер; 2 – вхідне вікно; 3 – плоске дзеркало; 4 – рефлексор з внутрішньою поверхнею еліпсоїда обертання; 5 – узгоджувальна оптична система; 6 – координатний приймач оптичного випромінювання [8]

Дослідження кінетики оптичних характеристик має наступні особливості. Еліпсоїдальний рефлексор фотометру контактує з поверхнею шкіри, якій надали плоскої форми, по першій фокальній площині. Пляма розсіяння, що формується на поверхні шкіри завдяки передавальним властивостям рефлексора [7,9], проєктується за допомогою узгоджувальної оптичної системи в фотоприймальну площину. Ділянка шкіри насичується просвітлюючим реагентом, і знаходячись під постійним впливом лазерного випромінювання поглинає визначену його дозу. На підставі отриманого фотометричного зображення здійснюється контроль дози поглиненого випромінювання шляхом обчислення методом інверсного Монте-Карло опричних властивостей досліджуваної ділянки в режимі реального часу.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У ході модельного експерименту на підставі оптичних властивостей шарів шкіри людини (коефіцієнту поглинання  $\mu_a$ , коефіцієнту розсіяння  $\mu_s$ , фактору анізотропії розсіяння  $g$ , а також показника заломлення) для довжині хвилі 694,3 нм були отримані фотометричні зображення розсіяного назад світла в залежності від часу просвітлення.

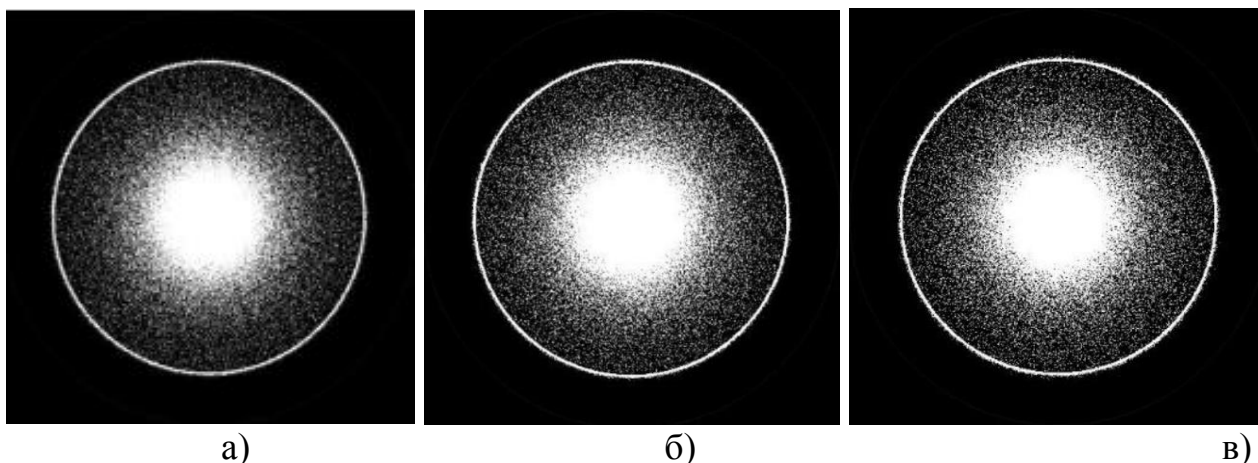


Рис.2. Модельні зображення при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами у відбитому світлі для часу просвітлення 0 хв (а), 50 хв (б) та 100 хв (в)

На підставі зонного аналізу серії отриманих у результаті симуляції Монте-Карло фотометричних зображень [9] побудовано залежність (рис. 3) освітленості зовнішнього та середнього кільця від часу просвітлення.

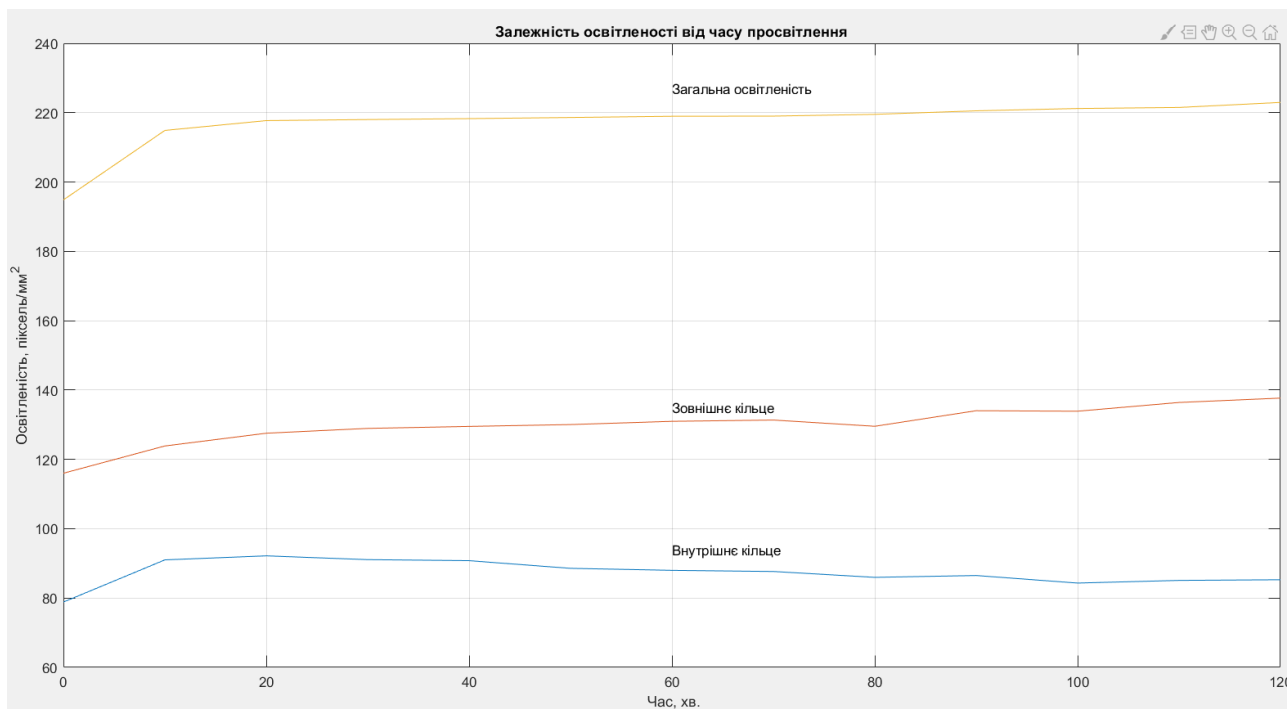


Рис.3. Освітленість зовнішнього та внутрішнього кільця фотометричних зображень для розсіяного назад світла.

Аналізуючи графік на рисунку освітленості зовнішнього кільця можна сказати, що освітленість поступово збільшується, що свідчить про зменшення показника заломлення. Графік внутрішнього кільця в перші 10 хвилин різко зростає і потім поступово зменшується, але все ж не повертається до початкового значення, що також може свідчити про ефективність застосування оптичного просвітлення. Загальна освітленість зростає по експоненті, з цього можна зробити висновок, що з часом поглинається все більше світла.



## **ВИСНОВОК**

У даній роботі проаналізовано особливості контролю фотометром з еліпсоїдальним рефлектором дози поглинутого лазерного випромінювання при виведенні татуювань з використанням оптичного просвітлення на прикладі шкіри плеча людини. Отримані на підставі модельної симуляції залежності освітленості різних зон фотометричних зображень є передумовою проведення реального експерименту для дослідження ефективності просвітлення при виведенні татуювань, а також апробації системи для контролю дозу лазерного випромінювання при цьому.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] McDowell F. Plastic surgery: Removal of commercial tattoos of the skin. *West J Med.* 1976;125:143.
- [2] Dvir E, Hirshowitz B. Tattoo removal by cryosurgery. *Plast Reconstr Surg.* 1980;66:373–9.
- [3] Дмитриевич И.Н., Пругло Г.Ф., Фёдорова О. В., Комисаренков А.А. Физико-химические методы анализа. Ч.II. Оптические методы анализа: учебное пособие / СПбГТУРП. - СПб., 2014. С. 3-29.
- [4] D.A.Peterson. Confocal Microscopy. Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology *Encyclopedia of Movement Disorders.* 2010, Pages 250-252. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374105-9.00230-6>
- [5] Karel Svoboda, Ryohei Yasuda. Principles of Two-Photon Excitation Microscopy and Its Applications to Neuroscience. *Neuron* volume 50, issue 6, P823-839, JUNE 15, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.05.019>
- [6] M. Bezuglyi, N. Bezuglaya, O. Kuprii and I. Yakovenko, "The non-invasive optical glucometer prototype with ellipsoidal reflectors," 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/RTUCON.2018.8659864.
- [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.
- [8] Н.В. Безугла, М.О. Безуглий, Ю.В. Чмир. Просторова потокова біометрія середовищ еліпсоїдальними рефлекторами. ISSN 1811-4512. *ElectronComm* 2014, Vol. 19, №6(83).
- [9] 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 621.396:615**

*Нагорянський Р.С. студент групи ПБз-51, С.С. Заєць, асистент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЛІКУВАННІ ЗАХВОРЮВАНЬ КРОВІ**

**Анотація.** В даній статті описано, основні принципи застосування лазерних технологій в сучасній медичній практиці, а саме при лікуванні захворювань крові приведені переваги застосування даних технологій, що дозволяють отримати кращий результат процесу лікування, в порівнянні з іншими відпрацьованими технологіями лікування.

**Ключові слова:** Лазерні технології, кровоносна система, лазерне опромінення.

### **ВСТУП**

Починаючи з 70-х років, ведеться емпіричний пошук шляхів ефективного використання низько інтенсивного лазерного випромінювання для поліпшення периферичної гемодинаміки, корекції агрегатного стану крові в мікро судинах. Експериментально встановлено підвищення інтенсивності мікро циркуляції після лазерного впливу. При лікуванні хворих з різними формами порушення мікро циркуляції отримані обнадійливі результати в плані пошуку ефективності методів її біо стимуляції. В останні роки посилився інтерес до проблеми підвищення стійкості тканин гіпоксичних станів під впливом лазерного опромінення, одним з механізмів якого розглядається активізація процесу мікро циркуляції .

### **ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Лазерна терапія може застосовуватися як самостійний метод поряд з медикаментозним, а також в поєднанні з різними методами терапії. При неефективності медикаментозних методів лазерне випромінювання дозволяє знизити медикаментозне навантаження на організм.

Допускається застосування спільно з різними фізіотерапевтичними процедурами. Сумарна ефективність лазерної терапії до 80%, а в окремих випадках до 95%. [1]

Зовнішнє лазерне опромінення крові - це спосіб не інвазійного зовнішнього низько енергетичного лазерного впливу на кров з метою лікування і профілактики.

Найбільш часто зовнішнє лазерне опромінення крові застосовують при захворюваннях серцево-судинної системи. Методичної особливостю способу є опромінення зони проекції артеріального стовбура з циркулюючої в ньому кров'ю (найбільш часто - променевої артерії або синуса) через неушкоджену шкіру.

Зазвичай використовують гелій-неонові лазери (довжина хвилі випромінювання - 632,8 нм., Режим безперервний) або напівпровідникові лазери. Потужність випромінювання в середньому становить від 5 до 20 мВт. Тривалість дії - до 30 хвилин. На курс лікування призначається від 6 до 12 сеансів. [2]

Особливостями лікувального дії зовнішнього лазерного опромінення крові можна вважати виражений анти гіпоксичний, фібрино літичний і загальний антиоксидантний ефекти. Схематично механізм дії зовнішнього лазерного



опромінення крові розподілена так: в результаті прямої дії низько енергетичного лазерного випромінювання на формені елементи і біо структури крові відбувається активізація ферментів, що веде до посилення біоенергетичних і біо синтетичних процесів в клітинах, підвищення активності антиоксидантної системи. Як наслідок, збільшується функціональна активність формених елементів, активізується кровотворення, компоненти клітинного і гуморального імунітету. Важливою складовою частиною біо стимулюючого ефекту зовнішнього лазерного опромінення крові є вплив на гемоглобін (перетворення його в конфірмаційний стан, який зручніше для транспорту кисню). Підвищення спорідненості гемоглобіну до кисню обумовлює антигіпоксичний ефект зовнішнього лазерного опромінення крові. Паралельно, під впливом низько енергетичного лазерного випромінювання, зменшуються агрегаційні властивості крові, активізується фібриноліз, що призводить до збільшення швидкості периферичного кровотоку, а значить, і до поліпшення оксигенації тканин.

Одним з найчастіше застосовуваних методів використання лазерного опромінення при лікуванні захворювань крові, є використання внутрішньовенне лазерне опромінення крові (ВЛОК), дане опромінення знайшло широке застосування в кардіології, пульмонології, ендокринології, гастроентерології, гінекології, урології, анестезіології, дерматології та інших областях медицини. Практичне застосування з підтвердженням наукових гіпотез сприяють застосуванню ВЛОК як самостійно, так і в комплексі з іншими методами лікування.

Для ВЛОК зазвичай використовують лазерне випромінювання в червоній області спектра (0,63 мкм) потужністю 1,5-2 мВт. Лікування проводять щодня або через день; на курс від 3 до 10 сеансів. Час впливу при більшості захворювань 15-20 хв за сеанс для дорослих і 5-7 хв для дітей. Внутрішньовенна лазерна терапія може бути здійснена практично в будь-якому стаціонарі або поліклініці. Перевагою амбулаторної лазерної терапії є зменшення можливості розвитку внутрішньо лікарняної інфекції, створюється хороший психоемоційний фон, дозволяючи хворому протягом тривалого часу зберігати працездатність, проводячи при цьому процедури і отримуючи повноцінне лікування.[2,3]

Широке застосування даної методики при проєкційному впливі на судині пучки, а саме на кровоносні та лімфатичні судини, дозволяє досягти ефекту, який викликається як внутрішнім так і різними варіантами артеріального або венного лазерного опромінення крові і приводить до прогнозованого результату, впливу.[3]

Застосування новітньої елементної бази при виготовленні лазерних приладів для терапії, діагностики, захворювань крові, дозволяє зменшити габарити приладів, покращити їх ергономіку, використовувати новітні засоби виводу інформації про протікання процедури. Всі перераховані вище переваги дають позитивні відгуки від лікарів, що використовують данні новітні прилади. Собівартість сучасних лазерних приладів для хірургії в сучасному світі значно зменшилась, це дозволяє широко розповсюджувати застосування їх в більшості медичних закладах країни.

Основними механізмами лікувальних факторів ВЛОК є:

- корекція клітинного та гуморального імунітету;
- підвищення фагоцитарної активності макрофагів;
- посилення бактерицидної активності сироватки крові і системи комплементу;
- зниження рівня С-реактивного білка, рівня середніх молекул і токсичності плазми;
- зростання в сироватці крові вмісту імуноглобулінів IgA, IgM, IgG, а також зміна рівня циркулюючих імунних комплексів;
- збільшення кількості лімфоцитів і зміна їх функціональної активності;
- збільшення здатності Т-лімфоцитів до розеткоутворення і ДНК-синтетичної активності лімфоцитів, стабілізація співвідношення субпопуляції Т-хелперів / Т-супресорів;
- підвищення неспецифічної резистентності організму;
- поліпшення реологічних властивостей крові і мікро циркуляції;
- регуляція гемостатичного потенціалу крові;
- судинорозширювальну дію;
- протизапальну дію;
- анальгезуючу дію;

## **ВИСНОВОК**

На практиці чітко спостерігається позитивний ефект застосування лазерної терапії, у хворих з артрозами і а також іншими ураженнями кінцівок. Використання лазерних технологій дозволило змінити стан хворих, а саме нормалізувати тромб утворюючу, фібро литичну активність крові, зменшити вазепастичні реакції, поліпшити показники агрегації еритроцитів, підвищити рівень капілярного кровотоку. Після лікувального курсу лазерної терапії спостерігається зростання швидкості кровотоку, зменшення спастичних реакцій судин, і в цілому позитивні зрушення в лікуванні хворих.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Москвин С.В., Буйлин В.А. Основы лазерной терапии. - М.-Тверь, ООО «Издательство «Триада», 2006. - 256 с.
- [2] Гейниц А.В., Москвин С.В., Азизов Г.А. Внутривенное лазерное облучение крови. - Тверь, ООО «Издательство «Триада», 2006. - 250 с
- [3] Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии (Эффективная лазерная терапия. Том 2). Тверь, ООО «Издательство «Триада», 2014. — 896 р

УДК 613:532.528

О.В. Руцька, студентка гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПАРАМЕТРИ ГЛИБИНИ ТА ЯКОСТІ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНІ РАН СИСТЕМОЮ ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА САНАЦІЇ РАН

**Анотація** Проведено порівняльне дослідження глибини та якості очищення поверхні рани за допомогою різних методів, таких як: стандартно-санаційного методу очищення; аспіраційно-вакуумного та комплексного аспіраційно-вакуумного з інгаляційним очищенням поверхні. Показано найбільшу ефективність при використанні системи вакуумної абсорбції та санації ран з інгаляційним очищенням. Проведена оцінка ступеня очистки кожного з використаних методів на біологічні тканини (БТ) та розраховано значення якості та глибини очистки з використанням тестеру очистки води Xiaomi Mi TDS Pen.

**Ключові слова:** вакуумна абсорбція, санація, аспіратор вакуумний, ультразвуковий розпилювач.

### ВСТУП

Попереднє очищення поверхні рани та подальше лікування у санітарно-стерильних умовах є важливими процесами для пришвидшення одужання пацієнта. Так на першому етапі, при поганому очищенню поверхні рани у 100% пацієнтів можливий високий розвиток гнійно-запальних процесів м'яких тканин та подальше інфекційне ускладненнь. Про важливість цієї патології може свідчити і той факт, що летальність при таких захворюваннях, як некротичний фасціїт сягає до 50%. Також, важливим є постопераційний етап лікування. У загальній структурі внутрішньолікарняної інфекції майже 95% випадків припадають на ускладнення після операцій. Частим ускладненням в після операційний періоду є нагноєння рани – 3-30% [1].

Для вирішення проблеми швидкого ефективного лікування незаживаючих, трофічних, глибокотравматичних, вогнепальних та інфікованих ран, була запропонована - система вакуумної абсорбції та санації ран в складі апарату вакуумної абсорбції та ультразвукового розпилювача, яка забезпечувала суттєве зменшення часу лікування та збільшення вірогідності одужання сильнотравмованих пацієнтів [2].

Отже, можна зробити висновок, що сучасні процеси до операційного очищення та постопераційного лікування є не достатньо ефективні, а використання системи вакуумної абсорбції з ультразвуковим зволоженням дає набагато більш позитивніший результат, що можна побачити з проведених досліджень, які преставленні у даній роботі.

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ РАН

Методика вакуумної абсорбції та санації ран є новітнім напрямом у лікуванні поверхневих та вогнепальних ран.

Вона поєднує в собі систему аспіратора вакуумного та ультразвукового розпилювача, які в можуть працювати, як порізно, так і у комплексі.

Система вакуумної абсорбції та санації ран включає в себе апарат вакуумної терапія чи VAC-терапія (Vacuum-assisted closure) з ультразвуковим розпилювачем лікувальних препаратів для санації ран базується на методі високоефективного лікування поверхнонь рани, заснований на поєднанні

локальної дії негативного від'ємного тиску створюваного в зоні ранової поверхні та дієвого впливу різнодисперсних розпиленних частинок з лікарськими препаратами [3].



Рисунок 1. Принцип роботи системи аспіратора вакуумного з ультразвуковим розпилювачем

## СХЕМА ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ РАНИ

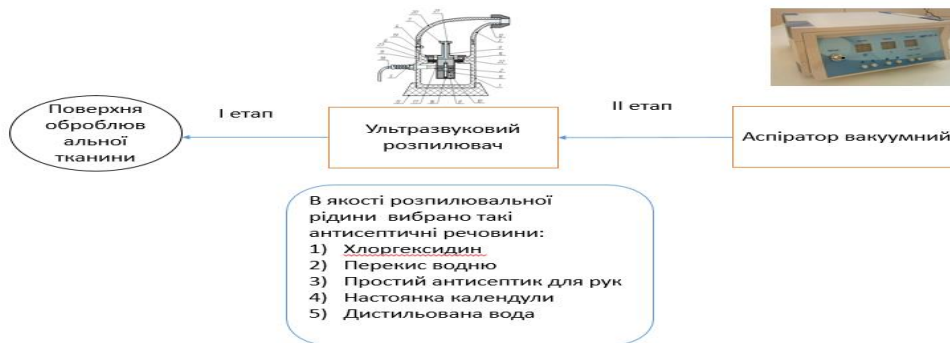


Рисунок 2. Структура етапів схеми очищення

Очищення поверхні рани та подальше підтримання у стерильному стані є дуже важливим етапом у лікуванні будь якого типу ран і пошкоджень поверхні шкіри. Так є двох етапне очищення рани: - використання ультразвукового розпилювача, для нанесення на поверхню рани лікарських антисептичних речовин у вигляді високодисперсних частинок, які мають більшу проникну здатність і зменшують ушкодження шкіри; - використання системи аспіратора вакуумного для очищення поверхні рани з допомогою вакуумного розрідження, на поверхні рани та видалення відмерлих і твердих чужорідних частинок.

Найбільш популярні лікарські антисептичні препарати, які були використовувались в досліджах: хлоргексидин, розчин перекисню водню; антисептик гігієнічний для рук; розчин настоянки календули; дистильована вода.

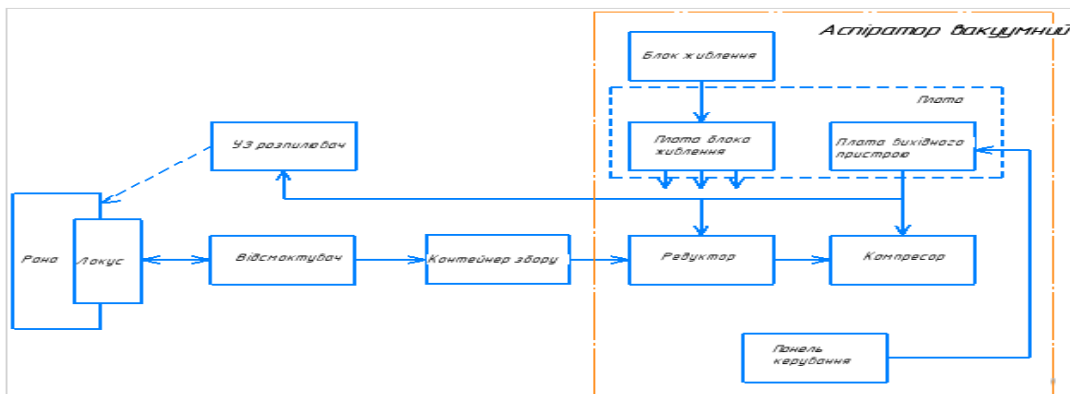


Рисунок 3. Функціональна схема системи для вакуумної абсорбції та санації ран

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі досліджується ефективність впливу на очищення поверхні шкіри за допомогою трьох методів: стандартно-санаційного методу очищення; аспіраційно-вакуумного та комплексного аспіраційно-вакуумного з інгаляційним очищенням.

Так, для дослідження використовувався тональний крем густої консистенції, який імітував забруднюючі частинки. Даний крем наносився на поверхню шкіри в кількості 2 г і рівномірним шаром розподілявся по поверхні.

Далі були перевірені три методи очищення шкіри з використанням таких антисептичних препаратів: хлоргексидину ; розчину перекисню водню ; антисептик гігієнічний для рук; розчин настоянки календули; дистильованої вода.

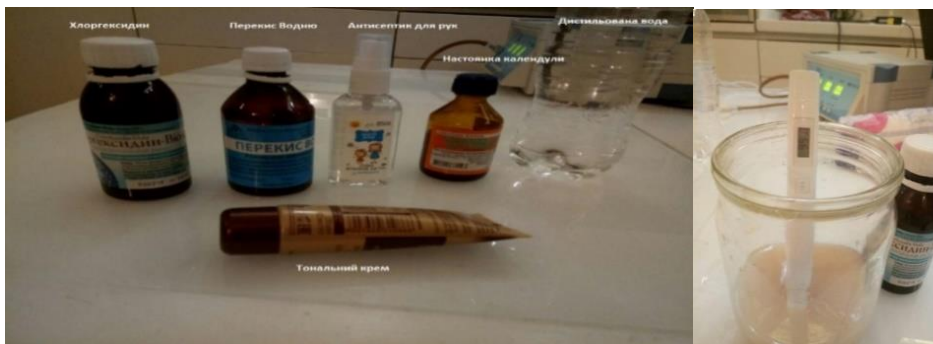


Рисунок 4. Антисептичні препарати та тестера визначення забруднення води Xiaomi Mi TDS Pen

Суть методів очищення: -стандартно-санаційне очищення (ССО) проводилось з використанням спонжа, на який рівномірно розподілявся антисептичний препарат, з допомогою якого відбувалось очищення поверхні шкіри з тональним кремом; -аспіраційно-вакуумне **очищення (АВО)**з допомогою аспірації вакуумного проводилась з використанням спонжа з рівномірно розподіленим антисептичним препаратом, який прикладався до поверхні забрудненої шкіри. Наступним кроком поверх спонжа розміщувалась присоска вакуумного аспірації, який створював вакуумне розрідження на поверхні шкіри для відділення частинок та подільшого очищення.; **комплексного аспіраційно-вакуумного з інгаляційним очищенням поверхні (КАВІОП)** за допомогою системи вакуумної абсорбції та санації ран та проводилось в три етапами: - розпилення антисептичних препаратів на поверхню шкіри з допомогою компресорного розпилювача; розміщення спонжа на шкірі; фіксування з допомогою вакуумної присоски та наступного використання вакуумного аспірації.

Для кількісної оцінки якості очистки було використано Тестер води Xiaomi Mi TDS Pen. За допомогою даного тестера було визначено показники забрудненні води після розміщення в ній відповідних спонжів, а саме було визначено кількість твердих частинок на 1 мл і чим більше було це значення, тим кращий результат очищення шкіри.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначено кількісний показник очищення шкіри, який прямо пропорційний забрудненню спонжа, який контактував зі шкірою, а в подальшому води. Так, було проведено 20 дослідів для пацієнтів різної вікової категорії та статі, при використанні згаданих антисептичних препаратів та методів очищення ССО, АВО, КАВІОП. Встановлено, що шкіра чоловіків грубіша і сухіша ніж жіноча, тому й результати очистки вищі.

Результати дослідження приведені на графіки окремо для жінок та чоловіків, де показано вплив антисептичних препаратів та методів дослідження на поверхню шкіри.

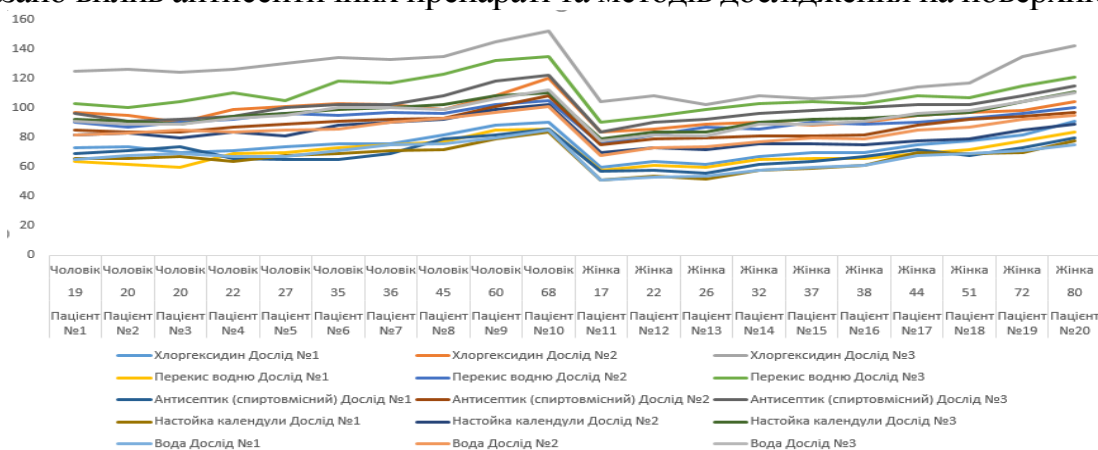


Рисунок 5. Графік дослідження

Отже, маємо що найбільший вміст частини у воді після очищення шкіри був при використанні методу очищення КАВІОП, що доводить її ефективність використання для кожної вікової групи як чоловіків так і жінок. В Додатку 1 наведені дані до даних дослідів.

## ВИСНОВКИ

Таким чином з досліджень встановлено, що використання методу очищення КАВІОП з системи вакуумної абсорбції та санації ран в порівнянні з іншими видами очищення має набагато кращий результат, що надає можливість якісніше та швидше лікувати пацієнтів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, *Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія*. Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [2] Tymchik G., Vysloukh S., Tereshchenko N., Matvienko S. Investigation thermal conductivity of biological materials by direct heating hermistor method. 2018 IEEE 38th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (Kyiv, 24.04.2018). Kyiv, 2018. P. 429-434.
- [3] О. В. Руцька, Н.Ф. Терещенко, «Высокоамплитудная акустическая система ультразвуковой хирургии и терапии», XI Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студ. «Новые направления развития приборостроения» 18-20 апреля 2018, Минск, БНТУ, 2018, с. 159-160.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*



## УДК 617.3

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

### КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОПИ ЛЮДИНИ

**Анотація.** Стопа є структурним сегментом опорно-рухового апарату, яка забезпечує його стато-локомоторну функцію і являє собою цілісний морфофункціональний об'єкт, від якого залежить рухома функція людини. При плоско-вальгусній деформації, опорний вектор стопи зміщується латерально (до зовнішнього краю стопи) - це змінює характер ходьби, є причиною посилення динамічного навантаження на весь опорно-руховий апарат. Актуальним науково-технічним завданням є розробка комплексного методу дослідження просторових біомеханічних параметрів стопи людини. У даній роботі запропоновано метод для кількісної оцінки вираженості вальгусної деформації стопи, де в якості кількісного показника розподілення тиску по підшовній поверхні стопи використовується розширений фронтальний динамічний індекс (ФДІ) та критерій оцінки демпфуючих властивостей тканин стопи (ДВТ), які разом з якісними показниками отриманими при аналізі діаграм динамічних кривих, градієнтом зниження амплітуди заднього поштовху, можуть успішно використовуватись для моніторингу стану стопи, встановлення діагнозу та ефективності різноманітних методів лікування плоско-вальгусної деформації стопи.

**Ключові слова:** стопа, біомеханічні параметри, пружні властивості, плоско-вальгусна деформація.

#### ВСТУП

Аналіз людської ходи, є об'єктом багатьох наукових досліджень. Різні захворювання і пошкодження органів опори нерідко супроводжуються серйозними функціональними порушеннями рухового апарату, зниженням сили і тонуусу м'язів, втратою здатності до нормальних рухів, що врешті-решт призводить до інвалідності і подальшої втрати працездатності [1]. Діагностика постави людини не була б повною без вимірювання і оцінки стану опорно-ресорних властивостей стопи.

Стопа є структурним сегментом опорно-рухового апарату, яка забезпечує його стато-локомоторну функцію і являє собою цілісний морфофункціональний об'єкт, від якого залежить рухома функція людини [2]. У нормі, завдяки склепінчастій будові стопи та її ресорної функції, прискорення до 70% гаситься і амортизується. При нормальному розвитку опорно-рухового апарату людини, навантаження на стопу розподіляються наступним чином: через тіло таранної кістки на п'ятковий бугор, ладьєвидну і клиноподібну кістку, на головки I-III плеснових кісток, утворюючи при цьому зовнішню поздовжню дугу. Таким чином, можна уявити дві поздовжні осі стопи. Одна, проходить через середину п'яти і проміжок між I і II плесновими кістками - це вісь сили (опорний вектор), по якій передаються основні навантаження при ходьбі, та інша, яка проходить через середину п'яти і проміжок між II і III плесновими кістками - вісь рівноваги та балансу, по якій проходять рухи («гойдання») стопи в статичному положенні. Положення цієї осі визначається як рівна довжина важелів від цієї осі до головок I і V плеснових кісток. При плоско-вальгусній деформації, опорний вектор стопи зміщується латерально (до зовнішнього краю стопи) - це змінює характер ходьби, є причиною посилення динамічного навантаження на весь опорно-руховий апарат. [3]. Істотну роль грає і об'єктивна оцінка параметрів біологічних тканин [4]. Вивчення патологічних змін в суглобах стопи є особливо складним завданням, у зв'язку зі специфічною просторовою орієнтацією її осей і невеликими габаритними розмірами досліджуваного сегмента, що ускладнює

установку спеціальних реєструючих пристроїв. Дані особливості змушують використовувати складні багатокомпонентні комплекси, які часто вносять свої апаратні помилки і порушують нормальну біомеханіку суглобів стопи. [5]

Актуальним науково-технічним завданням є розробка комплексного методу дослідження просторових біомеханічних параметрів стопи людини. Для об'єктивізації контролю розвитку етапів патологій стопи у дітей виникає гостра необхідність використання методу, який не має променевого впливу, а також дозволяє виконувати кількісну оцінку і контроль функцій стопи не тільки в статиці, але і в динаміці, оскільки максимум питомого навантаження на її підшовну поверхню при ходьбі значно вище, ніж в положенні стоячи на обох кінцівках. Таким чином, достовірність такої оцінки буде набагато вище.

## **МЕТА**

Пошук нового методу ранньої діагностики порушень функцій стопи шляхом комплексного оцінювання особливостей стояння та ходи, циклу кроку, пружних характеристик стоп які можуть служити інструментом для виявлення ранніх порушень функцій опорно-рухового апарату.

## **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У даній роботі запропоновано метод для кількісної оцінки вираженості вальгусної деформації стопи, де в якості кількісного показника розподілення тиску по підшовній поверхні стопи використовується розширений фронтальний динамічний індекс (ФДІ) та критерій оцінки демпфуючих властивостей тканин стопи (ДВТ), які разом з якісними показниками отриманими при аналізі діаграм динамічних кривих, градієнтом зниження амплітуди заднього поштовху, можуть успішно використовуватись для моніторингу стану стопи, встановлення діагнозу та ефективності різноманітних методів лікування плоско-вальгусної деформації стопи.

Згідно з дослідженнями Гурфінкеля, встановлено - при вертикальній позі, в нормі, маса тіла на стопу розподіляється наступним чином: 20,5% - на передне-внутрішній відділ стопи, 18,4% - на передне-зовнішній відділ стопи, 5,5% - на область зводу, на п'яту доводиться - 55,6%. За даними Давидової, при ходьбі маса тіла людини розподіляється наступним чином: на п'яту припадає 33,2%, на середню частину - 5%, на передне-зовнішню частину стопи - 26%, на передне-внутрішню - 35,8%. [3] При аналізі підшовного тиску, вальгусна деформація стопи проявляється на основі зміщення його до латерального краю підшови, збільшенні навантаження в області поздовжнього склепіння, медіальної поверхні стопи.

Пропонується метод для кількісної оцінки вираженості плоско-вальгусної деформації стопи (ПДВС), де в якості кількісного показника використовується значення фронтального динамічного індексу. Для його розрахунку стопу ділять на рівні по ширині медіальну і латеральну зони, з подальшим розрахунком співвідношення тиску  $P_l$  в латеральній зоні до суми тиску  $(P_l + P_m)$  в латеральній та медіальних зонах (Рис. 1). [3]



$$f = \frac{P_l}{P_l + P_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

де  $P_l$  – тиск в латеральній зоні стопи (Па);

$P_m$  – тиск в медіальній зоні стопи (Па).

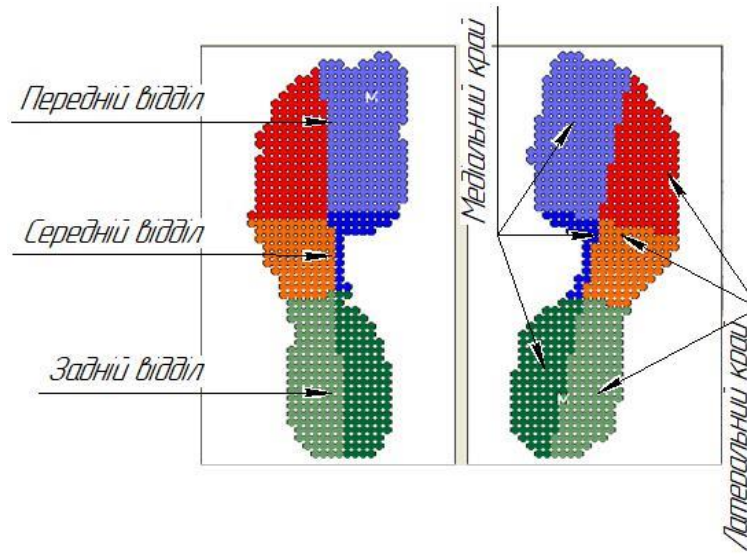


Рисунок 1. Схема поділу стопи на латеральну та медіальну зони

Запропоновано новий метод оцінки біомеханічних властивостей стопи, що базується на співставленні середньої величини максимальних значень навантаження на опорну поверхню стопи в статичному та динамічному положенні людини, та метод кількісної оцінки стану вираженості вальгусної деформації стопи, де в якості кількісного показника використовується розширений ФДІ, для його розрахунку підошовну частину стопи ділять на рівні по ширині медіальну та латеральну зони (кожна з них ділиться ще на 3 області – передній, середній та задній відділи стопи (Рис. 1)), з подальшим розрахунком співвідношення тиску  $P_l$  в латеральній зоні до суми тиску ( $P_l + P_m$ ) в латеральній та медіальній зонах; з подальшим аналізом діаграм динамічних кривих.

$$f = \frac{P_{lf} + P_{lm} + P_{lr}}{(P_{lf} + P_{lm} + P_{lr}) + (P_{mf} + P_{mm} + P_{mr})} \cdot 100\% \quad (2)$$

У цій формулі індекси  $f, m, r$  - означають значення тиску в передньому, середньому і задньому відділах латерального і медіального краю стопи (лівої та правої) відповідно. Запропонований критерій розширеного фронтального динамічного індексу може застосовуватись в ортопедії, в якості дійсно об'єктивного критерію встановлення діагнозу ПВДС-патології.

Критерій оцінки демпфуючих властивостей тканин стопи (ДВТ) представляє собою співвідношення максимумів навантаження в статичному та динамічному положеннях обстежуваного. Показник ДВТ обчислюється як частка від ділення середніх значень максимального навантаження на стопу в статичному та динамічному положенні:

$$d = \frac{P_{avgst}}{(P_{avgdynL} + P_{avgdynR})} \cdot 100\% \quad (3)$$

де  $P_{avgst}$  – показник навантаження в статичному положенні (середнє значення між лівою та правою стопами);

$P_{avgdynL/R}$  - показник навантаження в динамічному положенні для лівої та правої стопи відповідно.

Чим вище значення показника  $d$ , тим вища здатність м'яких тканин стопи протидіяти руйнуючій дії навантаження за рахунок перерозподілу тиску по всій площі опорної поверхні стопи. Встановлено, що у здорових людей та пацієнтів з захворюваннями стопи, показник демпфуючих властивостей тканин опорної поверхні залежить від біомеханічних властивостей, які визначаються рівнем фізичної активності, масою тіла та віком.

## ВИСНОВКИ

Запропоновані критерії ФДІ та ДВТ, як значення кількісних показників розподілення тиску по підошовній поверхні стопи, разом з якісними показниками отриманими при аналізі діаграм динамічних кривих, градієнтом зниження амплітуди заднього поштовху, можуть успішно використовуватись для моніторингу стану стопи, встановлення діагнозу та ефективності різноманітних методів лікування плоско-вальгусної деформації стопи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Цапенко В.В. Методика дослідження просторових параметрів стопи людини / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2018). Одинадцята міжнародна науково-практична конференція, 22-23 травня 2018 р.: тези доповідей. – Київ: НАУ, 2018. – 334 с. (збірка тез) – С. 157-159.
- [2] Perepelkin A. I. Individual and typological characteristics of the human foot in the age aspect / A. I. Perepelkin, V. B. Mandrikov, A. I. Krayushkin. – Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, Inc, 2015. – 140 p.
- [3] Цапенко В.В. Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2019. – № 1. – С. 67–75.
- [4] Цапенко В.В. Комплексный излучатель ультратонотерапии / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко, Н.В. Чухраев // Приборостроение-2015: материалы 8-й международной научно-технической конференции, Минск, 25-27 ноября 2015 г.: в 2 т. Белорусский национальный технический университет; ред. кол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2015. – Т.1. – С. 158-159.
- [5] Цапенко В. В. Цифрова біометрична система дослідження патологічних станів стопи / В. В. Цапенко, М. Ф. Терещенко // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали міжнарод. наук.-техн. конфер., 07-08 грудня 2017 р. Є.І. Сокол (голова орг. ком.) Х.: ФОП Мезіна В., 2017. – 252 с., С. 89-90 .

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.*

## УДК 615.47

О. Г. Шмендель, аспірант гр. ПБ-82ф, І.А. Данилюк, студент гр. ПБ-82мп,  
М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ПРОЦЕСИ ЗМІН ГРАДІЄНТІВ ТЕМПЕРАТУР В БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИНАХ ПРИ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Анотація.** В даній роботі було проведено порівняння впливу лазерного випромінювання (ЛВ) з довжиною хвилі 0,66 мкм на температурні процеси у верхніх шарах шкіри курки та людини та для об'єктивної оцінки результатів експерименту розроблено математичну модель зміни температури шкіри під впливом лазерного опромінення.

**Ключові слова:** лазерне випромінювання, регенерація, типи шкіри, лазерний терапевтичний апарат.

#### ВСТУП

Застосування лазерів є одним з перспективних напрямків розвитку терапії і хірургії [1]. Вплив низькоінтенсивних лазерів (НІЛ) стимулює відновлювальні процеси в тканинах, що дозволяє прискорювати регенерацію завдяки швидшій мікроциркуляції обмінних процесів [2].

#### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Математична модель була розроблена для визначення дози поглинання ЛВ з максимальним врахуванням впливу навколишнього середовища та специфічних особливостей будови шкіри людини.

За допомогою вимірювання коефіцієнту відбиття лазерного випромінювання від біотканини і виділення частини потужності, що затрачена на локальне нагрівання епідермісу визначимо поглинену дозу лазерного випромінювання  $D_{\text{погл}}$ :

$$D_{\text{погл}} = D_{\text{пад}} \cdot k \quad (1)$$

де  $D_{\text{пад}}$  – доза падаючого лазерного випромінювання;  $k$  – узагальнений параметр, що враховує зміни параметрів біологічної тканини і навколишнього середовища [3]:

$$D_{\text{пад}} = \frac{P_{\text{пад}}}{S} \cdot t, \quad (2)$$

де  $P_{\text{пад}}$  – значення падаючої середньої потужності лазерного випромінювання, що задається при впливі;  $S$  – площа досліджуваного об'єкту;  $t$  – експозиція (час впливу);

Для більш точного визначення значення поглиненої дози лазерного випромінювання  $D_{\text{погл}}$  необхідно враховувати як параметри біологічної тканини, так і навколишнього середовища. Таким параметром є  $k$  - узагальнений параметр, що враховує зміни параметрів біологічної тканини і навколишнього середовища. Розглянемо складові узагальненого параметру  $k$ :

$$k = k_M \cdot C \cdot \eta \cdot \xi \cdot [1 - \rho(\lambda)], \quad (3)$$

де  $k_M$  – коефіцієнт поглинання меланіну в шкірі,  $C$  – корегуючий температурний коефіцієнт, що враховує параметри температур навколишнього середовища,  $\eta$  – показник заломлення,  $\xi$  – коефіцієнт теплового поглинання епідермісу,  $\rho(\lambda)$  – коефіцієнт відбиття епідермісу.

Вплив кожного із коефіцієнтів різний і не завжди їх зміни лінійні, тому проведемо дослідження цих коефіцієнтів.

Меланін в найбільшій мірі відповідає за колір шкіри і частково поглинає лазерне випромінювання, перетворюючи його на тепло, тому для проведення дослідження різниці зміни показників теплофізичних параметрів шкіри людини за класифікацією Томаса Фіцпатріка (складається з 6 типів) було обрано 1 тип – середньоземноморський (III) [2, 4] і у математичну модель був введений коефіцієнт поглинання меланіну в шкірі ( $k_M$ ) [6]:

$$k_M = \frac{OD}{h_e} \quad (4)$$

де  $OD$  - оптична щільність епідермісу,  $h_e$  – товщина шару епідермісу.

Так як дослідження проводились при різниці температури оточуючого середовища та кімнатної температури, тому для дійсних результатів досліджень введено коригуючий температурний коефіцієнт середовища:

$$C = T - T_{н.с} , \quad (5)$$

де  $T_{н.с}$  – температура навколишнього середовища,  $T$  – температура в зоні дослідження.

Окрім різного характеру і кількості меланіну в шкірі є також різниця у структурі та параметрах рогового шару (зовнішній шар) і у його здатності утримувати воду. Для врахування даного параметру шкіри в математичну модель було введено показник заломлення ( $\eta$ ) [5].

Показник заломлення  $\eta$ , і коефіцієнт екстинкції води  $k_e$  також мають сильну залежність від довжини хвилі. Крім того, вони залежать один від одного. Наприклад, вимірявши залежність коефіцієнта екстинкції води можна знайти показник заломлення для різних довжин хвиль за формулою [6]:

$$\eta(\lambda_0) = 1 + \frac{2\lambda_0^2}{\pi} \int_0^\infty \frac{k_e(\lambda)d\lambda}{\lambda(\lambda_0^2 - \lambda^2)}, \quad (6)$$

де  $k_e$  – коефіцієнт екстинкції води,  $\lambda$  – довжина хвилі.

Таким чином, на основі викладеного, підставивши в рівняння (1) вирази (2-6) отримаємо:

$$D_{\text{погл}} = D_{\text{пад}} \cdot k \cdot t = \frac{OD}{h_e} \cdot C \cdot \left(1 + \frac{2\lambda_0^2}{\pi} \int_0^\infty \frac{k_e(\lambda)d\lambda}{\lambda(\lambda_0^2 - \lambda^2)}\right) \cdot \xi \cdot \frac{P_{\text{пад}}}{S} \cdot [1 - \rho(\lambda)] \cdot t \quad (7)$$

На рівняннях (1) – (7) базується запропонована математична модель.

## ЕКСПЕРИМЕНТ

Проводився з неживою курячою ніжкою та піддослідними з III типом шкіри, саме тому при побудові математичної моделі був введений коефіцієнт кількості меланіну в шкірі людини.

Використовуваний апарат: лазерний терапевтичний апарат "Ліка-терапевт М" – безперервний режим випромінювання (довжина хвилі – 660 нм, щільність потужності 50 мВт).

За допомогою інфрачервоної камери «MobiRM3» вимірювалася температура шкіри піддослідних.

Температура опромінюваного об'єкту вимірювалася до початку опромінення та кожен наступну хвилину протягом періоду проведення етапів

експерименту, що тривали кожен 6 хвилин для одного піддослідного.

Взаємодія лазерним випромінюванням відбувалась на довільно вибрану ділянку неживої курячої ніжки та ділянку шкіри лівої руки над п'ястям вказівного пальця. Відстань від джерела лазерного випромінювання до біологічного об'єкту – 1 см.

На першому етапі експерименту була виміряна зміна температури опромінюваної ділянки курячої ніжки (Рис. 1). Температура зовнішнього середовища (Тн.с.) – 22 °С.



Рис. 1 Куряча ніжка



Рис. 2 ІІІ тип шкіри

На другому етапі експерименту була виміряна зміна температури у 10 піддослідних з ІІІ типом шкіри (Рис. 2). Тип шкіри був визначений на основі класифікації Томаса Фіцпатріка (складається з 6 типів). Вік піддослідних – від 20 до 25 років. Нормальний стан здоров'я. Статура – худощава. Вага: від 50 до 70 кг. Температура зовнішнього середовища (Тн.с.) – 22 °С.

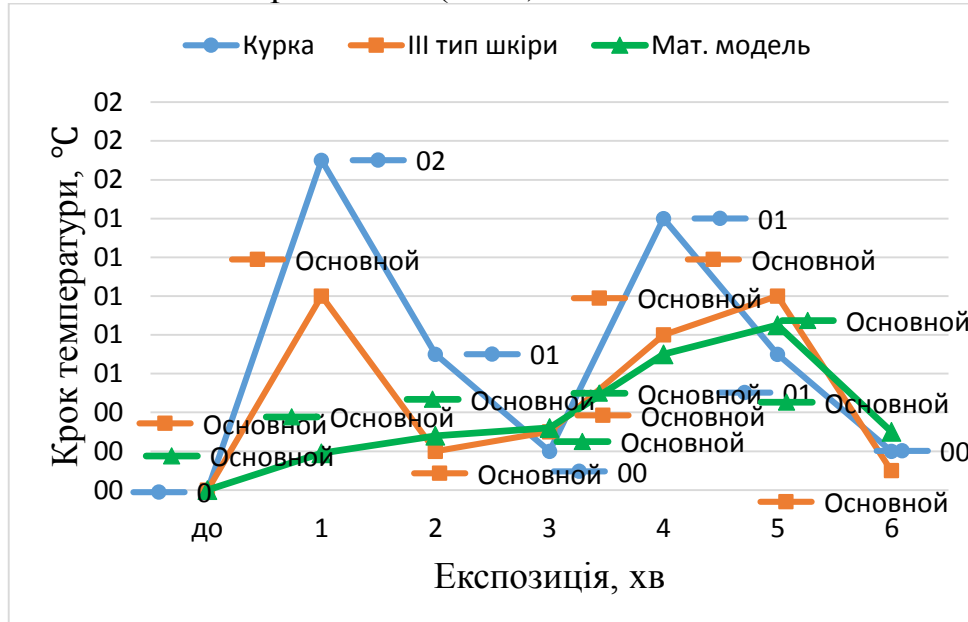


Рис. 3 ЛВ з потужністю 50 мВт

## РЕЗУЛЬТАТИ

На побудованому графіку (Рис.3) на основі отриманих даних ми можемо побачити різницю у кроці підвищення температури під впливом ЛВ з потужністю 50 мВт та порівняння з розрахунками за рівнянням [2]:

$$T = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot S}{t \cdot \alpha}, \quad (8)$$

де  $E$  – доза опромінювання,  $S$  – площа опромінювання,  $t$  – експозиція (час впливу),  $\varepsilon$  - коефіцієнт поглинання навантаження,  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну з зовнішнім середовищем.

Пік підвищення температури відбувається на 1 та на 4-5 хвилини як у шкірі курки та шкірі людини, так і за розрахунками математичної моделі для шкіри людини. Для побудови діаграми було вираховано середні значення отриманих даних за декількома етапами проведення експерименту.

### **ВИСНОВОК**

За результатами проведеного експерименту можемо зробити висновки, що найбільш стрімка реакція біологічної тканини відбувається після першої хвилини впливу та на 4-5 хвилини. Тобто на першій хвилині шкіра поглинає найбільшу дозу лазерного випромінювання, а потім відбувається розподіл тепла по області навколо точки опромінення і коефіцієнт поглинання збільшується.

За допомогою вдосконаленої математичної моделі можна визначити необхідну дозу опромінення для позитивного ефекту впливу лазерного випромінювання для певної процедури лазерної терапії.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена, «Моніторинг зміни температур при лазерній терапії», Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. - Вип. 47. - с. 156-162, 2014.
- [2] Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, «Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах», Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Приладобудування. - Вип. 49. - с. 153-158, 2015.
- [3] О.Г. Шмендель, М.Ф. Терещенко «Математична модель температурних змін у біологічних тканинах при лазерному опроміненні з урахуванням типу шкіри» на XVI Міжнар. наук.-техн. конф. Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів, Кременчук, 2017. с. 90-92.
- [4] О.Г. Шмендель, М.Ф. Терещенко «Вплив лазерного випромінювання різних довжин хвиль на температурні процеси в біологічних тканинах» на наук.-практ. конф. Лазерні технології в клінічній медицині: сучасні тенденції розвитку в Україні, Черкаси, 2018. с. 253-260.
- [5] О.Г. Шмендель, М.Ф. Терещенко «Сравнение взаимодействия лазерного излучения разных длин волн на разные типы кожи» на 11-я Междун. науч.-техн. конф. Приборостроение – 2018, Минск, 2018. с. 408-409.
- [6] А.Е. Пушкарева Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.*

**Секція 7.**  
**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА  
ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА**



## УДК 519.7

*В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71*  
КПИ им. Игоря Сикорского

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЕСТЕСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

**Анотация.** В данной статье проведен обзор существующих методов управления бионическими протезами. Проанализированы их основные достоинства и недостатки, а также рассмотрены возможные перспективы модернизации и дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** протез, имплант, электромиография, электроэнцефалография, нейрон, электрод, паттерн.

#### **ВСТУПЛЕНИЕ**

Проблемой современного протезирования, является создание механизмов, которые позволяют своим владельцам, заменить утраченную конечность как внешне, так и обеспечить практически 100% восстановление ее функциональных возможностей [1]. На сегодняшний день, все более широкое распространения получают бионические конечности. Особенностью данного вида протезов является возможность управления ими человеком за счет возможностей собственной нервной системы [2]. Таким образом, эти электронные приборы не только выполняют основные функции утраченной конечности, но и позволяют в достаточной степени управлять собой естественным образом.

При бионическом протезировании важной задача есть обеспечение эффективного и удобного управления. То есть взаимодействие между человеком и протезом должно использовать естественные механизмы управления, которым человек обучался ещё в детстве.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Целью статьи является выбор наиболее оптимального, с точки зрения эффективности и удобства использования, способа взаимодействия между человеком и протезом, а также возможность учета индивидуальных особенностей каждого реципиента [3].

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На сегодняшний день, существует три основных метода управления бионическими протезами, которые позволяют решить поставленную задачу: использование электроэнцефалографии (ЭЭГ), имплантация электродов к периферическим нейронам, использование электромиографии (ЭМГ). Рассмотрим достоинства и недостатки каждого метода. [4]

##### **Метод электроэнцефалографии (ЭЭГ).**

Метод ЭЭГ базируется на регистрации биоэлектрической активности головного мозга, возникающей вследствие распространения потенциала действия по нейронам. ЭЭГ регистрируется с помощью наложенных на кожную поверхность головы отводящих электродов, соединенных в единую цепь с использованием специальных усилителей сигнала [5]. (Рис. 1)

Достоинства:

- Метод хорошо изучен и применяется во многих областях медицины.



- Полная безопасность для носителя протеза, отсутствует необходимость хирургического вмешательства для расположения датчиков.

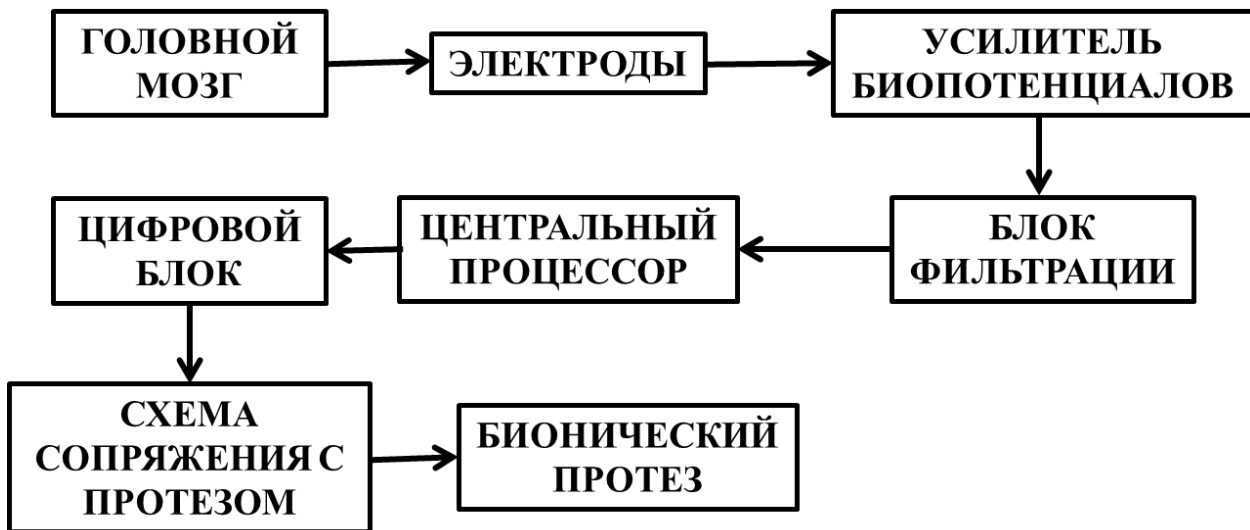


Рисунок 1. Структурная схема ЭЭГ

Недостатки:

- Для точного считывания сигналов головного мозга требуется тонкая настройка всей системы при малейшем перемещении электродов.
- Сигнал очень неустойчив к различного рода электрическим шумам и помехам.

#### Метод имплантация электродов к периферическим нейронам.

Стандартные способы имплантации электродов предполагают протяженное



Рисунок 2. Структурная схема соединения между электродом и периферическим нейроном.

выделение нерва, по ходу которого укладывается электрод сенсор. Такие электроды изготовлены из платины, данный металл имеет высокую электропроводность, биологическую и химическую инертность. Импульс вызванный работой головного мозга проходя по нервным окончаниям считывается электродом сенсором после чего сигнал усиливается и перекодируется для дальнейшего управления движениями протеза[6]. (Рис. 2)

Достоинства:

- Высокая точность считывания сигналов.
- Количество распознаваемых сигналов способно воспроизводить большинство основных движений

Недостатки:

- Имплантация электродов требует длительной и индивидуальной работы врачей, а незначительные повреждения нервных окончаний затрудняют коррекцию положения электрода и могут вызывать отторжение организмом

• Полное отмирание нервных окончаний конечности делает невозможным применение данного метода.

### **Метод электромиографии (ЭМГ).**

Электромиография — метод исследования биоэлектрических потенциалов, возникающих в скелетных мышцах при возбуждении мышечных волокон; [1]



Данный метод анализа мышечной активности, основанный на измерении разности потенциалов в двух точках, между которыми по мембранам мышечных волокон распространяется потенциал действия моторного нейрона заставляющий мышцы сокращаться[7]. (Рис. 3)

Достоинства:

- В сравнении с ЭЭГ данный способ позволяет считывать сигнал мышечной активности с минимальным уровнем шума.

- Сенсорная часть ЭМГ сравнительно небольшая и может располагаться непосредственно в месте контакта протеза и его носителя.

- Имплантация датчиков ЭМГ не требует хирургического вмешательства и исключает отторжение организма, чего не может позволить метод имплантации электродов непосредственно к нейронам человека.

Недостатки:

- Данный способ является ограниченным и используется только для двух степеней свободы, сенсор считывает только наличие потенциала действия или его отсутствие.

Несмотря на указанный недостаток, ЭМГ является самым перспективным методом управления бионическими протезами.

Рассмотрим данный метод более подробно:

Большая часть движения пальцев и кисти является продолжением мышечной активности предплечья. Исследуя последовательность возбуждения разных групп мышц предплечья мы можем выделить основные паттерны движений, необходимых для функционирования всей кисти человека. Индивидуальная настройка на паттерны движений конкретного человека, считывая сигнал с функционирующих мышц предплечья, приближает нас к созданию естественного способа управления между человеком и протезом.

На данном этапе развития, система ЭМГ состоящая из пары электродов позволяет использовать только триггерную функцию воспринимая информацию в виде булевой переменной. Усовершенствовать данную методику можно использование для считывания электрических потенциалов мышц не одну пару электродов, а множество. Данное решение позволит добиться значительного повышения уровня полезного сигнала и реализовать алгоритмы машинного обучения. Комбинация сигналов, считанных с разных электродов, соответствует

определенному паттерну движения руки. Также планируется составление библиотеки отдельных комбинаций сигнал и соответствующих паттернов к которой будет обращаться система при получении неизвестной комбинации сигналов. Таким образом появляется возможность индивидуального обучения системы для каждого нового владельца[8].

## **ВЫВОД**

Исходя из анализа существующих методов управления бионическими имплантатами, можно сделать вывод, что наиболее перспективным методом является использование электромиографии. Данный способ взаимодействия человека с протезом, имеет ряд неоспоримых достоинств, а развитие технологии машинного обучения не вылирует существующие недостатки метода.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- [1] Проблематика развития бионических имплантов [Электронный ресурс] - <https://www.forbes.ru/tehnologii/345329-ne-opuskayte-ruk-pochemu-bionicheskie-protezy-ne-stanovyatsya-dostupnee> - свободный доступ.
- [2] Основные этапы развития протезирования [Электронный ресурс] - <https://postnauka.ru/faq/63738> - свободный доступ.
- [3] Основные виды и задачи протезов [Электронный ресурс] - <https://motorica.org/vidy-protezo-ruk/> - свободный доступ.
- [4] Основные способы управления имплантации [Электронный ресурс] - <https://cyberleninka.ru/article/n/biosovmestimye-implantaty-v-travmatologii-i-ortopedii-obzor-literatury> - свободный доступ.
- [5] Электроэнцефалография [Электронный ресурс] - <https://www.britannica.com/science/electroencephalography> - свободный доступ.
- [6] Имплантация электродов к нейронам человека [Электронный ресурс] - <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/electrode-implantation> - свободный доступ.
- [7] Электромиография основные особенности [Электронный ресурс] - <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/emg/about/pac-20393913> - свободный доступ.
- [8] Перспективы использования ЭМГ [Электронный ресурс] - <https://www.forbes.ru/tehnologii/345329-ne-opuskayte-ruk-pochemu-bionicheskie-protezy-ne-stanovyatsya-dostupnee> - свободный доступ.

*Науковий керівник - к.т.н., ст. викладач Богдан Г.А.*

## УДК 620.179.16

*Д.В. Барановський, студент гр. ПК-51*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **БЕЗДРОТОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП**

**Анотація.** В роботі розглядається принцип роботи та загальні теоретичні відомості ультразвукового приладу для пошуку дефектів, який може використовувати Bluetooth, Wi-fi або GSM технології для передачі отриманих даних. Такий прилад здатний проводити контроль об'єктів, які знаходяться у важкодоступних місцях, а також має можливість передавати дані на певні відстані від об'єктів контролю, що полегшує роботу оператора.

**Ключові слова:** ультразвуковий контроль, ультразвуковий дефектоскоп, безпроводна передача даних, неруйнівний контроль.

#### **ВСТУП**

Ультразвукова дефектоскопія - це найбільш розповсюджений метод неруйнівного контролю (НК), так як дослідження об'єкту контролю (ОК) за допомогою ультразвуку не пошкоджує сам ОК та не призводить до його руйнування. Також можна відмітити те, що ультразвукові дефектоскопи мають високу швидкодію, високу точність отриманих при контролі результатів, досить легкі у використанні та конструюванні, не приносять шкоди оператору, який працює з приладом та мають доступну вартість, що також досить важливо.

Однією із проблем, на сьогоднішній день, є контроль нерухомих об'єктів або їх частин, які знаходяться у важкодоступних місцях. Вирішення даної проблеми призведе до більш швидкого і якіснішого контролю.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Ультразвуковий НК застосовується для пошуку дефектів матеріалів (різноманітні тріщини, пори, неоднорідності структури матеріалу та ін.), оцінки якості зварних з'єднань, оцінки якості пайки та склейки двох матеріалів між собою. Також ультразвукові дослідження широко застосовуються в медицині. Відповідальні елементи різноманітних конструкцій проходять процедуру ультразвукового контролю як на етапі виготовлення, так і при подальшій експлуатації, це запобігає передчасному руйнуванню відповідального елемента та подальшому виходу із ладу всієї конструкції.

Ультразвукові дефектоскопи складаються із двох блоків: блок перетворювача та блок обробки інформації. При організації зв'язку між цими блоками, для передачі даних, зазвичай використовують звичайний кабель, але у випадках контролю об'єктів, які знаходяться у важкодоступних місцях, можуть виникнути проблеми в з'єднанні цих двох блоків кабелем, наприклад: не достатньо місця для розміщення блоків один біля одного або між ними немає прямого доступу. В таких випадках виникає потреба у використанні бездротової передачі даних. Бездротова передача даних дає нам можливість автоматизувати дану систему НК, а також звільняє нас від фізичного зв'язку між окремими частинами дефектоскопу, що полегшує роботу оператора, який проводить контроль. Використання бездротової передачі даних для технологій діагностики та вирішення задач НК розглянуто в [1].

Існує декілька технологій бездротової передачі інформації. Основними та найбільш застосованими із яких є Wi-fi, GPRS, Bluetooth.

Дані методи використовують унікальні способи передачі даних та засновані на радіохвильовій модуляції сигналів на різних частотах.

Технології бездротового обміну даними за зоною їхньої дії поділяються на такі види:

1. Локальні WLAN (Wireless Local Area Networks) – Wi-Fi
2. Глобальні WWAN (Wireless Wide Area Network) – GPRS
3. Персональні WPAN (Wireless Personal Area Networks) – Bluetooth.

Wi-Fi - технологія бездротової локальної мережі з пристроями на основі стандартів IEEE 802.11. Wi-Fi, працює в безліцензійному частотному діапазоні ISM (2402-2480 МГц).

GPRS - здійснює пакетну передачу даних. GPRS дозволяє користувачеві здійснювати обмін даними з іншими пристроями в мережі GSM а також із зовнішніми мережами, в тому числі Інтернет. GPRS передбачає тарифікацію за обсягом переданої / отриманої інформації.

Bluetooth - виробнича специфікація бездротових персональних мереж (Wireless personal area network, WPAN). Bluetooth забезпечує обмін даними між пристроями, які підтримують bluetooth технологію на надійній, безкоштовній, доступній будь де радіочастоті для ближнього зв'язку. Bluetooth дозволяє цим пристроям зв'язуватись між собою, коли вони знаходяться в радіусі до 10 м один від одного (дальність сильно залежить від перешкод і перепон), навіть у різних приміщеннях.

Щоб дізнатись як використовується бездротова передача даних на невеликі відстані для вирішення завдань НК можна переглянути результати досліджень моделі безпровідного вихрострумове дефектоскопу, який базується на використанні Bluetooth технології [2-3] та Wi-fi технології [4].

Для збільшення радіусу передачі даних у [5-6] показано застосування GSM технології.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Мобільний акустичний дефектоскоп – це прилад який складається з п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП), підсилювача (П), аналого – цифрового перетворювача (АЦП), модуля бездротової передачі отриманих даних, за допомогою якого отриманий сигнал передається до блоку обробки інформації.

Оскільки в наш час широко розповсюджене використання мобільних пристроїв та портативних комп'ютерів, то їх можна використовувати як блок обробки інформації.

Блок перетворювача ультразвукового дефектоскопу умовно можна розділити на дві частини аналогову та цифрову. Аналогова частина являє собою схему, в якій за допомогою ПЕП генерується ультразвуковий імпульс, який поширюється в ОК. Коли згенерований імпульс досягає донної поверхні ОК або дефекту, то він відбивається і повертається назад до ПЕП. Отриманий відбитий сигнал після повернення до ПЕП за допомогою П підсилюється, оскільки амплітуда відбитого (поверненого) сигналу значно менша, ніж амплітуда випроміненого сигналу, та потрапляє в цифрову частину блока перетворювача,

яка відповідає за перетворення сигналу з аналогової форми в цифрову за допомогою АЦП.

Після цього вже цифровий сигнал потрапляє до блоку обробки інформації. Передачу даних з блоку перетворювача до блоку обробки інформації можна здійснювати за допомогою Bluetooth технології, Wi-fi технології або GSM технології, в залежності від того, на які відстані необхідно передавати отримані дані. Зазвичай при нормальних умовах при передачі даних на незначні відстані в бездротових приладах використовують Bluetooth або Wi-fi модулі.

Блок обробки інформації потрібен для того, щоб отримані дані були відображені у зручному для користувача вигляді. В кінцевому результаті на мобільному пристрої оператора буде відображатися графік отриманих даних, на якому буде видно випромінений сигнал, сигнал відбитий від донної поверхні ОК, сигнал відбитий від дефекту в середині ОК (якщо дефект буде присутній). Після цього оператор зможе оцінити отримані дані та зробити необхідні висновки.

## **ВИСНОВКИ**

Мобільний ультразвуковий дефектоскоп з бездротовою передачею даних може використовуватися для контролю об'єктів, які знаходяться у важкодоступних місцях. Наявність бездротової передачі даних полегшить роботу оператора, який проводить дослідження, забезпечить більш швидкий та якісний контроль, а також забезпечить можливість контролю об'єктів на значній відстані від них.

До переваг безпроводних приладів над провідними можна віднести низьке енергоспоживання, портативність, компактність, можливість вимірювання у важкодоступних місцях а також легку автоматизацію контролю.

Прилади такого типу можуть вирішувати такі задачі ультразвукової дефектоскопії як: пошук дефектів в ОК, контроль якості зварних з'єднань, склеєних з'єднань, пайки.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Петрик, В. Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / В. Ф. Петрик, Г.М. Ковтун, Д.М.Топиха // Ж-л «Научни Известия НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2014». – Созополь, 2014. – № 150 – С. 486-488.
- [2] Протасов А.Г. Вихрострумовий дефектоскоп з телеметричним каналом зв'язку / А.Г. Протасов, К.М. Серий, О.Л. Дугін, В.Ф. Петрик // Вісник НТУ "ХП". - 2014 р. - № 19. – С.132-139.
- [3] Протасов А.Г. Телеметрический вихретоковый дефектоскоп / А. Г. Протасов, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2014», г. Созополь, 09- 18 июня, 2014 г. – Созополь, 2014. – № 1(150) – С. 34 – 36.
- [4] Петрик В.Ф. Мобильный вихретоковый дефектоскоп с беспроводной системой передачи данных / В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин, В.В. Карпинский, А.Л.Кустовский, Ю.Ю.Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ» :

материалы международной конференции «Дни на безразрушителния контрол 2016», г. Созополь, 2016 г. – Созополь, 2016. – № 1(187) – С. 43 – 45.

- [5] Petrik, V. Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing / Valentin Petrik, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Iuliia Lysenko // Приборостроение - 2017 : материалы 10-й Международной научно - технической конференции, 1-3 ноября 2017 года, Минск, Республика Беларусь / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. - Минск : БНТУ, 2017. - С. 74-76.
- [6] Petryk, V. Wireless data transmission in ultrasonic nondestructive testing = Беспроводная передача данных в ультразвуковом неразрушающем контроле / Valentyn Petryk, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Serhiy Ukrainec // Ж-л «Научные известия на НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2017». – Созополь, 2017. – №1 (216). – С. 121–123.

***Науковий керівник: В.Ф. Петрик, к-т техн. наук, доцент кафедри ПСНК***

УДК 612.845.57

*М.В. Герасимчук, студент гр. ПК-61*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА ПАРАМЕТРІВ КОЛІРНОГО ЗОРУ ЛЮДИНИ**

**Анотація.** Робота присвячена аналізу сучасного стану методів та засобів діагностики параметрів колірному зору людини, напрямів та можливостей їх вдосконалення. Розглянуто основні дефекти та патології кольоросприйняття системи зору. Запропоновано шляхи вдосконалення схеми приладу для контролю параметрів колірному зору людини, що дозволить підвищити достовірність та швидкість проведення такої медичної діагностики.

**Ключові слова:** сприйняття кольору, медична діагностика, колірний зір, методи дослідження, медичний аномалоскоп.

### **ВСТУП**

Проведення діагностики зору у людей на предмет правильного сприйняття кольорів є важливою частиною при загальному обстеженні параметрів ока. Досить часто виникають нові вимоги для дослідження якості зору та його здібності до кольоросприйняття. Це медичне дослідження, в першу чергу, має бути обов'язковим для військовослужбовців, осіб, що керують транспортними засобами (водії, пілоти, космонавти), а також для людей, які мають відношення до тих сфер діяльності, де ставляться високі вимоги до зору людини. У багатьох випадках, люди на ранніх етапах розвитку будь-яких захворювань ока не помічають кардинальних змін, вважаючи, що це звичайна перевага. Однак, саме при регулярних перевірках очей є можливість своєчасно виявити мінімальні відхилення від норми, знайти патології та прийняти необхідні дії для усунення цих дефектів. Отже, найголовнішим критерієм при діагностиці зору є якість та достовірність отриманих результатів.

На сьогодні будь-яке обстеження, що включає діагностику зору, передбачає застосування сучасної техніки. Однак, в медичних закладах і нині широко застосовується візуальний метод, що полягає у розпізнанні на основному кольоровому фоні окремих контурів чисел або фігур іншого кольору, який не гарантує точність або достовірність результату (таблиці Рабкіна). За його допомогою можна виявити лише значні відхилення від допустимої норми. Це обумовлено тим, що людина може не відрізнити кольори, а на інтуїтивному рівні бачити контури фігур чи чисел.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є дослідження можливості застосування сучасної медичної техніки для діагностики колірному зору, аналіз дефектів кольоросприйняття зорової системи людини, існуючих методів їх діагностики та виявлення напрямів вдосконалення цих процедур.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Якщо звернутися до статистики, то приблизно 80% чоловіків страждають дефектами кольоросприйняття, більшість з них навіть не підозрюють про це. У наш час найпоширенішою хворобою, яка пов'язана з проблемою кольоросприйняття оком, є дихромія (дальтонізм). Розрізняють такі види цього дефекту зору: протанопію, дейтеранопію та тританопію. За однією з



найпоширеніших на сьогодні теорій, кожен з них відповідає за наявність певного кольорового пігменту на сітківці ока людини.

При протанопії відбувається зміна сприйняття оком червоного кольору, що набуває більш темніших відтінків. Зелений колір змішується з сірим, світлим відтінком жовтого та коричневого. А червоний – з темним відтінком зеленого і коричневого. При дейтеранопії порушується сприйняття зеленого кольору, що сприймається як світлий відтінок оранжевого або рожевого, а червоний колір – як ясно-зелений. Тританопія характерна відсутністю синього пігменту – всі відтінки сприймаються як червоний або зелений [1].

На сьогодні дальтонізм вважається невиліковною хворобою. Однак, спосіб лікування дихромії через впровадження в клітини сітківки ока відсутніх генів методами генної інженерії за допомогою штучних вірусних клітин знаходиться на стадії активної розробки і вже демонструє перші успішні результати.

Отже, діагностика кольоросприйняття людського зору є, безсумнівно, актуальним напрямом сучасної медицини, що потребує значної уваги. Однак на сьогоднішній день існуючі прилади для виконання такого контролю мають застарілу та складну конструкцію, що обумовлює непопулярність проведення такої діагностики незважаючи на суттєві потреби. Прикладом такого пристрою може служити аномалоскоп Нагеля [2], схема якого зображена на рис. 1, що й нині використовується у деяких вітчизняних медичних закладах.

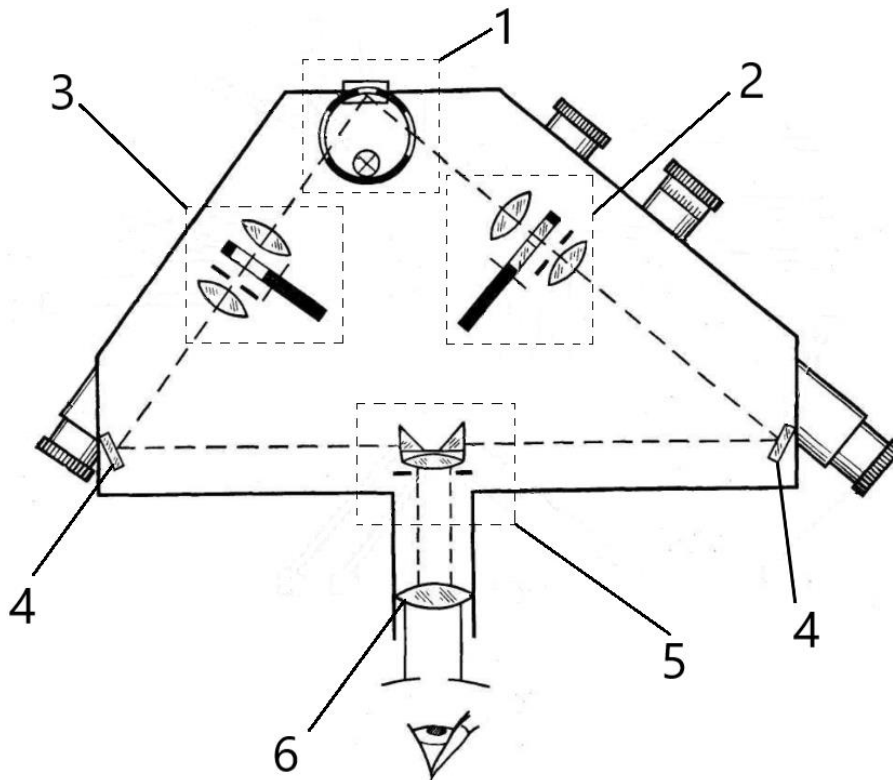


Рисунок 1. Схема аномалоскопу Нагеля: 1 – блок освітлювача, 2 – еталонний канал, 3 – тестовий канал, 4 – дзеркала, 5 – блок суміщення зображення, 6 – окуляр

Наведена схема приладу має два оптичні канали: еталонний 2 та тестовий 3, випромінювання в яких генерується блоком освітлювача 1, що забезпечує однакову інтенсивність випромінювання в обох каналах. Конструкція еталонного та тестового блоків ідентична: кожен з них містить лінзи для

створення паралельних пучків променів, діафрагму та барабан з набором світлофільтрів для формування певного кольору світла. Призначенням дзеркал 4 є злам оптичної осі системи і відбиття світлових пучків на блок 5. Останній відповідає за суміщення зображень, отриманих з тестового та еталонного каналів пристрою. Пацієнт в окуляр 6, з якого випромінювання виходить паралельним пучком променів, спостерігає зображення, що представляє собою коло, поділене в рівній частині на два сегменти. Колір першого сегменту обумовлений параметрами світлофільтра еталонного каналу, колір другого – довжинами хвиль видимого діапазону спектру, що пропускає відповідний світлофільтр тестового каналу приладу. Завданням пацієнта є: обертати барабан та підібрати відповідний світлофільтр тестового каналу для співпадіння кольорів.

Основними недоліками такої схеми є значні габарити та велика кількість оптичних компонентів, що зумовлює відносно високу собівартість приладу. Також в процесі діагностики, що до того ж потребує значних часових витрат, лікар постійно повинен приймати участь у ході дослідження, виставляючи необхідні світлофільтри еталонного каналу та перевіряти результати вибору пацієнта.

Більш сучасна версія приладу, який набув широкого використання у всьому світі при дослідженні якості кольорового зору людини, – аномалоскоп Віллібальда Нагеля, зображений на рис. 2.



Рисунок 2. Аномалоскоп Віллібальда Нагеля

Попри широке застосування, прилад має певні недоліки, один з яких – це неспроможність визначити міру похибки вимірювання без знання рівня дефекту кольоросприйняття у конкретного пацієнта. Для цього необхідно визначити цей дефект з більшою точністю, ніж дає змогу наведений вище пристрій. Модернізована версія аномалоскопу Нагеля, як і її попередник, має значні габарити та собівартість, не зважаючи на відносну простоту принципу роботи.

Сучасний рівень технологій дозволяє суттєво спростити конструкцію подібних приладів на основі використання новітніх RGB світлодіодів,

управління довжиною хвилі випромінювання яких може здійснюватися нескладною електронікою [3]. Такий підхід дозволить повністю позбутися від елементів 1-4, показаних на рис. 1. Крім того, робота лікаря-діагноста в ході проведення дослідження може бути також покладена на мікропроцесорну техніку, завданням якої буде генерація кольору в еталонному каналі по заздалегідь закладеному алгоритму і перевірка достовірності результатів вибору пацієнта [4]. В такому випадку залучення кваліфікованого лікаря знадобиться тільки на етапі постановки діагнозу за результатами проведеної діагностики.

Повна автоматизація процесу діагностики кольоросприйняття, нажаль, неможлива. Це обумовлено тим фактором, що сигнали, які формують кольорочутливі рецептори сітківки ока, оброблюються мозком людини, тобто лише пацієнт може приймати рішення відносно відповідності кольору сформованого зображення.

## **ВИСНОВКИ**

Медицина діагностика колірної зору людини сьогодні є насправді актуальною проблемою. Значна частина населення планети має дефекти кольоросприйняття зорової системи та потребує проходження такого дослідження. Нажаль, на сьогодні прилади для реалізації такої діагностики недостатньо розвинуті, що обумовлює їх вкрай незначне поширення у медичних закладах. Сучасні технології дозволяють суттєво модернізувати конструкцію існуючих аналогів таких пристроїв та спростити процес проходження дослідження, що, безумовно, призведе до поширення цього методу діагностики серед медичних установ.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Дослідження колірної зору. – Режим доступу: <http://biomedicina.com.ua/zir-doslidzhennya-kolirnoho-zoru>. – 17.04.2019.
- [2] Аномалоскоп. – Режим доступу: <http://medical-enc.com.ua/anomaloskop.htm>. – 18.04.2019.
- [3] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // *Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю*. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.
- [4] Пятакович Ф.А. Модели и алгоритмы для автоматизированной классификации цветоощущения и цветовосприятия / Ф.А. Пятакович, Ю.А. Курлов // *Успехи современного естествознания*. – 2006. – № 10. – С. 55-58

*Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.*

## УДК 537.322.11

*Дакус С.В., студент гр. ПБ-15-1, к.т.н., доц. Криницький О.С.*  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ**

**Анотація.** Здійснено аналіз параметрів термоелектричних генераторів які впливають на їх ефективність. Проведено короткий огляд методів вимірювання даних параметрів. Наведено конструкцію установки для вимірювання характеристик подібних пристроїв.

**Ключові слова:** термоелектричний генератор, ефективність, добротність.

#### **ВСТУП**

На сьогодні широкого розповсюдження набули пристрої які працюють на ефекті Зеебека які називають термоелектричними генераторами, і ефекті Пельтьє які називають термоелектричними охолоджувачами. Термоелектричні генератори і охолоджувачі є твердотільними пристроями, які здатні генерувати електрику або охолоджувати без будь-яких проміжних рідин або хімічних процесів. Вони в собі не мають рухомих частин, що забезпечує можливість тривалої роботи з мінімальним обслуговуванням. Крім того, це дозволяє забезпечувати досить тихе охолодження у порівнянні зі звичайними холодильними системами на базі компресорів. Ці критерії роблять термоелектричні прилади надзвичайно привабливими для безлічі застосувань.

Зокрема для вироблення електроенергії термоелектричні генератори використовуються в автомобілях як пристрої для відбору тепла з відпрацьованих газів в космічних дослідженнях для перетворення теплової енергії, що виділяється під час розпаду радіоізотопів [1].

З іншого боку, термоелектричні охолоджувачі широко застосовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря в транспортних засобах. Завдяки їх здатності бути мініатюризованими вони підходять для контролю температурно-чутливого обладнання, такого як хірургічні інструменти, волоконно-оптичні лазери в телекомунікаційних системах. Термоелектричні охолоджувачі можуть також бути вбудовані в мікропроцесори для досягнення точного контролю температури [2].

Завдяки широкому спектру застосувань термоелектричних пристроїв масове виробництво термоелектричних модулів набуло широкого поширення. Розробники, які прагнуть використати термоелектричні пристрої в свої системи, стикаються з складним завданням вибору потрібного типу термоелектричного модуля, який би відповідав вимогам до нагрівання, охолодження, або генерування енергії.

Виробники схильні надавати якомога більше інформації своїм споживачам. Ця інформація може бути представлена різного роду кривими або даними на веб-сайтах або у вигляді електронних документів. Пошук між продуктами в межах однієї компанії виробника може бути простим, але виникають труднощі, коли дані не стандартизовані між різними виробниками. Розробники часто вважають, що порівняння продуктів у таких випадках є складним. Незважаючи на те, що

виробники надають якомога більше інформації щодо своїх продуктів, спільність між ними обмежена

Єдиним надійним методом оцінки фактичних параметрів термоелектричних модулів є їх придбання у виробника і експериментальне випробування їх, але такі способи є трудомісткими і дорогими для споживача. Крім того, не всі споживачі мають можливість тестування модулів у контрольованих середовищах.

Як альтернативу можна запропонувати аналітичне визначення продуктивності термоелектричних модулів за допомогою спрощених або ідеальних співвідношень. Проте дані співвідношення не можуть бути використані через відсутність інформації про властивості матеріалів які використані для виготовлення модуля (коефіцієнт Зеебека, електропровідність і коефіцієнт теплопровідності) яка зазвичай не доступна через приватність або патентозахищеність.

Незважаючи на відмінності в поданні інформації виробниками, максимальні параметри продуктивності зазвичай завжди надаються. Для термоелектричного генератора такими є - максимальний струм, максимальна напруга, максимальна вихідна потужність і відповідна ефективність при максимальній вихідній потужності. Для термоелектричного охолоджувача вони такі максимальна різниця температур, максимальний струм який треба подати на модуль, максимальна напруга і максимальна потужність охолодження.

Таким чином, за мету даного дослідження можна поставити експериментальну перевірку характеристик поданих виробниками термоелектричних пристроїв.

## ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕГ

*Метод стаціонарного стану.* Даний метод випробування реалізовується наступним чином, фіксуються стабільні температури гарячої  $T_H$  і холодної сторони  $T_C$  ТЕГ і вимірюється тепловий потік  $q$ , напруга і струм для певних значень електричних навантажень. Перед зніманням даних модуль повинен досягти стабільного стану при кожному навантаженні. Коефіцієнт Зеебека та електричний опір визначають шляхом підбору напруги та струму і використовуючи наступне співвідношення  $U = \alpha(T_H - T_C) - IR$ , де  $\alpha$  - коефіцієнт Зеебека,  $I$  - струм який протікає через модуль,  $R$  - опір модуля,  $U$  - напруга генерована модулем

Теплопровідність,  $K$ , обчислюється з рівнянь

$$q_H = \alpha IT_H - \frac{1}{2} I^2 R + K(T_H - T_C) \quad , \quad q_C = \alpha IT_H + \frac{1}{2} I^2 R + K(T_H - T_C)$$

Метод стаціонарного стану є методом, який є найбільш наближений до реального використання ТЕГ.

*Швидкий метод стаціонарного стану.* Різновид методу стаціонарного стану, використовує програмоване електронне навантаження, щоб уникнути порушення теплової рівноваги модуля. Реалізація методу починається з ТЕГ в стаціонарному стані з фіксованими температурами і струмом. Вимірюють початкову швидкість нагрівання, температури, напруги та струм. Швидкодіюче

електронне навантаження використовується для вимірювання напруги і струму починаючи з холостого ходу і до струму короткого замикання.

Даний метод набагато швидший, ніж метод стаціонарного режиму оскільки його короткочасні навантаження не порушують теплової рівноваги модуля ТЕГ, що призводить до більш швидшого виконання наступного вимірювання.

*Модифікований метод Хармана.* Метод Хармана розроблений Т. С. Харманом для обчислення термоелектричної добротності  $ZT$  з використанням тільки вимірювань напруги. Модифікована версія дозволяє вимірювання всі термоелектричні властивості якщо провести вимірювання температури. Одна сторона термоелектричного модуля утримується ізольованою від навколишнього середовища, а інша - при постійній температурі. На модуль подається струм і на ньому виникає різниця температур. Напруги які виникають перед і після припинення подачі струму  $U_i$  і  $U_0$  відповідно, вимірюються разом із температурами які встановлюються на ТЕГ. Для усунення впливу нагрівання внаслідок ефекту Джоуля тестування виконується двічі, один раз у одній полярності а наступний раз у зворотній полярності. Рівняння дозволяють

визначити термоелектричні властивості ТЕГ  $\alpha = \frac{U_0 - U'_0}{T_1 - T'_0}$ ;

$$R = \frac{(U_i - U'_i) - (U_0 - U'_0)}{-2I}; \quad K = \frac{-\alpha I (T_1 + T'_1)}{T_1 - T'_1}; \quad R = \frac{U_0 - U'_0}{-(U_i - U'_i) - (U_0 - U'_0)}$$

де  $T_1$  -

температура ізольованої від навколишнього середовища сторони модуля, а позначення штриха – вимірювання при зворотній полярності.

Метод Хармана усуває необхідність досить складного вимірювання теплового потоку.

*Метод Гао Міна.* Мін і Рове розробили метод з використанням постійного теплового потоку [15]. Вони встановили що  $ZT$  може бути виражено як функція температури не замкненого та замкненого ТЕГ, якщо теплові потоки рівні, тобто

$$q_{H,s} = q_{H,0} \text{ тоді } ZT = \frac{\Delta T_0}{\Delta T_s} - 1 \text{ де } \Delta T_0 \text{ і } \Delta T \text{ це різниці в температурі не замкненого}$$

та замкненого ТЕГ. Інші термоелектричні властивості можуть бути обчислені з

$$\text{рівнянь } \alpha = \frac{U_0}{\Delta T_0}, \quad R = \frac{\alpha \Delta T_s}{I_s} \text{ припускаючи, що } \alpha \text{ є сталою під час вимірювань не}$$

$$\text{замкненого та замкненого ТЕГ ми можемо обчислити } ZT = \frac{\alpha^2 T}{RK}.$$

Метод Гао Міна також не потребує вимірювань теплового потоку, однак даний метод дуже чутливий до коливань теплового потоку [3].

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕГ

Для дослідження характеристик ТЕГ нами була розроблена установка (рис. 1). Нагрівання модуля здійснюється за допомогою плоского керамічного нагрівника який увімкнений у мережу змінного струму через терморегулятор який забезпечує стабілізацію температури на модулі. Для вимірювання

температури використано термопари типу ХК. Охолодження протилежної сторони модуля здійснюється за допомогою радіатора з активним охолодженням. Притискання модуля ТЕГ до радіатора і нагрівача реалізується за допомогою притискного механізму який реалізований притискною планкою і пружиною тарілчастого типу.

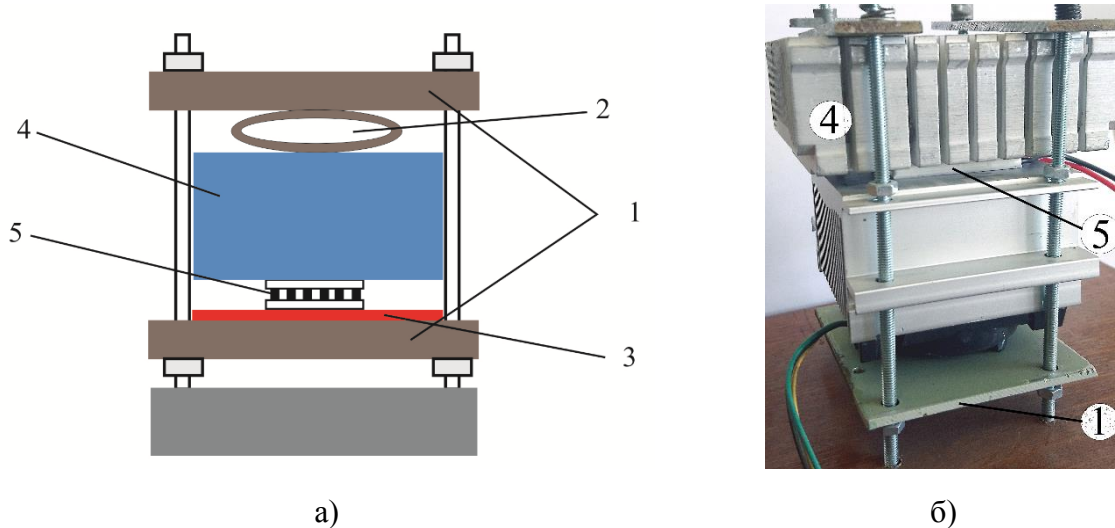


Рисунок 1. Схематичний вигляд (а) реальний вигляд (б) установки для вимірювання термоелектричних параметрів

Методика експерименту наступна ТЕГ нагрівається до певної температури, після стабілізації температури очікують  $\approx 5$  хв. для стабілізації теплових потоків в модулі. Після чого проводяться вимірювання температури гарячої і холодної сторін, напруга холостого ходу ТЕГ, і струм який може згенерувати модуль. Для створення навантаження для модуля ТЕГ використано електронне навантаження побудоване за стандартною схемою на операційному підсилювачі і польовому транзисторі. Процес вимірювання повторюється для кількох заданих температур. Параметри ТЕГ розраховуються як у методі Хармана.

## **ВИСНОВКИ**

Здійснено аналіз параметрів продуктивності ТЕГ, а також методів їх дослідження. Запропоновано експериментальну установку для перевірки характеристик поданих виробниками для ТЕГ.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] S. Kim et al., "Thermoelectric power generation system for future hybrid vehicles using hot exhaust gas," *Journal of Electronic Materials*, vol. 40, no. 5, pp. 778-784, 2011.
- [2] G. J. Snyder, M. Soto, R. Alley, D. Koester, and B. Conner, "Hot spot cooling using embedded thermoelectric coolers," in *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*, Dallas, 2006, pp. 135-15
- [3] G. S. Nolas, J. Sharp, and H. J. Goldsmid, *Thermoelectrics*. Heidelberg, Germany: Springer, 2001.



## УДК 621.791.3

*В.І. Завальський, студент гр. ПБ-15-1, к.т.н., асис. Чуйко М.М.*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### КОНТРОЛЬ ДИНАМІЧНОГО КРАЙОВОГО КУТА ЗМОЧУВАННЯ ПРИПОЯМИ ОСНОВНИХ МАТЕРІАЛІВ ПАЯННЯ

**Анотація.** В даній роботі описано метод контролю динамічного крайового кута змочування на основі вимірювання зміни висоти краплі припою при розтіканні її поверхнею основного матеріалу. Вимірювання висоти краплі виконується за допомогою інфрачервоного випромінювання. Оцінка змочувальних властивостей припоїв здійснюється за коефіцієнтом відносної зміни висоти краплі.

**Ключові слова:** припій, крапля, динамічний крайовий кут змочування, адгезія.

#### ВСТУП

Паяння, як спосіб з'єднання певних деталей, елементів, чи окремих блоків набув широкого застосування, особливо в сфері приладобудування та мікроелектроніки. Даний процес дозволяє скріплювати як дрібні SMD деталі, так і більш масивні вивідні компоненти, забезпечуючи електричний контакт та механічну міцність з'єднання.

Найважливішими характеристиками припоїв є високі адгезійні та капілярні властивості і висока текучість. Припій обирається залежно від дозволеної температури, розмірів деталей, його механічної міцності і корозійної стійкості. Для виконання процесу паяння припої повинні змочувати основний метал, розтікатися по його поверхні та заповнювати щілини. На змочування і розтікання припою значно впливають температура, стан поверхні твердого тіла, зовнішня газова або шлакова фаза.

#### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЗМОЧУВАННЯ

Для змочування необхідне встановлення зв'язків поверхневих атомів основного металу з атомами припою, що оцінюється крайовим кутом змочування. Умова рівноваги краплі припою при її розтіканні визначається рівнянням Юнга [1]:

$$\sigma_{mz} = \sigma_{mp} + \sigma_{pz} \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

де  $\sigma_{mz}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на межі розділу твердого тіла і газу;

$\sigma_{mp}$  – коефіцієнт **поверхневого** натягу на межі розділу твердого тіла з рідиною

(припоєм);  $\sigma_{pz}$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини (припою) при контакті

з газовою фазою,  $\theta$  - крайовий кут змочування.

Змочувальна здатність припою визначає його розтікання по поверхні основного металу. Розтікання визначається співвідношенням сил адгезії припою до поверхні твердого тіла і сил когезії в припої. Сили адгезії характеризують зв'язок часток припою і твердого тіла, а когезії – зв'язок між атомами припою. Розтікання краплі відбувається, якщо робота адгезії більша за роботу когезії. Різниця між цими роботами називається коефіцієнтом розтікання  $k$  [2].

Проте, на практиці взаємодію припоїв з різними матеріалами досліджують експериментально. Перш за все визначають характеристики змочування і



розтікання припоїв.

Швидкість змочування характеризується інтенсивністю зменшення кута  $\theta$ , тобто  $d\theta/dt$ , а швидкість розтікання визначається швидкістю зміни радіуса  $r$  основи краплі з часом  $t$ , тобто  $dr/dt$ . Розтікання характеризується питомою площею розтікання, тобто площею, яку займає припій після розтікання, віднесеною до одиниці його маси, наприклад мм<sup>2</sup>/мг або см<sup>2</sup>/г [2,3].

## МЕТОД КОНТРОЛЮ КРАЙОВОГО КУТА ЗМОЧУВАННЯ

Дослідження змочувальних властивостей припоїв пропонуємо здійснювати шляхом контролю динамічного крайового кута змочування  $d\theta/dt$  на основі вимірювання зміни висоти краплі припою в процесі розтікання її досліджуваною поверхнею, до моменту повного розтікання. Характер зміни висоти краплі описується гіперболічним законом, як і характер зміни крайового кута змочування. Тобто інтенсивність зміни як крайового кута змочування, так і висоти краплі буде високою в перші доли секунди розтікання і зменшуватиметься до моменту повного розтікання. Кращими змочувальними властивостями володіють ті припої, у яких є більша динаміка зміни крайового кута змочування, а отже і швидше зменшення висоті краплі.

Вимірювання висоти краплі пропонуємо здійснювати за допомогою інфрачервоних (ІЧ) перетворювачів, які забезпечать випромінювання ІЧ хвиль та реєстрацію відбитих хвиль від поверхні припою. Висоту лежачої краплі  $h_k$  визначаємо за формулою:

$$h_k = h_0 - h_n, \quad (2)$$

де  $h_0$  – фіксована віддаль від матриці перетворювачів до поверхні основи,  $h_n$  відстань від матриці перетворювачів до поверхні краплі припою.

В процесі досліджень ІЧ перетворювачі розміщуємо горизонтально над досліджуваною поверхнею твердого тіла на відстані  $h_0$  (рис. 1), яка визначається до нанесення припою в процесі калібрування. Тоді на поверхню твердого тіла наносимо краплю припою і здійснюємо вимірювання її висоти при її розтіканні поверхнею основи.

Оскільки поверхня припою є криволінійною, тому для фіксації відбитого променя від цієї поверхні необхідно використовувати не один перетворювач, а декілька, розміщених у вигляді матриці над об'єктом контролю. В даному випадку, пропонуємо використовувати матрицю ІЧ перетворювачів розміром 3x3 (рис. 1). Дана конфігурація дозволяє визначити величину максимальної висоти краплі, для якої час “повернення” відбитого променя є мінімальним. Розрахунок динаміки зміни висоти краплі при розтіканні здійснюємо на основі вимірних значень того перетворювача із матриці, який зафіксує мінімальну віддаль до поверхні припою.

Змочувальні властивості припоїв при їх розтіканні поверхнями твердих тіл оцінюємо за величиною відношення висоти краплі в момент повного розтікання  $h_{np}$  до початкової її висоти  $h_k$  – в момент нанесення припою:

$$k_{\epsilon} = h_{np} / h_{\kappa}, \quad (3)$$

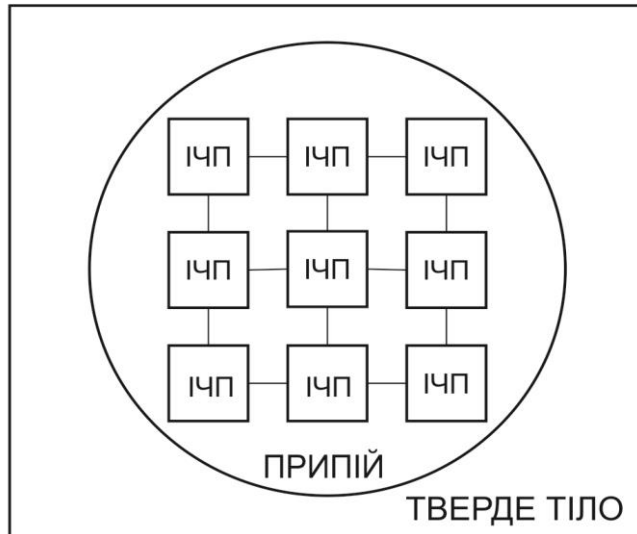
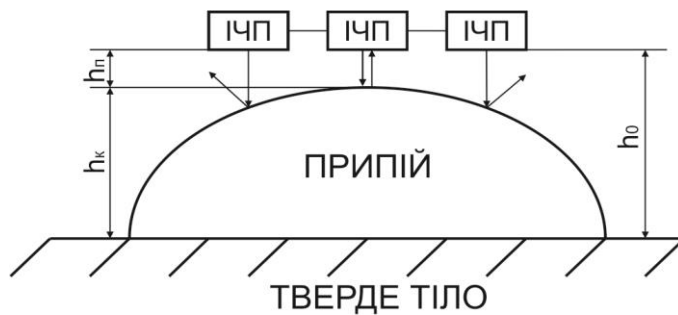


Рисунок 1. Схема контролю динамічного крайового кута змочування припою

Значення  $k_{\epsilon}$  може мінятися в межах від 0 до 1 (“0” – при повному розтіканні, для якого  $h_{np} \rightarrow 0$ ; “1” – припій не змочує контрольоване тверде тіло, для якого  $h_{np} \approx h_{\kappa}$ ).

Кращими змочувальними властивостями володіє припій, якому відповідає найменше значення  $k_{\epsilon}$  – коефіцієнт відносної зміни висоти краплі.

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод контролю дозволяє:

- досліджувати динамічний крайовий кут змочування на основі зміни висоти краплі припою при її розтіканні поверхню основного матеріалу;
- здійснювати градацію змочувальних властивостей

припоїв за коефіцієнтом відносної висоти краплі;

— здійснювати підбір припоїв з кращими змочувальними властивостями для забезпечення якісного з’єднання деталей в процесі паяння.

Для отримання якісного з’єднання деталей, визначальними параметрами є: високі змочувальні властивості паяльних матеріалів відносно твердого тіла, що підлягає спаюванню, дотримання чистоти поверхні деталі та температурного режиму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д.Зимон. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
- [2] Лашко Н.Ф. Пайка металлов. / Н.Ф. Лашко, С.В. Лашко. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
- [3] Паяння металів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів при паянні / [В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, Б.В. Бугаєнко, Г.В. Єрмолаєв; під редакцією В.Ф. Квасницького]. – Миколаїв: НУК, 2006. – 160 с.

УДК 620.179

Р.В.Каньоса, студент гр. ПК-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КРУГОВИХ СТАТИСТИК СИГНАЛІВ ВИХРОСТРУМОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

**Анотація.** В статті розглянуто методи статистичної фазометрії для побудови виявляча сигналів вихрострумової дефектоскопії (ВСД). Описано методику знаходження кругових статистики зашумленого сигналу. Проведено аналіз залежності ефективності кругових статистики для сигналів з різними параметрами шуму та різною частотою дискретизації сигналу, наведено графічне представлення описаних залежностей.

**Ключові слова:** дискретне перетворення Гільберта, кругова статистика, вихрострумова дефектоскопія.

### ВСТУП

Під час контролю виробів з електропровідних матеріалів одним з найефективніших методів є вихрострумний контроль [1]. Важливою характеристикою під контролі в умовах виробництва є швидкість його проведення. ВСД можливо реалізувати в динамічному режимі контролю, забезпечивши при цьому значну швидкість проведення контролю. При цьому доцільне використання в якості датчиків, диференціальних вихрострумних перетворювачів (ВСП). Сигнал таких датчиків представлений у вигляді радіоімпульса. Оскільки амплітуда радіоімпульса під час динамічного режиму проведення контролю не є сталою та швидко змінюється, та для збільшення точності визначення дефектів невеликих розмірів, варто звернути увагу на фазові характеристики сигналів ВСД [2].

Фазові характеристики сигналів можуть бути визначені, до прикладу, через перетворення Гільберта. Застосування перетворення Гільберта дозволяє використовувати статистичне опрацювання фазових характеристик сигналів. Такий підхід дозволяє скористатися рядом характеристик сигналів. До числа останніх належать круговий середній кут, кругова дисперсія, довжина результуючого вектора, отриманого шляхом векторного підсумовування результатів фазових вимірювань на колі одиничного радіуса (т. з. *r*-статистика) та інші. На основі даних характеристик можлива побудова виявляча сигналів ВСД.

### МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати вплив відношення шум/сигнал та частоти дискретизації, на точність визначення кругових статистик розрахованих з фазових характеристик сигналу ВСД.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В доповіді проведено модельні експерименти з метою аналізу впливу різних факторів на величину *r*-статистики [3]. В якості досліджуваної моделі використано адитивну суміш гармонічного сигналу та гауссового шуму. *r*-статистика обчислювалась для різниці фазових характеристик досліджуваної моделі та синусоїди на інтервалі значень, що охоплював два періоди сигналу за наведеними в [3] алгоритмами. Побудовано та проаналізовано залежності *r*-статистики від варіації кількості *k* дискретних відліків на період сигналу та

відношення шум/сигнал ( $n$ ). За отриманими залежностями побудовано 3D графік функції  $r(k, n)$ , що приведений на рис.1. Для зменшення впливу випадкової похибки застосовано усереднення  $r(k, n)$  за результатами 100 експериментів.

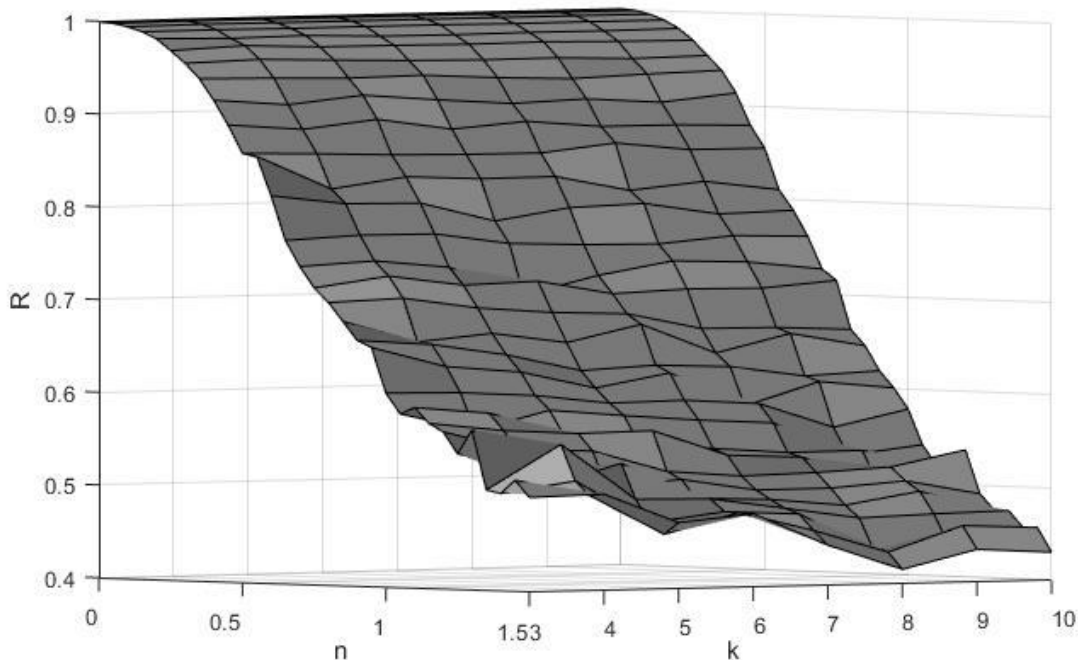


Рис.1. Графік залежності  $r$ -статистики від кількості  $k$  дискретних відліків на період сигналу та відношення сигнал/шум ( $n$ )

Визначено, що вплив шуму, значно перевищує вплив кількості  $k$  дискретних відліків на період сигналу для значень  $k > 4$ . Варто відзначити, що за значених відношенняч шум/сигнал ( $n$ ) близьких та дещо більших за одиницю, значення  $r$ -статистики знаходиться на рівні достатньому для детектування корисних сигналів, що говорить про доцільність її використання за малих амплітуд корисних сигналів.

Проаналізовано комплексний вплив  $n$  та  $k$ . При цьому варто відзначити, що за малих значень  $n$  (0-0.5) зі збільшенням  $k$  значення  $r$ -статистики зростає, це є очікуваним результатом. Проте за великих значень  $n$  ( $n > 1$ ) видно чітку тенденцію зменшення значення  $r$ -статистики при збільшенні  $k$ . Дані закономірності вказують на важливість обґрунтування оптимальних параметрів системи обробки сигналів ВСД.

Виконане усереднення дозволило виділити трендову складову функції  $r(k, n)$  та дало змогу оцінити дисперсію та середньоквадратичне відхилення отриманих значень  $r(k, n)$  в діапазоні аргументів  $k = 3 \dots 10$  (з одиничним кроком) та  $n = 0 \dots 1.5$  (з кроком 0.05). На основі отриманих значень середньоквадратичного відхилення (СКВ) побудовано графік розподілу значень  $r$ -статистики, який представлено на рис. 2. На приведеному графіку верхня поверхня забражує суму значень  $r$ -статистики та СКВ, нижня – різницю значень  $r$ -статистики та СКВ.

Виявлено, що за значень  $n = 0.5 \dots 1.5$ , можливий значний розкид значень  $r$ -статистики, це негативно впливає на імовірність виявлення дефектів за аналізом  $r$ -статистики. Для підвищення вірогідності контролю доцільно

здійснювати аналіз сигналів за умови  $n < 1$ , або застосовувати додаткові методи обробки сигналу, наприклад застосування ковзного режиму визначення  $r$ -статистики, з подальшою обробкою кореляційними методами.

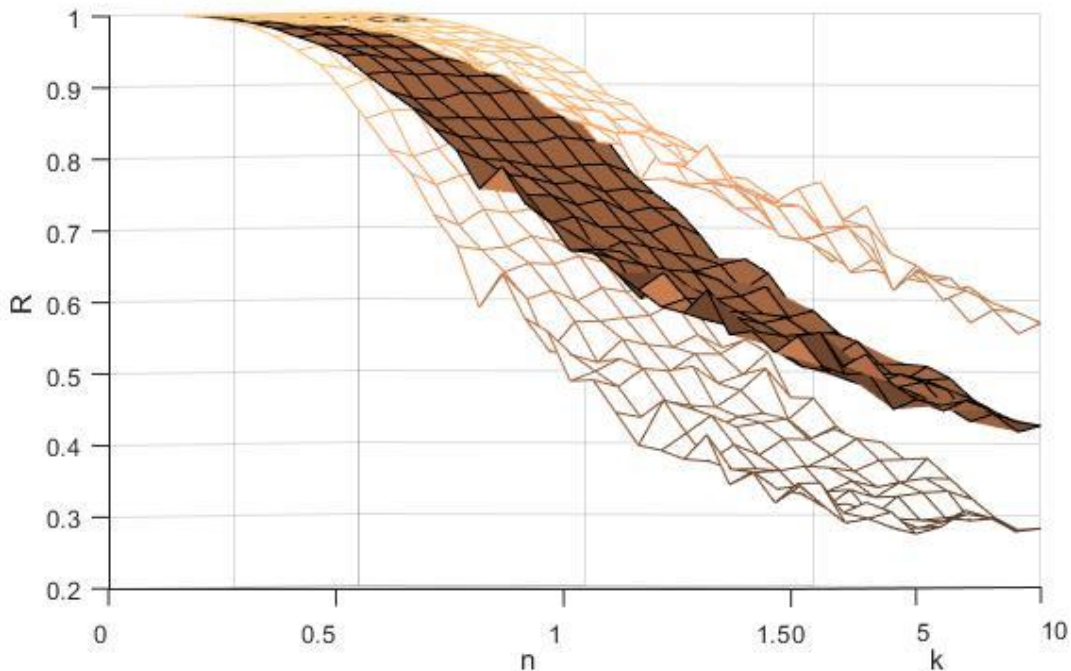


Рис.2. Графік розподілу значень  $r$ -статистики

## ВИСНОВКИ

Вибір параметрів системи обробки сигналу з використанням  $r$ -статистики, суттєво впливає на вірогідність виявлення дефектів під час ВСД. Показано що, для  $n \in [0, 0.5]$ , частоту дискретизації доцільно обирати з умови отримання не менше 7 відліків на період. В разі  $n > 1$ , оптимальний результат отримується для випадку близько 4 відліків на період.

Використання  $r$ -статистики в задачах ВСД дозволить покращити чутливість до сигналів малих амплітуд, за рахунок ефективного детектування за співмірних значеннях сигналу та шуму. Це сприятиме збільшенню вірогідності контролю, глибини контрольованої зони виробу та чутливості до дефектів малих розмірів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 5, Electromagnetic Testing / Satish S Udpa (technical editor), Patrick O'Moore (editor). – ASNT, 2004. – 536 p.
- [2] Куц Ю.В., Щербак Л.М. Статистична фазометрія / Куц Ю.В., Щербак Л.М. — Т. :ТДТУ, 2009. — 384 с.
- [3] Kanti V. Mardia, Peter E. Jupp. Directional Statistics / Wiley series in probability and statistics.— John Wiley & sons Ltd. – Daffins Lane, Chichester, West Sussex, P019 IUD England. – P. 429.

*Науковий керівник: д.т.н., професор Куц Ю.В.*

УДК 620.179

С.Є. Клепач, студент гр. ПК-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

**Анотація.** Проведений аналіз найбільш ефективних методів неруйнівного контролю бурильних труб, визначені їхні переваги і недоліки.

**Ключові слова:** дефект, аналіз, напруженість, ультразвук, контроль.

### ВСТУП

Бурильна труба - це порожнистий, тонкостінний, сталевий або алюмінієвий сплав, який використовується на бурових установках. Вона є порожньою, що дозволяє прокачувати буровий розчин через отвір через долот і підтримувати кільце. Труба виготовляється в різних розмірах, товщинах стін, але зазвичай становить від 7 до 9 метрів в довжину (діапазон 2). Існують довші довжини, до 13 метрів (діапазон 3). [1-3].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Данна стаття є оглядом методів неруйнівного контролю та визначення найбільш раціонального методу контролю бурильних труб.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З літературних джерел було визначено методи, які використовують для створення систем діагностики бурильних труб: візуальний контроль; капілярний контроль; вихрострумний контроль; радіаційний контроль; ультразвуковий контроль. Розглянемо недоліки і переваги кожного методу.

**Візуальний** контроль є одним з методів неруйнівного контролю оптичного типу. Вона базується на отриманні інформації про досліджуваний матеріал за допомогою візуального спостереження або оптичних та вимірювальних приладів. Метод візуального тестування дозволяє виявляти розриви, відхилення розмірів і форми від зазначених більш ніж на 0,1 мм при використанні приладів зі збільшенням до 10х.



Рис.1 – Набір візуально-оптичного контролю

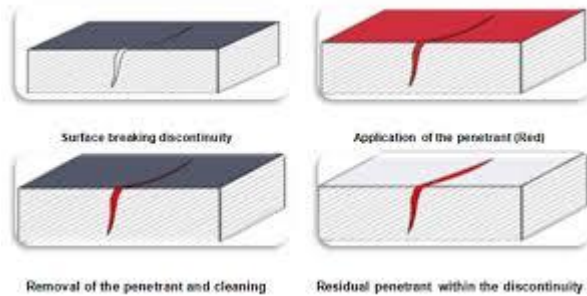
Візуальний контроль зазвичай виконують неозброєним оком або лупами (лупами) з збільшенням до 7х. У сумнівних випадках і в ході технічної діагностики лупи можна використовувати зі збільшенням до 20х. Перед виконанням візуального тестування поверхні матеріалу в зоні контролю слід очистити від іржі, окалини, бруду, фарби, масла, металевих розпилювачів та інших домішок, що перешкоджають перевірці[4].

**Переваги:** швидкий і інформативний метод, який не потребує дорогого обладнання і спеціальних навичок.

**Недоліки:** контроль здійснюється лише на видимій частині об'єкту контролю, виявлення лише поверхневих дефектів.



**Капілярний метод контролю** призначений для проникнення індикаторної речовини (пенетранта) в поверхневі дефекти (пори, тріщини тощо) Рис. 2. Пенетрант може точно виявити дефекти поверхні, незалежно від типу, матеріалу та конфігурації поверхні, що підлягає контролю. Капілярний метод використовує характерні властивості структури і капілярні властивості рідин.



2 - Стадії контролю поверхні деталі капілярним методом із застосуванням проявника:

- а - порожнину тріщини заповнюється проникаючою рідиною - пенетрантом;
- б - рідина видаляється з поверхні деталі;
- в - наноситься проявник, тріщина виявляється;
- 1 - деталь;
- 2 - порожнину тріщини;
- 3 - проникаюча рідина;
- 4 - проявник;
- 5 - індикаторний слід тріщини

металевими матеріалами, але може також використовуватись для перевірки пластмас, кераміки, скла та інших матеріалів, поверхня яких не є пористою і не буде пошкоджена завдяки застосуванню проникаючої речовини[4].

Переваги: невелика собівартість, здійснює локалізацію поверхневих дефектів, дефектоскопія не обмежується металевими матеріалами, може використовуватись при різній конфігурації та різних геометричних параметрів об'єкту контролю.

Недоліки: велика тривалість і трудомісткість контролю, термін придатності індикаторних рідин не вічний, можливість контролю лише поверхневих дефектів.

**Магнітний контроль.** Інспекція магнітних частинок – це процес

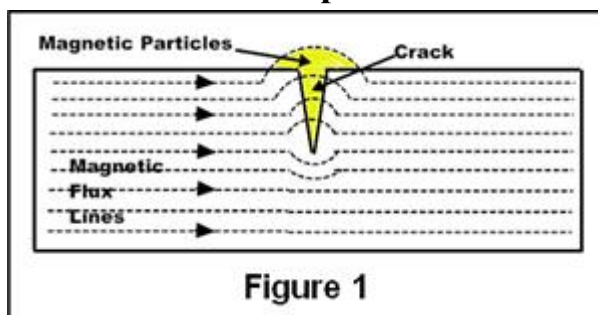


Рис.3 – Процес магнітного неруйнівного контролю

Принцип, що лежить в основі методу, полягає в капілярній дії і змочуваності окремих рідин – пенетрантів, їх кольору і флуоресценції. Поверхня досліджуваного матеріалу пронизана проникаючою рідиною і після видалення надлишкового пене-ранту з поверхні, пенетрант залишається над поверхневими дефектами. Використовуючи проявник, нанесений на досліджувану поверхню, створюється кольорова індикація дефекту. Використання методів капілярної дефектоскопії не обмежується

металевими матеріалами, але може також використовуватись для перевірки пластмас, кераміки, скла та інших матеріалів, поверхня яких не є пористою і не буде пошкоджена завдяки застосуванню проникаючої речовини[4].

Переваги: невелика собівартість, здійснює локалізацію поверхневих дефектів, дефектоскопія не обмежується металевими матеріалами, може використовуватись при різній конфігурації та різних геометричних параметрів об'єкту контролю.

Недоліки: велика тривалість і трудомісткість контролю, термін придатності індикаторних рідин не вічний, можливість контролю лише поверхневих дефектів.

**Магнітний контроль.** Інспекція магнітних частинок – це процес неруйнівного контролю для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у феромагнітних матеріалах, таких як залізо, нікель, кобальт і деякі з їх сплавів. Отже магнітний контроль застосовують тільки для матеріалів та виробів, які здатні суттєво змінювати свої магнітні характеристики під впливом зовнішнього магнітного

поля (поля намагнічування), тобто для контролю феромагнітних матеріалів.

Для ідентифікації витоку на частину наносять частинки заліза, або сухі, або у вологій суспензії. Вони притягуються до області витоку потоку і формують те, що відомо як індикація, яка оцінюється для визначення її природи, причини та способу дії, якщо такі є.

Існує декілька типів електричних струмів, що використовуються для контролю магнітних частинок. Для вибору належного струму необхідно враховувати геометрію частини, матеріал, тип розриву, який шукає, і наскільки далеко магнітне поле має проникнути в об'єкт контролю

Переваги: швидкий і відносно нескладний, виявлення поверхневим і приповерхневим дефектів, може бути адаптований для використання на місці або майстерні, досліджуються великі і малі об'єкти, не потрібно робити попередню очистку.

Недоліки: метод обмежений феромагнітними матеріалами, процес контролю потребує два етапи: 1) намагнічування ОК; 2) визначення полів розсіювання.

**Ультразвукова дефектоскопія** це сімейство методів неруйнівного контролю, заснованих на поширенні ультразвукових хвиль в досліджуваному об'єкті або матеріалі. У найбільш поширених застосуваннях використовуються частоти від 0,1 до 15 МГц, а іноді і до 50 МГц. Ці частоти передаються в матеріал для виявлення внутрішніх дефектів або для дослідження характеристик матеріалу. Звичайним прикладом є ультразвукова дефектоскопія трубопроводів.

Ультразвукові випробування часто виконуються на сталях та інших металах і сплавах, хоча також можуть бути використані на бетоні, дереві та композитах, хоча і з меншою роздільною здатністю[5].

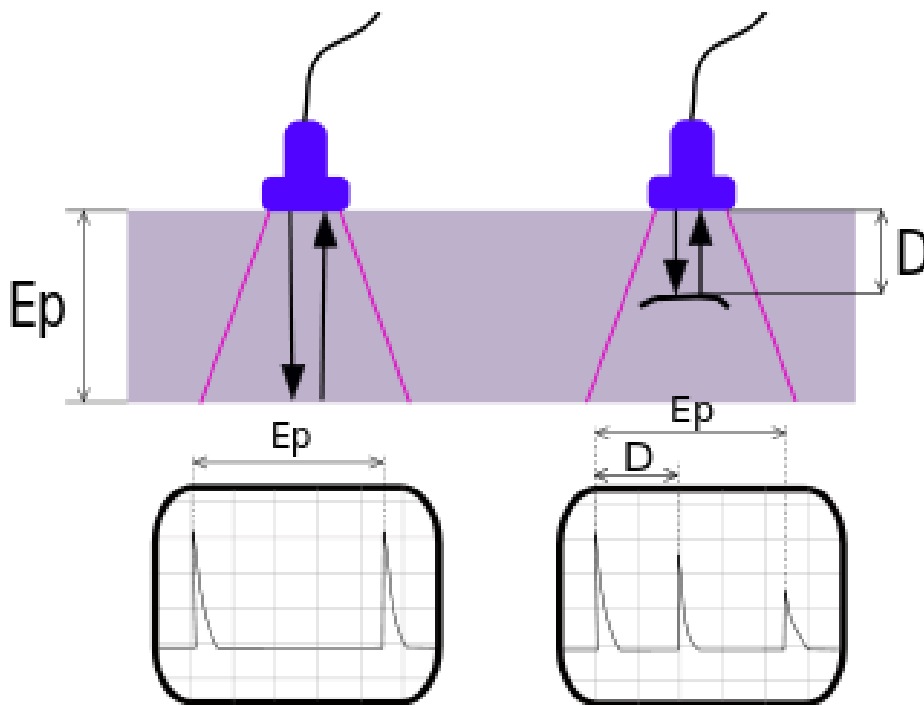


Рис.4 – Принцип ультразвукового контролю

Переваги: висока проникаюча здатність, що дозволяє виявляти дефекти глибокої частини, висока чутливість, що дозволяє виявляти надзвичайно малі



дефекти, можливість оцінки розмірів, орієнтації, форми і характеру дефектів, здатність до портативної або високоавтоматизованої роботи, результати є негайними, отже на місці можуть бути прийняті рішення.

Недоліки: ручне керування вимагає особливої уваги досвідчених дефектоскопістів, поверхня повинна бути підготовлена шляхом очищення та видалення сипучих валів, фарби та ін.

## **ВИСНОВКИ**

Ультразвуковий метод є більш ефективний і раціональний для контролю в порівнянні з існуючими методами. Дозволяє виявляти дефекти на ранній стадії розвитку. На основі аналізу літератури виявлено, що найбільш придатний, універсальний і безпечний для персоналу метод, який слід застосовувати при контролі і технічній діагностики бурильних труб це ультразвуковий метод контролю.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования // Учеб. Пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с.
- [2] Бухаленко Е.И., Абдулаев Ю.Г. Монтаж, обслуживание и ремонт нефтепромыслового оборудования // Учебник. – 2-е изд. Перераб. И доп. – М.: Недра, 2005. – 391 с.
- [3] Система технического обслуживания и планового ремонта бурового и нефтепромышленного оборудования в нефтяной промышленности // Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва, ВНИИОЭНГ, 2004. – 128 с.
- [4] Неруйнівний контроль матеріалів і конструкцій [Електронний ресурс] // Збірник наукових праць. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/18239>.
- [5] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерноінтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

*Науковий керівник – к.т.н, доцент Баженов В.Г.*

УДК 620.179.162

І.Г. Котов, студент гр. ПК-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНТРОЛЬ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

**Анотація.** В роботі розглянуті та проаналізовані методи контактної точкової зварювання, виявлені переваги та недоліки кожного з методів та способи їх застосування.

**Ключові слова:** Акустична емісія, об'єкт контролю, непровар, контактне точкове зварювання

### ВСТУП

Контроль контактної точкової зварювання має важливе значення у зв'язку з швидкоплинністю процесу та прихованим від зовнішнього спостереження характером формування з'єднання (плавлення металу). У процесі зварювання струм проходить від одного електрода до іншого через метал заготовок. Електроди для контактної точкової зварювання виготовляються зі сплавів з високою електропровідністю, щоб опір в контакті електрод-деталь була мінімальною. Тому в місцях контактів деталь-деталь відбувається найбільший нагрів за рахунок найбільшої величини електричного опору. Розігрів і розплавлення металу під дією електричного струму призводить до утворення литого ядра зварної точки, діаметр якої зазвичай складає 4-12 мм.

Контролюють якість контактної зварювання найчастіше зовнішнім оглядом, а також методами неруйнівного контролю. Найбільш оперативний метод контролю – руйнування контрольних зразків в лещатах молотком і зубилом. Якщо непровару немає, руйнування відбувається по цілому металу однієї з деталей, можна виміряти діаметр литого ядра при точковому й шовному зварюванні.

### ОПИС МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

На рис.1 показана схема ультразвукового контролю точкових з'єднань у процесі зварювання.

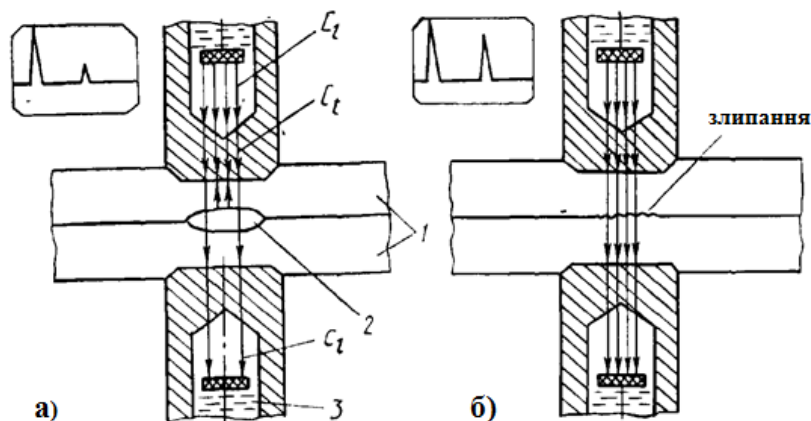


Рис.1. Схема контролю точок у процесі зварювання.

а – якісне зварювання, б – злипання. 1 – зварювані деталі, 2 – рідкий метал (ядро зварюваної точки), 3 – вода.

Ультразвуковий метод неруйнівного контролю заснований на властивостях поперечних ультразвукових коливань відбиватись від поверхні зміни стану

речовини (твердий - рідкий метал). Оскільки поперечні коливання не поширюються у рідині, то вони відбиваються від поверхні рідкого металу. Тим самим вимірюється час проходження ультразвукових коливань і робляться висновки.

Для реалізації ультразвукового методу випромінювач та приймач ультразвукових коливань знаходиться всередині електродів зварювальної машини. Перетворювач випромінює повздовжні коливання, які в свою чергу трансформуються з повздовжньої хвилі у поперечну в призмі, що приклеєна до дна електроду. Акустичний контакт між електродом та об'єктом контролю забезпечується за рахунок високого зусилля стиснення електродів. Ультразвукові коливання приймачем після проходження другого електроду, призми та рідини в охолоджуючому каналі електроду [1].

Тріщини і раковини можуть бути виявлені просвічуванням рентгенівським промінням. Якщо в зварній точці є раковини, тріщини та інші несутцільності, то вони внаслідок їх меншого поглинання в порівнянні з сусідніми ділянками металу будуть пропускати більшу кількість рентгенівських променів і їх досить легко виявити через потемніння рентгенівської плівки на цих ділянках металу. Виплеск металу виявляється по більш світлим ділянкам навколо точки, тому що на шляху рентгенівських променів більше металу (рис 2.).

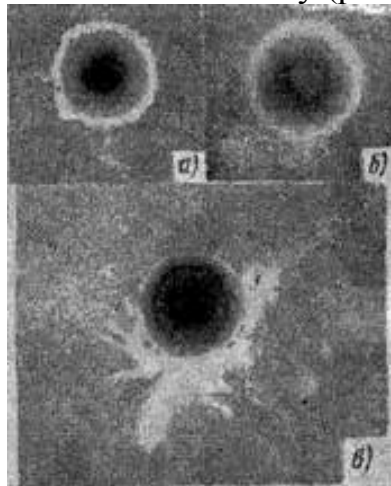


Рис.2.Рентгенограми зварних точок: а – з внутрішніми тріщинами; б – з частковим непроваром; в – з внутрішнім виплеском;

Для контролю і управління процесом контактного точкового зварювання застосовується також метод акустичної емісії (АЕ). При зварюванні в матеріалі деталей, що з'єднуються, виникають пружні коливання, які обумовлені різкими змінами його структури, фазовими перетвореннями і розвитком дефектів. Сигнали АЕ можна приймати протягом всього зварювального циклу, а також в процесі охолодження зварного з'єднання. Аналізуючи параметри АЕ можна оцінити розміри литої зони зварювальних деталей і стежити за виникненням внутрішніх дефектів, а також діагностувати злипання (по відсутності реєстрації сигналів АЕ) [2].

У процесі точкового зварювання датчик акустичної емісії, що розміщується або на одній з деталей, що зварюються, або на електроді, реєструє сигнали двох типів: корисний сигнал АЕ та завади. Корисні сигнали містять інформацію про

події, пов'язані з істотними змінами в розплавленій області точкового з'єднання і в зоні термічного впливу. Завади обумовлені шумами з навколишнього середовища, шумами в електричній мережі, шумами охолоджуючої рідини, стуком електродів, тертям між зварюваними і підтримуючими державками, кавітацією, окалиною, шлаком тощо.

Метод АЕ має переваги перед іншими методами, оскільки з великою точністю контролює непровар під час процесу зварювання об'єктів. Однак наявність значного рівня завад обмежує застосування цього методу для контролю контактного точкового зварювання.

## **ВИСНОВКИ**

Контроль контактного точкового зварювання є складним процесом. Актуальним питанням є підвищення достовірності контролю найнебезпечнішого дефекту контактного точкового зварювання - непровару. Хоча для його виявлення можна використовувати більшість описаних методів контролю, однак існуючі в кожному методі недоліки не дозволяють гарантувати надійне виявлення даного дефекту. Це може бути обумовлено фізико-механічними характеристиками ОК, особливостями взаємодії методу неруйнівного контролю з об'єктом і можливостями обробки отриманої інформації.

Тому перспективним є використання одночасно декількох методів для контролю непровару і розробка оптимальних способів аналізу даних для кожного окремого методу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Контроль качества точечной сварки [Електронний ресурс]. - Режим доступа: <https://www.olympus-ims.com/ru/spot-weld-testing/>
- [2] Шаповалов Е.В. Современные методы и средства неразрушающего контроля сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой (Обзор) / Е.В. Шаповалов, Р.М. Галаган, Ф.С. Клишар, В.И. Запара // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Київ. – 2013. – № 1. – С. 10-22.
- [3] Энциклопедия по машиностроению XXL [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/689450/>
- [4] Порохов, Контактная электросварка: большая советская энциклопедия/гл. ред. А. М. Прохоров– 3 вид., - М: 1970 – 650с.

*Науковий керівник, к.т.н., доц. Галаган Р.М.*

УДК 621.384.4

Є.В. Лагутін, студент гр. ПК-51  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВИКОРИСТАННЯ КАТКОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ДІЛЯНОК КОРПУСА СУДНА

**Анотація** В даній роботі було розглянуто конструкцію ультразвукового каткового перетворювача, переваги та недоліки «сухого» контакту даного типу перетворювача та перспективи його використання для визначення корозійних ділянок корпусу судна.

**Ключові слова:** товщинометрія, ультразвуковий перетворювач, колісний зонд, об'єкт контролю.

### ВСТУП

Будь-яке судно періодично проходять обстеження корпусних конструкцій з метою визначення технічного стану корпусу. При огляді проводять дефектацію корпусних конструкцій, заміри залишкових товщин корпусних конструкцій. В даний час товщину найбільш часто вимірюють за допомогою ультразвукових методів, які забезпечують високу точність, але потребують контактного матеріалу (як правило, рідини або геля), який може бути незручним для використання оскільки корпус судна має багато нерівностей. Ще однією з проблем є складна форма елементів корпусу що робить неможливим використання трекерів і потребує ручного контролю. На рис. 1 представлена частина конструкції корпусу судна. Щоб подолати ці проблеми, існує ряд гумових з'єднувальних матеріалів, щоб забезпечити «сухий» контакт ультразвуку із поверхнею. Крім того, якщо секції, які досліджуються, великі або численні, необхідно, щоб ця оцінка здійснювалася швидко, аби всі області були перевірені в розумний час. Пропонується для швидкого огляду в сухому стані, використання каткового ультразвукового перетворювача. Ці перетворювачі використовують м'яку гумову шину для з'єднання ультразвуку від перетворювача у рухомому пристрої до поверхні що контролюється.



Рисунок 1. Частина конструкції корпусу судна

## МЕТА РОБОТИ

Мета даної роботи – розгляд конструкції каткового ультразвукового перетворювача, переваг та недоліків його використання для визначення корозійних ділянок корпусу судна, а також переваги та недоліки «сухого» контакту даного типу перетворювача та перспективи його використання.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Колісний зонд використовує класичний ультразвуковий перетворювач з прямим введенням, що дозволяє здійснювати акустичний контакт датчика з поверхнею без використання контактної рідини. Зовнішня частина каткового перетворювача обертається, дозволяючи колесу котитися по поверхні, тоді як внутрішня частина збірки утримує ультразвуковий перетворювач при фіксованих кутах відносно поверхні.

Відомий тип [1] колісного зонда використовує полімерний міхур, заповнений рідиною, для оточення вузла перетворювача. Цей міхур зазвичай формується у вигляді невеликої шини, прикріпленої до обертової частини колеса і яка обертається при скануванні колесом по поверхні. Шина може бути виготовлена з поліуретану, силікону або іншого спеціалізованого матеріалу з покращеними ультразвуковими та механічними властивостями. Цей тип колісного зонда можна назвати «зондом, заповненим рідиною».

Також відомий тип [1] колісного зонда використовує твердий ротор, який обертається навколо внутрішнього статора (тобто осьового вузла), який не обертається. Статор утримує перетворювач у фіксованому положенні. Ротор може бути виготовлений з матеріалу з відносно низьким ультразвуковим загасанням, таким як акриловий пластик і покритий тонким сумісним матеріалом, таким як поліуретан або силікон. Проте деякі «тверді» зонди використовують жорсткий контакт з досліджуваною поверхнею. Цей тип колісного зонда можна назвати "щільним колісним зондом".

Ультразвукові колісні зонди звичайно потребують контакт між колесом і контрольованою поверхнею, щоб забезпечити ефективну ультразвукову передачу, зонди з колесами використовують шини, виготовлені з матеріалів «сухого» контакту, і можуть використовуватися без змащування контактною рідиною між колесом та об'єктом контролю. Сухе зчеплення використовує спеціальні полімери для виготовлення шин. Один тип шини із «сухим» контактом використовує гідрофільні полімери. Ці полімери поглинають воду і стають м'якими і гнучкими при гідратації. Прикладом є сорт полімеру, який використовується для контактних лінз. При гідратації ці полімери дуже добре передають ультразвук до досить високих частот (> 5 МГц) і виділяють невелику кількість води, достатню для ефективної передачі ультразвуку. Незважаючи на непогані ультразвукові властивості, гідрофільні полімери можуть не мати відповідних механічних властивостей для широкого використання колісних зондів. Також їх властивості змінюються при висиханні полімеру. Недоліком сухого контакту є схильність шин до пилу та бруду, що знижує ефективність ультразвукової передачі.

В таких застосуваннях як тестування товщини та виявлення розшарування, в колісному зонді зазвичай використовується один перетворювач розташований вертикально до поверхні, і дані відображаються у форматі А-скан або В-скан. Колісний зонд для відображення корозії може використовувати один перетворювач розташований вертикально до поверхні або зонд з фазованою решіткою, налаштований для лінійних сканувань, що дозволяє збирати дані для дисплея С-скан. Ще однією особливістю використання ультразвукових перетворювачів для пошуку корозійних ділянок є те, що на відміну від звичайних ультразвукових товщиномірів де вимірюється час подвійного проходження ультразвукових коливань через об'єкт контролю інформаційним параметром одночасно є час та амплітуда прийнятого сигналу.

На рис. 2 та рис. 3 показані основні частини заповненого рідиною ультразвукового колеса зонда. Супорт - це кронштейн, що підтримує колісний зонд, який дозволяє його встановити, але він не повинен бути окремим вузлом.



Рисунок 2. Частини каткового перетворювача

Колісні зонди, заповнені рідиною, зазвичай потребують двох клапанів: один - для введення наповнювальної рідини в колесо, а інший - для виходу повітря. Клапан заповнення може бути розташований у бічній пластині або на одному кінці вузла осі. Випускний клапан зазвичай розташований у бічній пластині. Ідея полягає в тому, щоб заповнити колесо рідиною і переконатися, що повітря не потрапило в колесо. Захоплене повітря перешкоджає ультразвуковій передачі всередині колеса. Зонди з твердим ядром вимагають дуже точного і щільного прилягання між секціями ротора і статора. Утворюється дуже дрібна порожнина, як правило, заповнена легким маслом, таким як силіконове масло, щоб виключити попадання повітря.

Корисним додатком до цієї конструкції є встановлення герконових реле для визначення пройденої відстані колісним зондом.



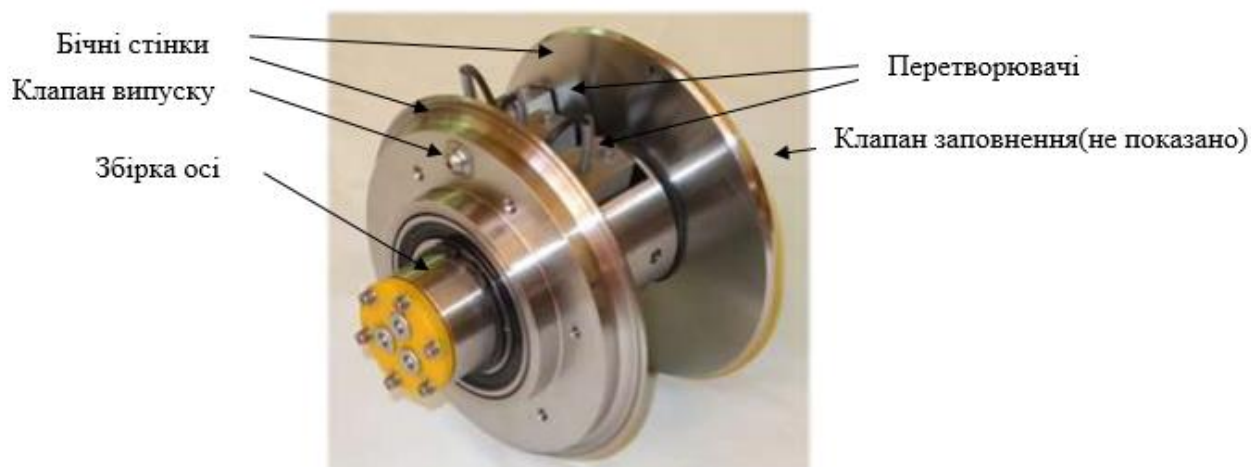


Рисунок 3. Частина каткового перетворювача

## ВИСНОВКИ

Ультразвукові колісні зонди були розроблені в ряді форм для сканування великих площ об'єкта контролю. Ці зонди спрямовані на підтримку послідовного зв'язку між перетворювачем і структурою що контролюється за допомогою обертової шини з легко деформованого каучуку (для забезпечення гарного контакту з шорсткими поверхнями) з низьким затуханням до ультразвуку. Завдяки цьому вони мають непогану перспективу у застосуванні при пошуку корозії корпусу судна.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] John Norman. NTS ULTRASONICS PTY LTD: An Introduction to Ultrasonic Wheel Probes. URL:<http://ntsu.net.au/introduction%20to%20wheel%20probes.pdf>
- [2] A.M. Robinson, B.W. Drinkwater, J. Allin. (2003) Dry-coupled low-frequency ultrasonic wheel probes: application to adhesive bond inspection. *NDT&E International*, 36, 27–36.
- [3] Guidelines for Thickness Measurement of Hull URL: <http://www.ccs.org.cn/ccswzen/font/fontAction!downloadArticleFile.do?attachId=4028e3d6584bd31f01586fe7f3ad0047>
- [4] Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 448 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Баженов В.Г.*



УДК 534.86

О.В. Ладженський, студент гр. ПК-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**Анотація.** Стаття присвячена розробці і дослідженню ультразвукового перетворювача ємнісного типу. Розглянуто фізичні ефекти і явища, що виникають під час роботи такого перетворювача, досліджено деякі способи вирішення проблем. Описана дослідна установка і результати експерименту.

**Ключові слова:** ультразвук, ємнісний перетворювач, SMUTN, фазове керування, ФАР.

### ВСТУП

Останнім часом певна увага приділяється можливості використання добре відомої можливості збудження і прийому ультразвукових коливань за допомогою перетворювачів конденсаторного типу. Конструктивна простота подібних перетворювачів та їх реалізація на новому технологічному рівні відкривають широкі можливості їх практичного використання в техніці ультразвукового контролю та системах медичної акустичної візуалізації. Не дивлячись на системні недоліки подібного способу збудження-прийому коливань, пов'язані з нижчою чутливістю порівняно з п'єзоелектричними та магнітострикційними перетворювачами.

### ФІЗИЧНІ ОСНОВИ

Конденсаторний ультразвуковий перетворювач – це дві електропровідні пластини з діелектричним шаром між ними. Під дією електричного поля – прикладеної різниці потенціалів, між пластинами виникає сила притягання або відштовхування  $F$ .

$$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{2d^2} U^2 \quad (1)$$

Де  $\epsilon$ ,  $S$  та  $d$  – відповідно діелектрична проникність діелектрика (наприклад повітря), площа пластини та відстань між ними.

В [1] описується нова технологія виготовлення ємнісних ультразвукових перетворювачів на кремнієвій основі, в якій витравлюються порожнини необхідних розмірів, разом з нанесеними на її дно електропровідним покриттям утворюють базовий нерухомий електрод перетворювача. Рухомий електрод, який покриває утворену порожнину, використовується як мембрана, переміщенням якої під дією прикладеної між електродами напруги збуджуються ультразвукові коливання контактуючого з нею середовища[2].

З метою збільшення напруги збудження коливань пластини використовують вакуумне середовище порожнини між пластинами. Використання повітряного середовища обмежує величину напруги внаслідок можливості електричного пробою [3][4]. Така технологія відома як SMUTN (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers).

### ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Розвиток SMUTN направлений в основному на створення високочастотних (5-100 МГц) засобів візуалізації структур біологічних тканин живих організмів

та інших малогабаритних систем медичної діагностики. З цією метою нами було створено фокусуєчий дискретний перетворювач з фазовим керуванням (УЗПФК), який розрахований на збудження коливачів і прийом луна сигналів частотою 1 МГц.

Конструкція УЗПФК показана на рис. 1. Перетворювач має пластинчасту основу – нерухомий електрод 1. Рухомі під дією електричного поля пластини 2, 3, 4 відділені від електроду 1 тонкими ізоляційними вставками, які забезпечують фіксовану відстань між цими пластинами і загальним електродом рівну 0,1 мм.

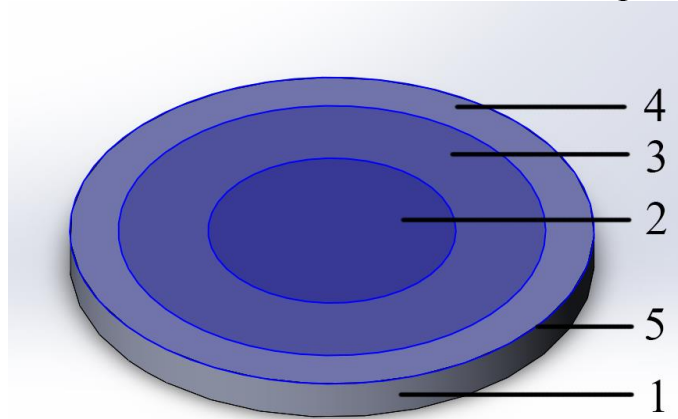


Рисунок 1. Ємнісний ультразвуковий перетворювач

При цьому допустима різниця потенціалів цих електродів по відношенню до загального не повинна перевищувати 50 В. Збудження радіоімпульсних коливачів частотою 1 МГц в пластинах 2, 3, 4 виконується електричним полем згідно схеми рис. 2.

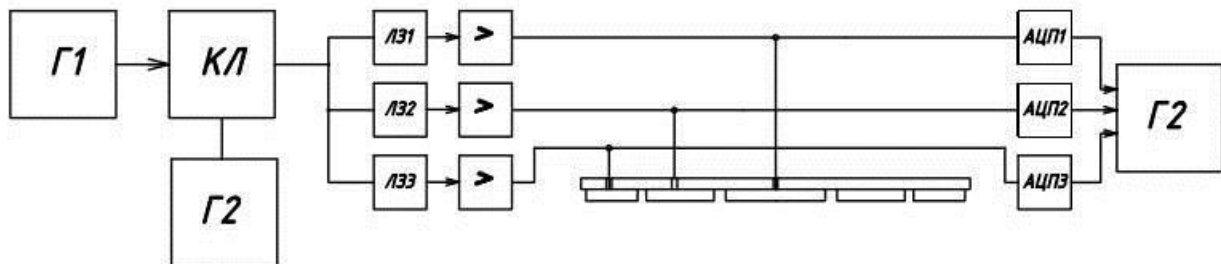


Рисунок 1. Функціональна схема ультразвукової системи

З метою лінійної передачі коливачів пластин 2, 3, 4 середовищу об'єкта контролю перетворювач розташовується на його поверхні під дією ваги додаткової пластини.

Враховуючи обмежену чутливість такого конденсаторного перетворювача внаслідок обмеження допустимої різниці потенціалів електродів, прийом луна сигналів виконується з використанням квадратурно керованих фазових детекторів, що реалізовані програмно [5]. В якості контрольного зразка використовувалась пластина з оргскла товщиною 50 мм. Фокальна відстань перетворювача регулювалась зміною тривалості затримок підключення напруг збудження та напруг луна сигналів, які знімаються з електродів 2, 3, 4.

Експериментальні дослідження підтвердили працездатність використаного перетворювача, роздільна здатність якого на даній частоті впевнено становила 2 мм при довжині хвилі 4 мм. Підвищення роздільної здатності можливе за рахунок підвищення напруги електричного поля, що вимагає використання вакуумного середовища між рухомим і нерухомим електродами. Дослідження продовжуватимуться і в майбутньому будуть представлені результати більш детальних експериментів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] M. I. Haller and B. T. Khuri-Yakub, “A surface micromachined electrostatic ultrasonic air transducer,” *1994 IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 1241–1244, 1994.
- [2] B. T. Khuri-Yakub and O. Oralkan, “Capacitive micromachined ultrasonic transducers for medical imaging and therapy,” *J. Micromech. Microeng.*, p. 054040, 2011.
- [3] O. Oralkan, S. T. Hansen, B. Bayram, G. G. Yaralioglu, A. S. Ergun, and B. T. Khuri-Yakub, “High-frequency cmut arrays for high-resolution medical imaging,” *2004 IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 399–402, 2004.
- [4] I. Ladabaum, X. C. Jin, and B. T. Khuri-Yakub, “Air coupled through transmission of aluminum and other recent results using muts,” *1997 IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 983–986, 1997.
- [5] 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.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Маєвський С.М.*

## УДК 621.386

*М.М. Мерецький, студент гр. ПК-51, к.т.н., доц. Галаган Р.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ОНЛАЙН-СЕРВІС ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛЕГЕНЬ ЗА РЕНТГЕНІВСЬКИМИ ЗНІМКАМИ**

**Анотація.** Робота присвячена розробці онлайн сервісу, за допомогою якого виконується діагностування захворювань легень за рентгенівськими знімками. Для діагностування використовуються нейронні мережі. Сервіс допоможе значно зменшити долю невірних діагнозів та точно оцінювати вірність прийнятого лікарем рішення. Матеріал містить дослідження можливостей та перспектив застосування нейронних мереж в сучасній медицині.

**Ключові слова:** рентген, нейронна мережа, онлайн-сервіс, пневмонія

#### **ВСТУП**

В сучасному світі медицина грає дуже важливу роль в житті людей. Саме тому необхідно підтримувати її розвиток та вдосконалення. Встановлення діагнозу за рентгенівськими знімками вже давно і успішно використовується в медицині, проте його ефективність можна значно підвищити шляхом часткового виключення людського фактору, для чого використовуються наперед навчені нейронні мережі. Це допоможе пришвидшувати постановку діагнозу та покращувати його точність, так як таким чином ми позбуваємось великої частини похибок, що спричинені людиною.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Ціллю даної роботи є розгляд переваг нового способу обробки рентгенівських знімків легень, за допомогою якого можна з великою точністю визначати різні типи захворювання легень. В даній роботі, для прикладу, розглянута бактеріальна та вірусна пневмонія.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Рентгенівський знімок – це зображення об'єкта на світлочутливій емульсії, отримане при просвічуванні його рентгенівським випромінюванням. Даний метод дуже важливий в медицині, оскільки є одним з найкращих методів діагностування багатьох захворювань. Головною метою проведення рентгенівського дослідження є поставлення правильного діагнозу і як результат – відновлення здоров'я пацієнта. Для високої точності поставленого діагнозу пропонується використовувати онлайн-сервіс, що базується на навченій на рентгенівських знімках легень нейронній мережі[1], і робить висновок про стан хворого.

Принцип дослідження полягає в аналізі рентгенівського знімку[2]. Рентгенівські промені мають електромагнітну природу, але їхня довжина хвилі коротша, ніж, наприклад, в ультрафіолету чи радіохвиль. Ці промені є невидимими для очей.

Різні тканини пропускають рентгенівські промені по-різному: кісткова тканина практично повністю їх поглинає, м'які тканини їх частково затримують, а повітря повністю пропускає. В залежності від цього на знімку виходять тіні різної інтенсивності: на місці кісток - білі ділянки, на місці м'яких тканин - сірі,

а повітря виглядає чорним[3]. Якщо виконується рентген з контрастною речовиною і на знімку видно нерівномірне заповнення органу, то вважається, що у хворого можлива наявність доброякісної чи злоякісної пухлини.

Таким чином, здорові легені, продемонстровані на рис. 1, заповнені повітрям, на знімку виглядають чорними. Ділянка запалення при пневмонії це більш світла пляма, яку легко помітити на плівці, на рис. 2 і рис. 3.

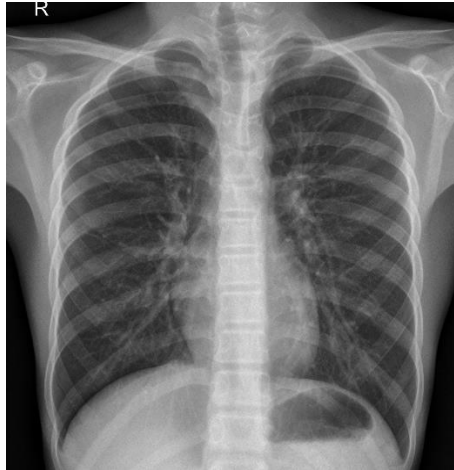


Рисунок 1. Приклад здорових легень

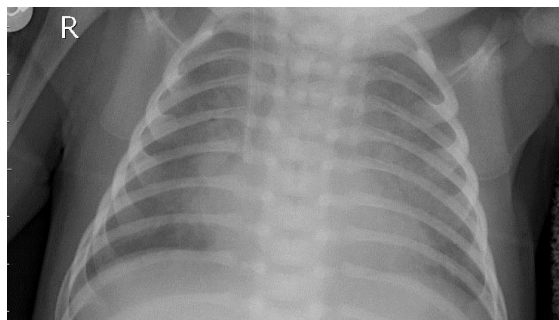


Рисунок 2. Приклад бактеріальної пневмонії



Рисунок 3. Приклад вірусної пневмонії

Головною перевагою запропонованого методу діагностування захворювань легень є виключення людського фактору, і, як результат, великої частини похибок, пов'язаних з неухважністю, поганим освітленням чи просто некомпетентністю. Проте це ж може бути і недоліком, адже можуть зустрічатись певні рідкісні види захворювань, які система може не помітити чи не розпізнати, тому повністю усувати людей від поставлення діагнозу не можна.

Важливим пунктом є дані, яких є недостатньо у вільному доступі, проте при правильному запровадженні даної системи в медичній сфері, можливим буде

постійне поповнення бази даних онлайн-сервісу лікарями, які зможуть завантажувати рентгенівські знімки з власної практики в систему, тим самим збільшуючи точність результату[4].

Можливим є збільшення області даного методу шляхом збільшення кількості рентгенівських знімків в базі даних. Таким чином можна буде навчити нейронну мережу класифікувати не тільки пневмонію, а й інші захворювання легень, що явно розширить межі використання даного онлайн-сервісу.

## **ВИСНОВКИ**

Онлайн-сервіс для перевірки наявності захворювань легень являє собою зручний інструмент для покращення точності поставленого діагнозу. Він працює на основі наперед навченої нейронної мережі, яка з високою точністю визначає наявність патологій на рентгенівському знімку хворого. Даний сервіс має достатньо велику область застосування в сфері медицини, що робить дослідження актуальним. Вірогідність правильного діагностування пневмонії склала 96,3%.

В роботі було розглянуто структуру і принцип роботи онлайн-сервісу з нейронною мережею для діагностування захворювань легень, проаналізовано його переваги та недоліки, джерела похибок та область використання. Проведений аналіз дає змогу зробити висновок, що даний метод діагностування дає дуже хороший результат, і має великий потенціал у використанні. Адже є можливість масштабування його області застосування до діагностування будь-яких захворювань на основі рентгенівських знімків, при умові наявності певної бази даних цих знімків.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Cathy O'Neil, Rachel Schutt. Doing Data Science. Straight Talk from the Frontline. – O'Reilly Media, 2013. – 408p.
- [2] Быков Р. Е., Фрайер Р., Иванов К. В., Манцветов А. А. Цифровое преобразование изображений/ Под ред. Р.Е. Быкова. – М.:Горячая линия-Телеком, 2003. – 228с.
- [3] Михалов С. Р. Моделирование теневого рентгеновского изображения контролируемого объекта в рентгеноскопических системах неразрушающего контроля // Электроника и связь. – 2002. -- №16. – С.59-70.
- [4] Sarah Guido, Andreas Müller. Introduction to Machine Learning with Python. A guide for Data Scientists. – O'Rilly Media, 2016. – 285p.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Галаган Р.М.*

УДК 620.179

Н.В. Мороз, студент гр. ПК-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТАТИСТИЧНОЇ ФАЗОМЕТРІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

**Анотація.** Розглянуто методи статистичної фазометрії в ультразвуковій товщинометрії (УЗТ). Описано та проведено експериментальні дослідження методу виявлення донних сигналів на фоні шумів. Проведено аналіз виявлення корисного сигналу за амплітудною та фазовою характеристикою сигналу. Фазова характеристика сигналу визначалась на основі дискретного перетворення Гільберта. За даними дослідження було встановлено, що запропонований спосіб дає змогу підвищити точність вимірювання товщини виробів.

**Ключові слова:** ультразвукова товщинометрія, фазова характеристика сигналу.

### ВСТУП

Методі ультразвукового неруйнівного контролю призначення для дослідження якості та відповідності об'єкту контролю певним стандартам. Наразі широкого застосування у виробництві набув метод ультразвукової товщинометрії для вирішення задач контролю геометричних розмірів певних об'єктів та виробів: стінок судів, які працюють під високим тиском, ємностей, що мають лише зовнішній доступ до стінки, тощо [1].

Від товщини об'єкта контролю залежить його міцність. Забезпечення контролю товщини виробів з матеріалів зі значним загасанням ґрунтується на розвитку методів прецизійного визначення часу поширення ультразвукових сигналів в об'єктах контролю за низького відношення сигнал/шум (с/ш).

### МЕТА СТАТТІ

Дослідження можливості використання в УЗТ методу статистичної фазометрії для прецизійного визначення часу затримки сигналів за їх амплітудними та фазовими характеристиками [2].

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фазова та амплітудні характеристики сигналів УЗТ в проведених дослідженнях отримувались за допомогою перетворення Гільберта. Застосування цього перетворення дозволяє отримувати вибірки характеристик сигналів таких обсягів, які дозволяють застосовувати до них методи статистичного опрацювання.

Розглянутий метод виявлення сигналів базується отриманні кругових статистик за фазовою характеристикою адитивної суміші сигналу з гауссовим шумом. Зокрема для виявлення сигналів УЗТ у формі радіоімпульсів з синусоїдним сигналом-носієм використовується така статистика як результуюча довжина вектора (r-статистика) [3].

На практиці сигнал, який надходить на обробку, представлений поєднанням корисної складової, що несе інформацію про об'єкт контролю (ОК) і шумової, що утворюється власними шумами апаратури та шумами середовища. В якості шума використана модель гауссового шуму з нульовим математичним сподіванням і дисперсією  $\sigma^2$ , відношення с/ш оцінювалось як відношення амплітуди сигналу до  $\sigma$  [4].

Методиою проведення експериментів передбачалося визначення поточних значень різниці різниці фазової характеристики сигналу-носія та оцінювання значень статистики  $r$  в ковзному режимі, під час руху прямокутного вікна відносно вибірки  $\Psi$ . Апертура вікна  $M_r$ , обиралась кратною періоду несучого сигналу.

На кожному  $j$ -тому кроці аналізу підлягає сукупність значень

$$\Delta f[k, M_r] = \left\{ \Delta f[k], k\hat{I}j - \frac{M_r}{2}, j + \frac{M_r}{2}, j\hat{I}\frac{M_r}{2}, n - \frac{M_r}{2} \right\}. \quad (1)$$

Поточне значення статистики  $r$  визначається в відповідності до виразу

$$r[j, M_r] = \sqrt{C^2[j, M_r] + S^2[j, M_r]} = \frac{I}{M_r} \sqrt{\left( \sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \cos\Delta\varphi[k] \right)^2 + \left( \sum_{k=j-0.5M_r}^{j+0.5M_r} \sin\Delta\varphi[k] \right)^2}. \quad (2)$$

Нижче розглянуто результати моделювання задачі визначення чотирьох донних сигналів УЗТ на основі аналізу функції  $r[Mr]$ .

В проведених досліджах обиралась амплітуда першого імпульсу на прикладі знаходження чотирьох донних сигналів в адитивній суміші ультразвукового радіоімпульсного сигналу з гауссівською обвідною і гауссівського шуму з середньоквадратичним значенням  $\sigma=0,2$  (в відносних одиницях), для двох ковзних вікон різної тривалості.

Для параметрів сигналу були обрані наступні значення: частота сигналу-носія  $f = 10$  кГц, період дискретизації  $T_d = 10^{-7}$  с, кількість аналізованих донних імпульсів  $k=4$ , інтервал часу аналізу  $t \in [0; 4 \cdot 10^{-3}]$  с; апертури ковзних вікон -  $Mr = 100$  та  $Mr = 400$ .

Графік донних сигналів та їх суміш з гауссовим шумом ( $u[j]$ ) представлені відповідно на рис. 1 а, б.

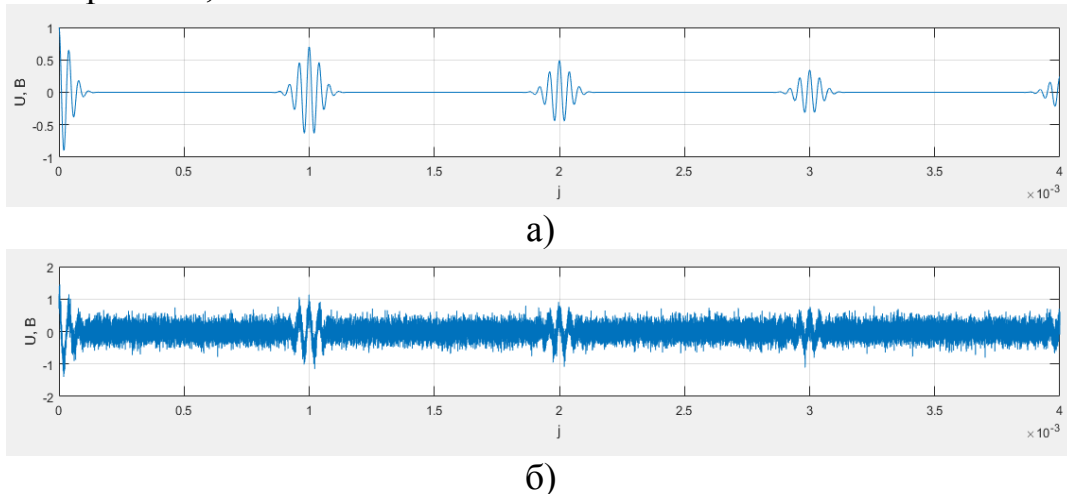


Рисунок 1. Досліджуваний сигнал  $u[j]$  (а) і їх адитивна суміш з гауссовим шумом (б).

З метою порівняння амплітудного та фазового методів для зачумленого сигналу визначалась дискретна амплітудна характеристика сигналу (АХС), яка розраховувалась за формулою:

$$A[j] = \sqrt{u^2[j] + \hat{u}^2[j]}, \quad (3)$$



де  $u[j]$  – дискретне перетворення Гільберту сигналу  $u[j]$ .

На рис. 2 приведено графіки АХС без шуму і за наявності в сигналі адитивного гауссового шуму.

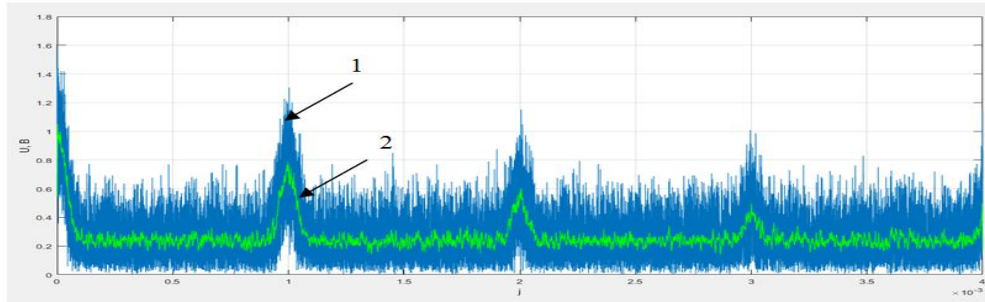


Рисунок 2. Графіки обвідної: 1 – для  $u[j]$ ; 2 – для адитивної суміші  $u[j]$  з гауссовим шумом.

Рис. 2 вказує на те, що розпізнання донних сигналів за наявності шуму на АХС є не достовірним. В такому разі є необхідність перевірити ефективність застосування статистичний аналіз фазової характеристики сигналу (ФХС) для виявлення сигналів УЗТ. Наявність корисного сигналу формується за поточними значеннями результуючого вектору  $r[j]$ , отриманими в результаті статистичної обробки значень  $\Delta\varphi[j]$ . Визначення  $r[j]$  виконується в ковзному режимі, обсяг усереднення і тривалість часового вікна виберемо однаковими і рівними  $M_r$ .

З рис. 3 представлена дробова частина ФХС, яка використовується для визначення  $\gamma$ -статистики за виразом (2).

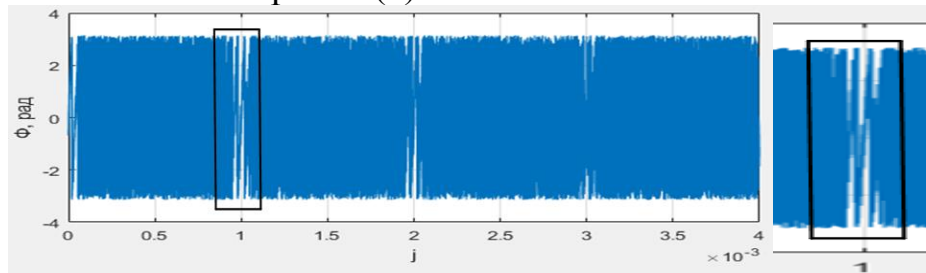


Рисунок 3. Графік дробової частини ФХС

Визначення  $\Delta\varphi[j]$  супроводжується суттєвим впливом шуму, в результаті чого ця функція стрибкоподібно змінюється на величину  $2\pi$  з частотою, що значно перевищує частоту гармонічного сигналу-носія.

З рис. 3 видно, що на ділянці існування радіоімпульсу, дробова частина ФХС має більш-менш регулярний характер. Визначення дробової частини різниці ФХС на ділянках, де присутні сигнали УЗТ, дає величину близьку до сталої, що власне і дозволяє за оцінкою вибіркової результуючої довжини визначити часове положення радіоімпульсу.

На рис. 4 показано графіки вибіркової результуючої довжини  $r$ -статистики, отримані при застосуванні ковзного прямокутного вікна, для різних значень апертури вікна  $M_r$ .

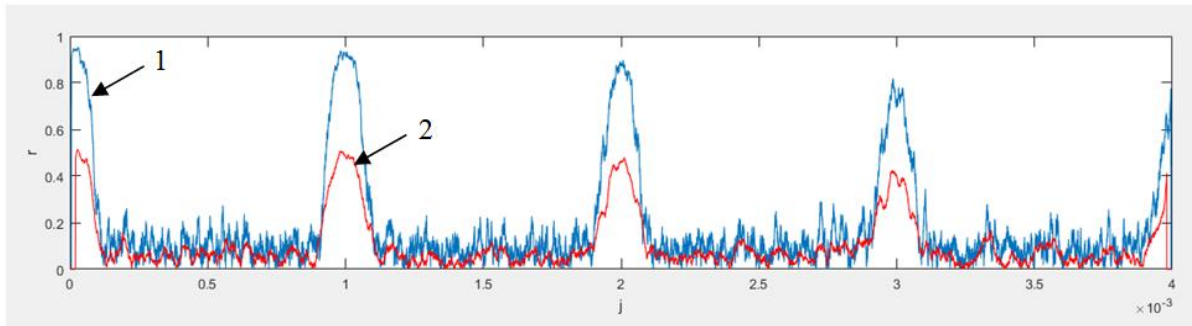


Рисунок 4. Графіки функцій  $r[j]$  для  $Mr = 100$  (крива 1) і  $Mr = 400$  (крива 2)

Провівши порівняльний аналіз рис. 2 та рис. 3, видно, що використання фазової обробки є ефективним за амплітудний метод в задачах виявлення донних сигналів УЗТ на фоні значних завад, і дає можливість визначити часове положення донних сигналів. Використання вікон різної тривалості  $Mr$  дає додаткові можливості для підвищення точності визначення місця знаходження донних сигналів УЗТ.

## ВИСНОВКИ

В ході роботи було порівняльний аналіз амплітудної та фазової характеристик сигналу для знаходження донних імпульсів при УЗТ. Дослід показав, що ФХС дає змогу розпізнавати прийнятий сигнал від дна ОК навіть за наявності великого впливу шумів.

Використання *r-статистики* в задачах УЗТ дозволяє ефективно виявляти корисний сигнал та визначити місце знаходження сигнал. Виявлення сигналів потребує реалізації ковзного режиму аналізу фазових даних і визначення поточних значень статистики  $r$ .

Проведений аналіз точності вимірювання довів, що запропонований спосіб дає можливість прецизійного вимірювання товщини виробів з різних металевих і неметалевих матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Неразрушающий контроль: В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. — М.: Высш. шк., 1991. — 283 с.
- [2] Куц Ю. В., Л. М. Щербак. Статистична фазометрія. — Тернопіль: Вид-во Терноп. технологіч. ун-ту, 2009. — 383 с.
- [3] Куц Ю. В. Статистична обробка результатів кутових вимірювань сигналів / Куц Ю. В., Л. М. Щербак. // Вісник НАУ. — 2003. — №3-4. С. 22-26.
- [4] Марченко Б.Г., Приймак М.В., Щербак Л.М. Теоретичні основи аналізу стохастичних сигналів і шумів. Навчальний посібник. — Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2001. — 179 с.

*Науковий керівник: д.т.н., професор Куц Ю.В.*

УДК 620.179.14

С.П. Нощенко, студент гр. ПК-51  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ КЛЕПАНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

**Анотація.** Метою доповіді є аналіз особливостей клепааних з'єднань літальних апаратів, суттєвих для організації їх контролю вихрострумовим методом.

**Ключові слова:** вихрострумовий контроль, клепане з'єднання, дефект, тріщини.

### ВСТУП

Більшість вузлів авіаційних конструкцій являють собою багатошарові нероз'ємні частини, які потребують використання клепааних з'єднань і є зоною концентрації напружень. Тому кожне з'єднання потребує індивідуальної технічної оцінки для загальної безпеки конструкції літака. Найбільш раціональним видом неруйнівного контролю для таких об'єктів контролю (ОК), за часом та якістю є вихрострумовий. Суттєвою особливістю цього методу є можливість виявлення дефектів втоми та корозійного ураження внутрішніх шарів багатошарових конструкцій. Значною перевагою також є те, що методи вихрострумового контролю не потребують попереднього демонтажу елементів кріплення, а безпосередньо застосовуються під час загальної перевірки вузлів літака. [1,2]

### ОГЛЯД РІЗНИХ ВИДІВ ОБШИВКИ ЛІТАКА ТА ЇХ З'ЄДНАННЯ

Обшивка – це оболонка, яка утворює зовнішню поверхню корпусу і оперення літального апарату, служить для надання йому обтічної форми. Від якості поверхні обшивки певною мірою залежать аеродинамічні характеристики планера літака. Обшивка сучасних літальних апаратів виготовляється з окремих листів або панелей з алюмінієвих сплавів (а також неіржавіючої сталі та титану), відформованих по поверхні фюзеляжу або крил. Незнімні листи або панелі кріпляться до каркасу найчастіше потайною клепою, знімні - гвинтами з голівкою «впотай». З'єднання листів обшивки проводиться встик. Для обшивальних фюзеляжів, також вживають крупномонолітні оребрені панелі. Обшивка крила в залежності від типу конструкції може бути тонкою, підкріпленою стрингерним набором, або товстою, виконаною з монолітної пресованої або фрезерованої панелі. Простір між обшивкою заповнюється спеціальними сотами з фольги, пінопласта, спеціальною гофрою та ін. Обшивка крила повинна бути жорсткою і зберігати задану форму. Утворення складок на обшивці веде до значного збільшення аеродинамічного опору. Під дією згинального моменту верхня обшивка крила навантажена циклічними стискаючими зусиллями, а нижня – розтягуючими. Тому для верхніх панелей зазвичай використовуються високоміцні матеріали, які добре працюють на стискання. Для нижньої розтягнутої обшивки використовують матеріали, що мають високі втомні характеристики. Для надзвукових літаків матеріал обшивки вибирається також з урахуванням нагрівання в польоті - теплостійкі алюмінієві сплави, титан, або сталь або звичайні алюмінієві сплави.

Обшивка фюзеляжу обирається в залежності від діючого навантаження. Верхня зона обшивки сприймає розтягуючі зусилля всією площею обшивки і стрингерів, а нижня зона - стискаючі навантаження тільки частиною обшивки, що приєднана до стрингерів. У герметичному фюзеляжі товщина обшивки вибирається з урахуванням внутрішнього надлишкового тиску. Для підвищення живучості конструкції фюзеляжу на обшивці часто застосовуються стрічки-стопери для зупинки поширення тріщин.

З'єднання елементів каркасу і обшивки. Можливі три способи з'єднання обшивки з каркасом:

- обшивка кріпиться тільки до стрингерів,
- обшивка кріпиться і до стрингерів, і до шпангоута,
- обшивка кріпиться тільки до шпангоута.

У першому випадку утворюються тільки поздовжні заклепувальні шви, а поперечні шви відсутні, що покращує аеродинаміку фюзеляжу. Незакріплена на шпангоутах обшивка втрачає стійкість за менших навантажень, що призводить до збільшення маси конструкції. Щоб уникнути цього часто обшивку пов'язують зі шпангоутом додатковою накладкою - компенсатором. Третій спосіб кріплення використовується тільки в обшивальних фюзеляжах. Крило з багатошаровою обшивкою може виявитися легше крила з одношарової обшивкою, підкріпленою стрингерами. Якість поверхні з багатошаровою обшивкою є вищою через відсутність клепанних швів. Багатошарова обшивка має хороші теплоізоляційні властивостями, що робить вигідним її застосування на схильних до великого аеродинамічного нагрівання крилах надзвукових літаків, внутрішні об'єми яких заповнені паливом. Але багатошарова обшивка має і суттєві недоліки: технологія виготовлення багатошарової обшивки складна; складний контроль якості заклепанних з'єднань; значна трудомісткість ремонту обшивки; технологічні складності забезпечення стиків частин багатошарової обшивки і стику її з елементами силового набору крила.

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТІВ ОБШИВКИ ТА ДЕФЕКТІВ В НИХ**

Характеристика листів обшивки. Металева обшивка літаків найчастіше виконується з листів. Товщина її змінюється в діапазоні від 0,5 мм в мало навантажених місцях, до 4 ... 6 мм і навіть більше в сильно механічно навантажених місцях. Найбільшого поширення в сучасному літакобудуванні отримала обшивка з високоміцних алюмінієвих сплавів. На літаках, що літають на великих надзвукових швидкостях, застосовується обшивка з жароміцних сталей і титанових сплавів, що не втрачає своїх механічних властивостей за підвищених температур в умовах аеродинамічного розігріву конструкції. Найчастіше для обшивки використовують сплави В95, В93, Д16Т. Спеціально для заклепок розроблений сплав В94, що володіє хорошою розклепуваністю в штучно зістареному стані і опором зрізу в розклепуваному стані. Всі ці матеріали мають питому електропровідність орієнтовно  $\sigma = 3.5 \cdot 10^7$  См/м.

Ознака наявності дефекту клепанних з'єднань елементів обшивки. Під впливом акустичних і вібраційних навантажень на обшивці крила, фюзеляжу

можуть з'являтися тріщини і випадати заклепки. Особливо ретельно перевіряють стан обшивки каналу всмоктування повітря, де може відбуватися обрив заклепок, які у випадку потрапляння в двигун можуть викликати вибоїни на лопатках компресора. Основною ознакою ослаблення заклепок є відшаровування лакофарбного покриття навколо головки, згин назовні країв потайної головки та появи навколо неї темних слідів. Ослаблені заклепки підтягуються, а якщо такої можливості немає, то вони видаляються, а замість них встановлюються заклепки більшого діаметра.

## ОГЛЯД СПОСОБІВ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ ЗОНИ ЗАКЛЕПОК

Статичний спосіб. Для реалізації процесу контролю використовуються вихроструміві перетворювачі (ВСП) кільцевого типу. Конструкція таких ВСП представлена на рис.1 і складається з двох послідовно з'єднаних генераторних катушок 3, та двох диференційно підключених вимірювальних катушок 2. Однією з особливостей є наявність отвору 4 в корпусі ВСП, який відповідає діаметру заклепки 5, що з'єднує багатошарову конструкцію 1. Такий ВСП здатний виявляти тріщини довжиною 5 мм в другому шарі конструкції з алюмінієвого сплаву товщина першого шару якого становить 1,8 мм, в зоні заклепки діаметр головки якої дорівнює 8 мм.

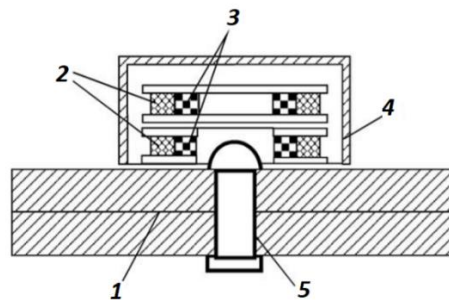


Рисунок 1. Система “ВСП кільцевого типу — клепане з'єднання.”

Ковзаючий спосіб. При використанні ВСП такого типу його переміщують вздовж ряду заклепок, які знаходяться на одній осі та мають однаковий діаметр головки. ВСП на рис.2 складається з однієї центральної котушки збудження 4 та

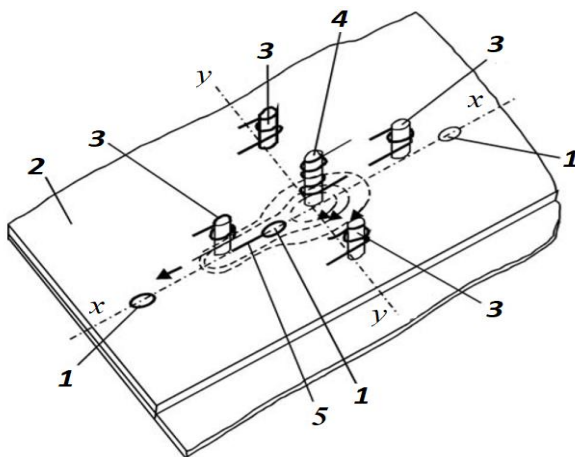


Рисунок 2. Взаємне розташування ОК та ВСП ковзаючого типу

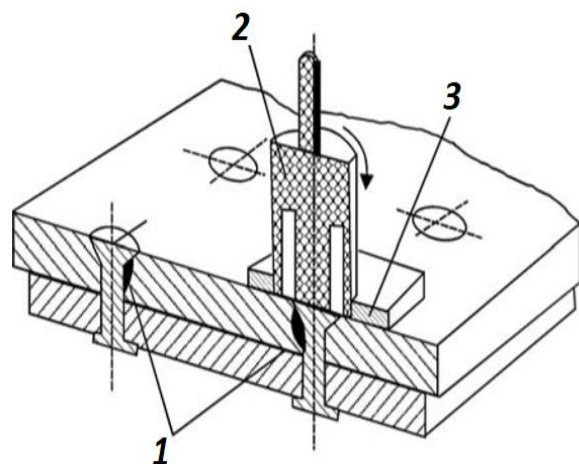


Рисунок 3. Взаємне розташування ОК та ВСП обертаючого типу

чотирьох вимірювальних 3, розташованих симетрично та підключених послідовно. ВСП встановлюють на багатошаровий вузел 2 з рядом заклепок 1. Сканування проводиться по осі x-x, яка з'єднує центри заклепок. За наявності дефекту типу тріщини 5, відбувається перерозподіл вихрових струмів в дефектній ділянці ОК, що дозволяє вирізнити цю ділянку.

Обертаючий спосіб. Найвищою чутливістю при контролю зони заклепки мають ВСП, що обертаються навколо заклепки. Згадані вище ВСП давали змогу виявляти тріщини, які виходять за границі головки заклепки. Розміри таких тріщин вже можуть бути критичними. На основі мультидиференційних низькочастотних ВСП стало можливим виявлення тріщин, які не виходять за межі головки заклепки. Методика налаштування вихрострумів дефектоскопів передбачає використання особливих конструкцій ВСП, які забезпечують високий рівень небаланса і установку його співвісно з заклепкою. На рис.3 ВСП 2 встановлюють співвісно з заклепкою за допомогою спеціальної діелектричної підставки 3, спостерігаючи за зміною сигналу при обертанні ВСП. В результаті обертання над бездефектною ділянкою баланс не порушується. За наявності дефекта 1 баланс порушується. Для реалізації цього методу достатньо обертання ВСП відносно ОК на 90° в обидві сторони.

## **ВИСНОВОК**

Під час експлуатації в клепаних з'єднаннях виникають тріщини. Для виявлення дефектів такого типу раціональним є використання вихрострумів методу неруйнівного контролю з ВСП обертаючого типу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В.М. Учанін Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання. – Львів:СПОЛОМ, 2013. –268 с.
- [2] Вікіпедія – вільна енциклопедія [Електронний ресурс].– [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обшивка\\_летательного\\_аппарата](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обшивка_летательного_аппарата).
- [3] Куц Ю.В. Проектування засобів електромагнітного неруйнівного контролю / Куц Ю.В., Протасов А.Г., Лисенко Ю.Ю.// I науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС”, 2017 р., м. Люблін, Польща. – с. 43-48.

*Науковий керівник, проф. каф. ПСНК Куц Ю. В.*



УДК 620.179.16

О.А. Повишенко, студент гр. ПК-81мн  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ККД П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ ЗОНДУЮЧОГО ІМПУЛЬСУ

**Анотація.** В роботі представлено вдосконалений алгоритм збудження ультразвукових коливань в п'єзо пластині, який підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворювача. Застосування даного алгоритму може знайти своє місце у сфері виміральної техніки, що використовує п'єзоефект.

**Ключові слова:** ультразвук, ККД, п'єзо перетворювач, алгоритм збудження коливань.

### ВСТУП

Ультразвуковий неруйнівний контроль широко застосовуються у всіх сферах діяльності людини (медицина, серійне виробництво, контроль стану експлуатаційних деталей, трубопроводів, зварних швів та ін.) [1-4], такого розповсюдження він зазнав за рахунок можливості аналізу внутрішнього стану об'єкта (або людини) на наявність дефектів (захворювань) без порушення цілісності. Якісно проведений контроль характеризується високою вірогідністю визначення дефектів (захворювань) [5]. Тому покращення характеристик приладів і систем ультразвукового контролю ніколи не перестане бути актуальним напрямом розвитку.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Після процесу поляризації п'єзокераміка перетворюється в найпростіший елемент електричного контуру – конденсатор в якому повна енергія дорівнює сумі енергій пружної деформації та енергії заряду ємності п'єзо елемента [6]. В ненавантаженому стані ПЕП має нульове подовження (рис. 1.а), але якщо на обкладинках з'явиться різниця потенціалів то п'єзо елемент почне змінювати свої розміри.

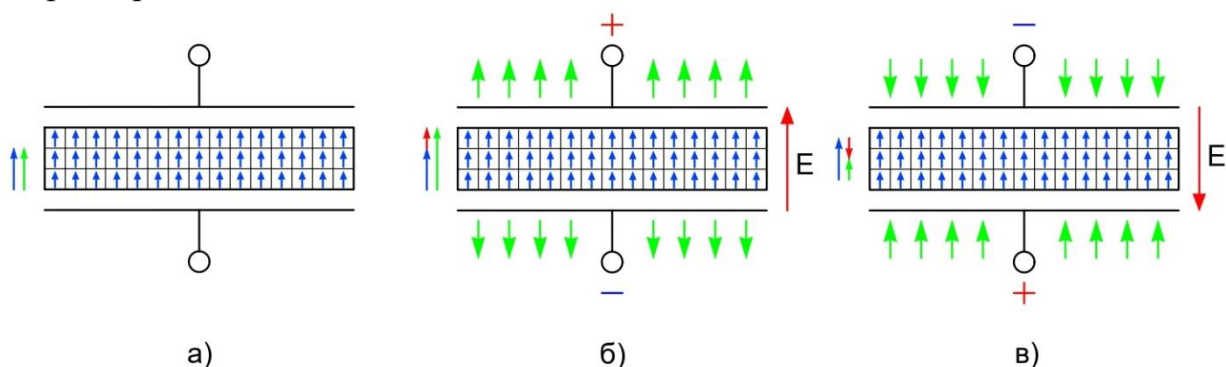


Рисунок 1. а) Ненавантажений ПЕП б) вектор напруженості співпадає з напрямом поляризації в) вектор напруженості протилежний напрямку поляризації

Чисельне значення подовження лінійно залежить від значення прикладеної напруги, а в залежності від її полярності залежить п'єзокераміка буде розширюватись (рис. 1.б) чи звужуватись (рис. 1.в). Кількість кінетичної енергії, яку ПЕП може передати в ОК залежить від амплітуди механічних коливань

пластини. Найбільшу механічну амплітуду можна отримати за наступним запропонованим алгоритмом:

1. Початковий моменту часу: наруга дорівнює нулю (рис. 2.а) відстань між ОК та ПЕП визначається товщиною імерсійного середовища (Н).
2. Від’ємна півхвиля: прикладена напруга протилежна напрямку поляризації (рис. 2.б) ПЕП зменшується в розмірі, при цьому відстань збільшується на величину  $\Delta h$ .
3. Додатна півхвиля: прикладена напруга співпадає з напрямком поляризації (рис. 2.в) ПЕП розширюється, за умови, що діючи напруги протилежні за знаком та рівні за величиною загальне подовження (А) буде становити  $2 \cdot \Delta h$

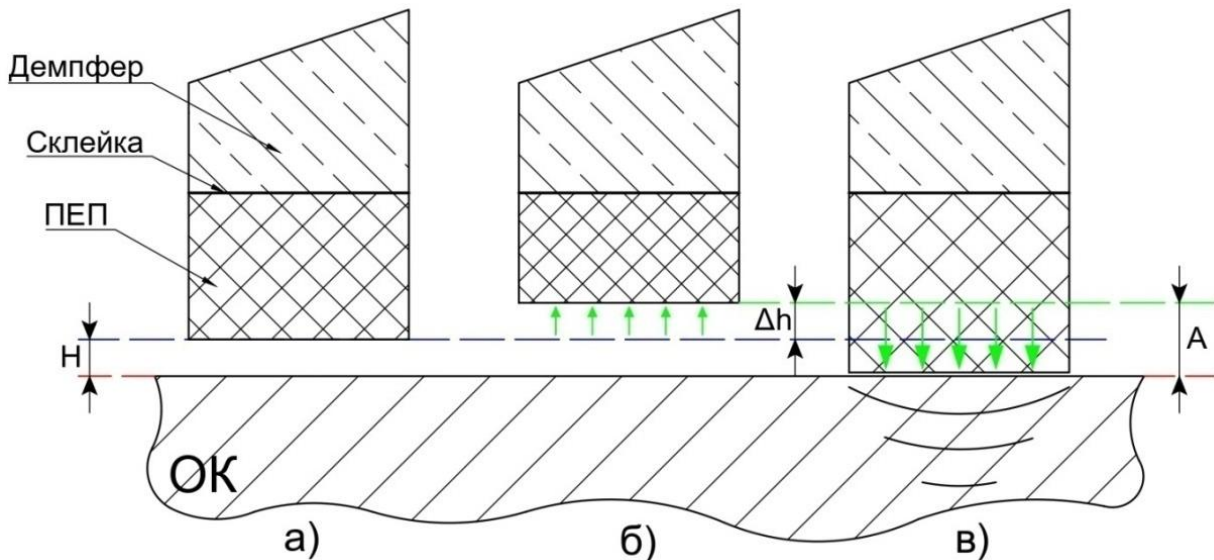


Рисунок 2. а) Початкове положення б) від’ємна півхвиля в) додатна півхвиля

Максимальну електричну амплітуду на п’єзоелементі можна отримати при його найменшому імпедансі. За природними властивостями найменший опір п’єзоелемент має на резонансній частоті. Резонансна частота ( $f_0$ ) п’єзоелементу напряму залежать від таких параметрів як: швидкість звуку у матеріалі перетворювача (C) та товщини (h) яка становить половину довжини хвилі ( $\lambda$ ), що поширюється в ньому [7]:

$$h = \frac{\lambda}{2}$$

беручи до уваги, що довжина хвилі дорівнює:  $\lambda = \frac{C}{f_0}$ , резонансну частоту п’єзоелементу можна визначити за наступною формулою:

$$f_0 = \frac{C}{2h}$$

Перейдемо безпосередньо до форми сигналу імпульсного генератора. Найпростішу форму сигналу має імпульсний генератор з однополярним джерелом живлення. Така форма сигналу повсюдно застосовується в приладах



неруйнівного контролю. Тривалість імпульсу дорівнює чверті періоду коливань п'єзо пластини (рис. 3)  $t_{zi} = T_0/4$ .

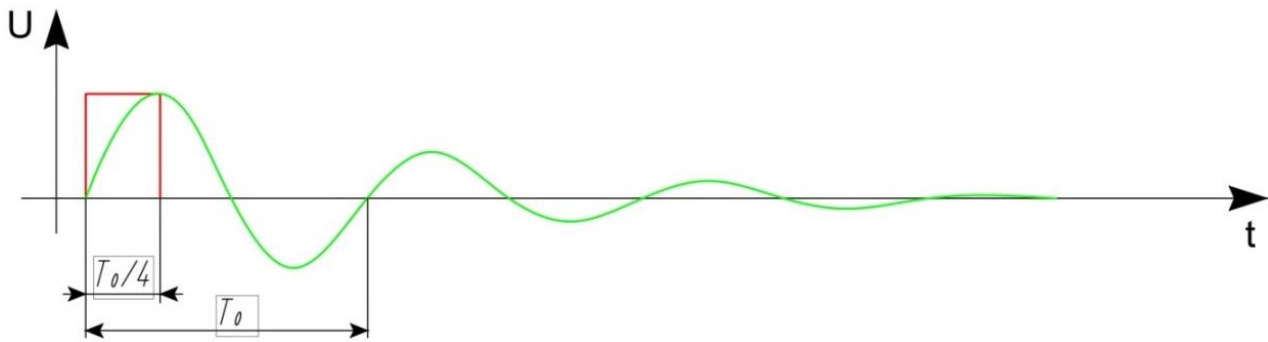


Рисунок 3. Однополярне збудження ЗІ

Головною перевагою такого імпульсного генератора зондуючих імпульсів є його простота реалізації. До недоліків можна віднести низький ККД, оскільки більша частина енергії розсіюється ще у імерсійному середовищі.

Генератор з двополярним джерелом живлення спочатку має згенерувати від'ємну півхвилю тривалістю:  $t_- = T_0/4$ , а після додатну півхвилю тривалістю:  $t_+ = T_0/2$  (рис. 4), загальна тривалість ЗІ:  $t_{zi} = t_- + t_+ = 3T_0/4$ .

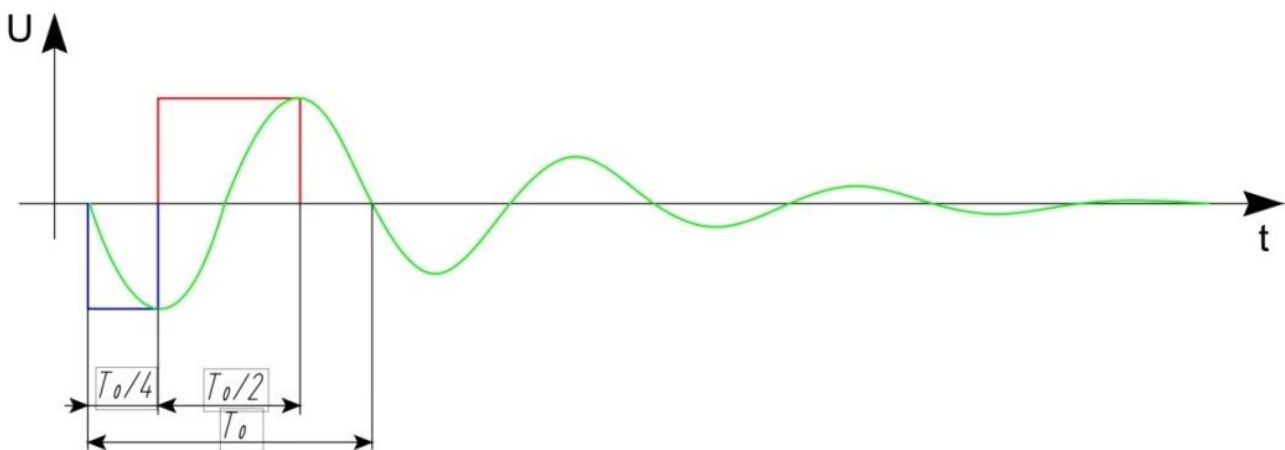


Рисунок 4. Двополярне збудження ЗІ

Така форма сигналу потребує додатковий керуючий канал, натомість ми отримуємо більш гнучке налаштування, що до формування зондуючого імпульсу. Застосовуючи запропонований алгоритм у двополярному генераторі перетворювач максимально ефективно використовує надану йому енергію. Збільшення механічної енергії веде до підвищення чутливості перетворювача до малих дефектів та збільшення глибини сканування.

## ВИСНОВКИ

Правильно сформований зондуючий імпульс здатен збільшити ККД перетворення електричної енергії у механічну. Таке впровадження веде до збільшення чутливості перетворювача до малих дефектів та збільшує глибину сканування. Даний алгоритм збудження може бути застосований не тільки в

ультразвукових приладах неруйнівного контролю, але й в драйверах керування п'єзо двигунами.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

- [1] Ультразвуковая дефектоскопия [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая\\_дефектоскопия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая_дефектоскопия)
- [2] Протасов А.Г. Телеметрический вихретоковый дефектоскоп / А. Г. Протасов, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин // Журнал «Научни Известия НТСМ» : материалы международной конференции «Дни НК 2014», г. Созополь, 09-18 июня, 2014 г. – Созополь, 2014. – № 1(150) – С. 34 – 36.
- [3] Petrik, V. Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing / Valentin Petrik, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Iuliia Lysenko // Приборостроение - 2017 : материалы 10-й Международной научно-технической конференции, 1-3 ноября 2017 года, Минск, Республика Беларусь / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. - Минск : БНТУ, 2017. - С. 74-76.
- [4] Petryk, V. Wireless data transmission in ultrasonic nondestructive testing = Беспроводная передача данных в ультразвуковом неразрушающем контроле / Valentyn Petryk, Anatoliy Protasov, Kostiantyn Syeryu, Serhiy Ukrainec // Ж-л «Научные известия на НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2017». – Созополь, 2017. – №1 (216). – С. 121–123.
- [5] Повшенко О. А. PORTABLE ULTRASOUND FLAW DETECTOR [Электронный ресурс] / О. А. Повшенко, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов // II науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС”. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25037>.
- [6] Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К.Цапенко, Ю.В. Куц; –Київ:НТУУ “КПІ”.- 2009. - 431 с., рис. 187.
- [7] Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, В.Ю. Попов. — К.: Феникс, 2010. — 224 с. ISBN 978-966-651-804-3

***Науковий керівник: А.Г. Протасов, к-т техн. наук, доцент кафедри ПСНК***

УДК 621.386

Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ЛОПАТОК ТУРБІНИ

**Анотація.** Розглянуто лопатки турбін, вказаний аналіз конструкції та матеріалів, що використовують для виготовлення. Для кожної лопатки характерний власний аеродинамічний профіль. Тиск і температура для кожного етапу обмежують види матеріалів, які можуть використовуватися в них.

**Ключові слова:** вихростумовий контроль, неруйнівний контроль, лопатки турбін, дефекти, високотемпературна корозія, термозахисне покриття.

### ВСТУП

На сьогоднішній день для створення авіаційних двигунів нового покоління визначальним фактором є забезпечення працездатності деталей двигуна в умовах високих температур (1200 °C та вище). Надійність реактивних двигунів має вирішальне значення для безпеки польотів. З цієї причини продуктивність і стан таких двигунів регулярно контролюються. Високовартісні лопатки турбіни високого тиску дуже важливі для функціональності та продуктивності реактивного двигуна, вони піддаються впливу екстремальних умов та значних механічних навантажень [1].

Для того, щоб витримати високі температури і потужну корозійну атаку, лопатки турбіни захищають шаром покриття для захисту від корозії (наприклад, PtAl, Al) і керамічним покриттям теплового бар'єру (КПТБ) завтовшки приблизно 100 мкм.

### АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЛОПАТОК

Тип матеріалу, який використовується для лопаток турбін, ґрунтується на певній зоні турбіни, в якій будуть працювати лопатки.

Існує три такі зони: високий тиск (HP), проміжний тиск (IP) і низький тиск (LP), які називаються відповідно до відносного тиску пари в стадії. Тиск і температура для кожного етапу обмежують види матеріалів, які можуть використовуватися в них. Наприклад, ступеневі лопатки високого тиску і проміжного, зазвичай, виготовляють з нержавіючих сталей [3]. Проте лопатки, що використовуються у високотемпературних (> 450 °C), можуть бути виготовлені з аустенітних нержавіючих сталей, оскільки вони мають кращі механічні властивості за високих температур [3]. Наприклад, нержавіюча сталь типу AISI 422 (мартенситна нержавіюча сталь) зазвичай використовується для секцій турбін HP і IP, тоді як сталь AISI серії 300 (аустенітна) використовується для високотемпературних застосувань [3]. LP лопатки часто, але не виключно, виготовляються з нержавіючих сталей. Загальні типи нержавіючої сталі, що використовуються в LP-ділянках, включають типи 403, 410, 410-Cb і 630 AISI; точний тип сталі, обраний для конкретного застосування LP, залежить від необхідної міцності та корозійної стійкості. З 1960-х років титанові сплави, особливо Ti-6Al-4V, також використовувалися для LP [3]. Ці сплави особливо підходять для LP стадій з ряду причин. По-перше, щільність титанових сплавів зазвичай менше щільності сталей; наприклад, Ti-6Al-4V має щільність лише 4,43г/см<sup>3</sup>, тоді як нержавіюча сталь типу AISI 410S має щільність 7,8г/см<sup>3</sup> [4,5].

Ця нижча щільність дає можливість подовжити лопаті LP і тим самим підвищити ефективність турбіни без збільшення напружень в лопатках завдяки відцентровим силам. По-друге, титанові сплави мають більшу корозійну стійкість, ніж сталі; це робить титанові сплави ідеальними для використання на стадіях LP, де є більш високий рівень вологи. Нарешті, титанові сплави є достатньо стійкими до ерозії крапель води, що їх можна використовувати без захисту від ерозії в певних предметних областях застосування. В цілому, властивості матеріалу роблять лезо лопатки надійним або приреченим на відмову. Межа плинності, міцність на розрив, корозійна стійкість і модуль пружності відіграють певну роль у визначенні того, чи буде лопатка виходити з ладу під дією навантажень.

### **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛОПАТОК**

Лопатки турбін являють собою досить складні за конструкцією оригінальні деталі. Кількість конструктивних різновидів є дуже великою. Конструкції лопаток класифікують за різними ознаками.

На основі інформації, наданої в попередньому розділі, ефективна і надійна конструкція леза відповідає наступним вимогам:

1. Матеріал лопаті повинен мати достатню межу текучості, щоб витримувати пластичну деформацію і повинен бути здатним на довготривалу підтримку такої межі текучості або, принаймні, більшу його частину при підвищених температурах.

2. Матеріал лопаті повинен бути здатний легко оброблятися і експлуатуватися.

3. Матеріали лопаток повинні демонструвати помірний модуль пружності, за якого лопатка не деформується аномально і раптово не руйнується за нормальних робочих напруженнях.

4. Бажано, щоб матеріали лопаті мали низьку щільність для зниження відцентрової сили, а отже, і відцентрової сили, на лопатях.

5. Лопатки повинні бути стійкими до корозії навіть за наявності агресивних іонних розчинів, утворених домішками у воді.

6. Лопатки повинні бути виконані таким чином, щоб мінімізувати ймовірність зародження тріщин під час виробництва.[6].

Для оптимізації параметрів необхідно враховувати обмеження, що накладаються витратами виробництва та механічними обмеженнями. Наприклад, зменшення натягу лопаті може бути здійснено за рахунок використання легких матеріалів, таких як титанові сплави. Однак такі сплави не придатні для використання в місцях підвищених температур, і вони не виготовляються ні легко, ні дешево. Отже, для того, щоб підвищити ефективність роботи турбіни, необхідно встановити «золоту середину» між витратами і продуктивністю [7].

Ефективна корозійна стійкість є запорукою поліпшення конструкції леза. Хоча матеріали, що в даний час використовуються в лопатках турбін, мають певну ступінь корозійної стійкості, наявність або утворення тріщин, які спричиняють корозію, практично неминуче. З цією метою були проведені

дослідження, щоб визначити, чи існують певні хімічні покриття при застосуванні до лопаток турбін, які є ефективними для запобігання корозії лопаті [8]. Ерозія матеріалу лопаті спотворює геометрію полотна і призводить до зниження ефективності за рахунок втрати аеродинамічних властивостей.

## **ВИСНОВКИ**

В роботі розглянуто лопатки турбін, вказаний аналіз конструкції та матеріалів, що використовують для виготовлення. На основі виконаного аналізу зроблено наступні висновки: 1) теплові покриття мають невеликий вплив на захист субстрату лопаті від ерозії в порівнянні з іншими покриттями; 2) товщина захисного покриття повинно бути рівним принаймні деяким мінімальним критичним значенням для того, щоб ефективно захищати субстрат від ерозії; 3) збільшення товщини покриття знижує швидкість утворення ерозійного покриття; 4) ерозійна стійкість покриття суттєво залежить від температури. Загалом, поліпшена конструкція леза, що складається з сильних, ерозійних і корозійно-стійких матеріалів з оптимізованими аеродинамічними параметрами, призведе до підвищення ефективності роботи турбіни.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Pösch A, Vynnyk T, Reithmeier E. Using inverse fringe projection to speed up the detection of local and global geometry defects on free-form surfaces, Proc. SPIE 8500 (2012), DOI: 10.1117/12.928700
- [2] Демин Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей. Издательство СГАУ, Самара, 2012 г., 354 с
- [3] T. H. McCloskey (2003) "Steam turbines" [Online Article] Available: <http://www.mathpages.com/home/kmath633/kmath633.htm><http://www.scribd.com/doc/66454959/27/Turbine-Blade-Stresses>
- [4] Matweb Material Property Data [Website] Available: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTP641>
- [5] Matweb Material Property Data [Website] Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=170de3eaaaff34ee29e74a8f3323cdf10>
- [6] Kiyoshi Segawa, Yoshio Shikano, Kuniyoshi Tsubouchi and Naoaki Shibashita. "Development of a Highly Loaded Rotor Blade for Steam Turbines." JSME International Journal Series B, Vol. 45, No. 4 (2002), pp.881-890.
- [7] Hideo Nomoto, Yoshikazu Kuroki, Masafumi Fukuda, and Shinya Fujitsuka. "Recent Development of Steam Turbines with High Steam Temperatures." JSME International Journal Series B, Vol. 49, No. 2 (2006), pp.218-223. [Online Journal Article]. Available: [http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/2/49\\_218/\\_article](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/2/49_218/_article)
- [8] E. K. Sevidova, V. M. Matsevityi, I. B. Kazak, and K. V. Vakulenko. (2007, July). "Evaluation of the Protective Properties of Multilayer Coatings for Steam Turbine Blades." Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2007, Vol. 43, No. 6, pp. 409–414. [Online Journal Article]. Available: <http://www.springerlink.com/content/t606326001257424/>

*Науковий керівник д.т.н., проф. Куц Ю.В.*

## УДК 535-15

*О. В. Стасишин, студент гр. ПК-81мп, к.т.н. О. В. Муравйов*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ТЕРМОГРАФІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ В МЕДИЧНІЙ ПРАКТИЦІ**

**Анотація.** Стаття присвячена застосуванню діагностики патологій пацієнтів на основі медичної термографії та методам аналізу отриманих теплових зображень. Розглянуто методи виявлення захворювань і сучасні підходи до аналізу термографічних даних. Запропоновані перспективні напрямки розвитку технології та застосування такої техніки в різнопрофільних медичних установах.

**Ключові слова:** Медична термографія, температурна картина, неінвазивна діагностика патологій, тепловізійна техніка.

#### **ВСТУП**

У людському організмі внаслідок екзотермічних біохімічних процесів в клітинах та тканинах, а також за рахунок вивільнення енергії, пов'язаної з синтезом ДНК і РНК, виробляється велика кількість тепла – 50-100 ккал/грам. Це тепло розподіляється всередині організму за допомогою циркулюючої крові і лімфи. Кровообіг тіла вирівнює температурні градієнти, а сама кров завдяки високій теплопровідності, що не залежить від характеру руху, здатна здійснювати інтенсивний теплообмін між різними областями організму. Найбільш теплою є змішана венозна кров, яка слабо охолоджується в легенях і підтримує оптимальну температуру тканин, органів та систем. Температура крові, що проходить по шкірних судинах, знижується на 2-3°. При наявності будь-яких патологій в організмі система кровообігу порушується. Зміни виникають тому, що підвищений метаболізм в осередку запалення збільшує перфузію крові і, отже, теплопровідність, що відбивається на термограмі появою вогнища гіпертермії, як показано на рис. 1 [1].

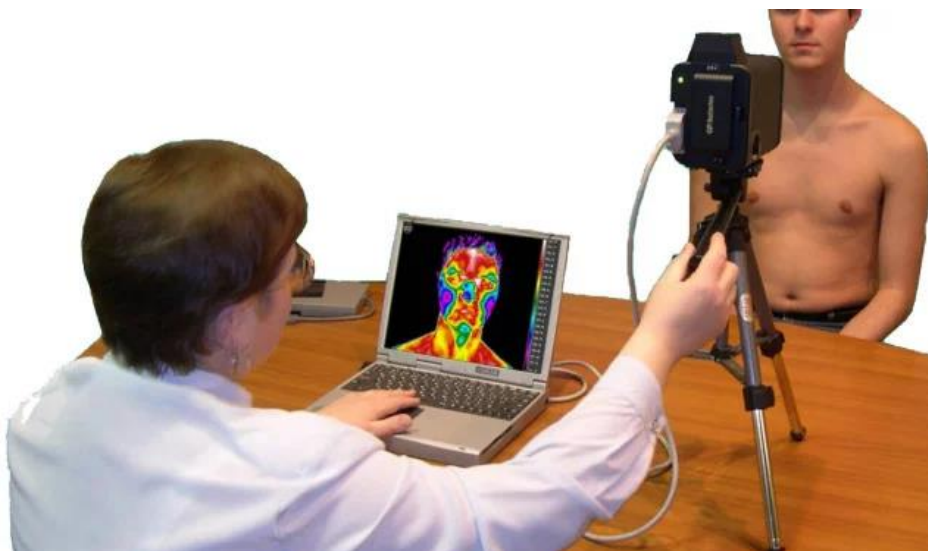


Рисунок 1. Проведення термографічної діагностики

#### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є дослідження перспектив використання й напрямів застосування термографічної техніки для діагностики захворювань організму

людини, аналіз існуючих підходів до оцінки термограм та можливість їх вдосконалення на основі сучасних алгоритмів та технологій обробки зображень.

## **ДІАГНОСТИКА ПАТОЛОГІЙ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАФІЇ**

Відомо, що пухлинна тканина, як зона вираженої проліферативної активності, завдяки інтенсивному метаболізму має більш високу температуру ніж навколишні тканини. Ця закономірність лежить в основі методів реєстрації власного інфрачервоного випромінювання організму людини, зокрема, використовується при діагностичній термографії в клінічній онкології [2].

Температура ділянки злоякісної пухлини, як правило, вище на 1,5-3 °С, а температура доброякісного новоутворення – на 1,4-2,5 °С нижче в порівнянні з навколишніми тканинами. Зміна структури тканин впливає на кровопостачання ділянки тіла, що, в свою чергу, призводить до зміни температури поверхні шкіри [3]. Термографічна діагностика крім своєї неінвазивності, на відміну від рентгенівського обстеження (найпоширенішого методу для виявлення ракових захворювань), дає інформацію про зміну структури тканини, яка ще не помітна при використанні рентгенівських методів.

Медицина термографія широко застосовується при виявленні пухлин молочної та щитовидної залоз (рис. 2), лімфатичних вузлів, кісток і т.д [4].

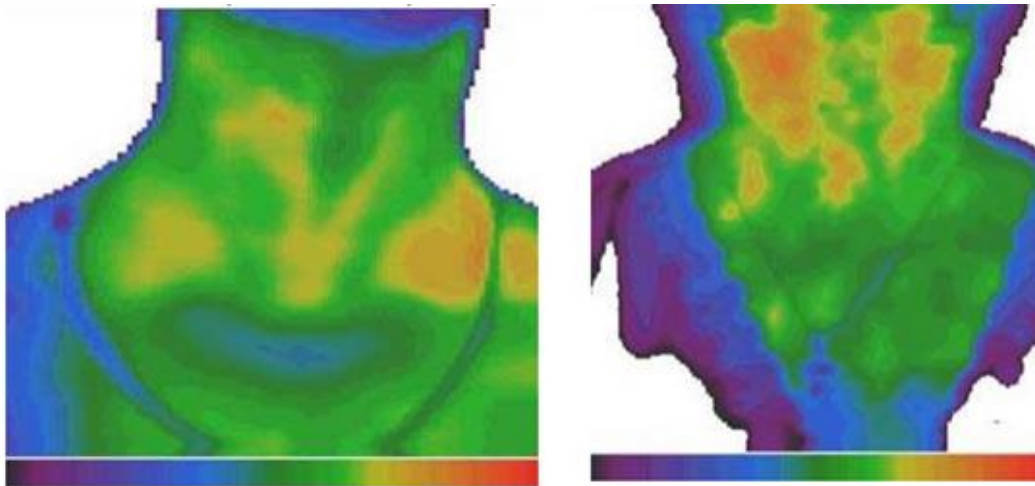


Рисунок 2. Термограма здорової шиї (зліва) і при раку верхньої частини правої долі щитовидної залози (справа)

Можлива проблема при діагностиці може виникати через більш високий рівень температури всього тіла пацієнта [5]. Аналіз статистичних параметрів зображення входить в усі методи автоматизованої діагностики на основі термограм. У різних класифікаторах розраховуються середні і максимальні значення, стандартні відхилення, абсолютна різниця температур між зонами інтересу (наприклад, ліва і права молочні залози) [6]. Наступним етапом є обробка та аналіз гістограм температурних полів у зонах інтересу, складання матриці суміжності і розрахунок її параметрів (однорідність, симетрія, енергія, контрастність), а також розрахунок узагальнюючих даних. Завершальним кроком є побудова класифікатора на основі нечіткої логіки або аналізу чутливості до витрат і генетичного алгоритму. Спектральний аналіз так само



може бути використаний в якості одного з етапів алгоритмів класифікації. Для розрахованих за методом Фур'є спектрів порівнюють різницю між максимумами інтенсивності і відстань цих максимумів від центру. Існує підхід оцінки внутрішньої температури (Inside Thermal Estimation, ITE) для знаходження патології (в даному випадку злоякісної пухлини) на основі рівняння Пеннеса, яке описує модель поширення тепла в біологічному тілі, спираючись на теплопередачу на основі кровотоку. Модель Пеннеса використовувалася також в дослідженнях з виявлення підшкірних пухлин.

### **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТЕРМОГРАМ**

На сьогоднішній день основним методом аналізу теплових зображень у медичних закладах різного профілю є візуальний [7]. Тому для широкого впровадження і поширення термографії необхідно розширювати практику застосування автоматичного аналізу термограм в клінічній практиці. Пропонується виділити такі перспективні напрямки розвитку:

1. Методи підвищення якості зображень на основі просторової, частотної та вейвлет-фільтрації, гістограмної і порогової обробки пікселів зображення з метою зменшення внеску шумів.

2. Нормалізація зображень з метою уніфікації алгоритмів обробки, аналізу та сегментації і можливості порівняння результатів аналізу термограм для різних груп пацієнтів.

3. Виділення зон інтересу на термограмах на основі застосування методів сегментації зображень і виділення меж на зображенні. Це дозволить виділяти зони з аномальними значеннями температури, визначати симетричність теплового поля для різних частин конкретної області або всього тіла людини.

4. Автоматичне обчислення кількісних показників термограми на основі аналізу теплового поля лінійними і нелінійними методами. Для отримання таких параметрів можна використовувати спектральний аналіз, вейвлет-аналіз, ентропійний аналіз, аналіз фрактальності та ін.

5. Класифікація та автоматизований аналіз термограм на основі сучасних технологій, таких як штучні самонавчальні нейронні мережі. Для побудови ефективних систем класифікації необхідно вибрати ознаки термограм, які будуть відповідати конкретному захворюванню або групі захворювань.

Реалізація та впровадження в медичну тепловізійну техніку наведених підходів дозволить незабаром вивести термографічну діагностику патологій людського організму на один рівень з рентгенівськими і магнітно-резонансними методами досліджень, а в недалекому майбутньому, можливо, навіть витіснити їх за рахунок таких своїх суттєвих переваг як: абсолютна неінвазивність, простота проведення процедури і відносно невисока вартість необхідного обладнання.

### **ВИСНОВКИ**

Термографія, як метод медичної діагностики, має потенціал для великого спектру застосувань. Практично будь-які патології пов'язані зі зміною



температури або ж обрисів ізотерм на термограмі. Крім змін пов'язаних з порушенням всіх видів кровотоку, різкі підвищення температур спостерігаються і при різних запальних процесах. При всіх позитивних якостях (нешкідливість, універсальність, простота процедури) термографія на сьогоднішній день має недолік в об'єктивності аналізу отриманих даних – автоматизовані методи аналізу представлені не в достатньому обсязі, а в клінічній практиці найчастіше застосовується візуальна оцінка термограм, що є суб'єктивним підходом та може вносити помилки при винесенні діагнозу без належного досвіду. Тільки в невеликій кількості робіт представлені результати застосування математичних методів аналізу термограм в медичній практиці. Дані роботи описують в основному лабораторні дослідження, а розглянуті в них методи не знайшли поки що широкого клінічного застосування. З чого можна зробити висновок, що одним з найбільш перспективних шляхів для розвитку медичної термографії є розробка методів автоматизації обробки та аналізу термограм, на що і повинні бути спрямовані сьогодні основні наукові зусилля.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Deng Zhong-Shan Enhancement of thermal diagnostics on tumors underneath the skin by induced evaporation / Zhong-Shan Deng, Jing Liu // Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. – Shanghai, China, September 1-4, 2005. – pp. 7525 – 7528.
- [2] Муравьёв А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.
- [3] Муравьёв А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьёв, Е.А. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.
- [4] Ткаченко Ю.А. Клиническая термография (обзор основных возможностей) / Ю.А. Ткаченко, М.В. Голованова, А.М. Овечкин // Закрытое Акционерное Общество Союз Восточной и Западной Медицины. – Нижний Новгород, 1998. – 96 с.
- [5] Муравьёв А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьёв // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
- [6] Муравйов О.В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О.В. Муравйов, О.О. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.
- [7] Muraviov O. V. Passive thermostabilization of medical thermography camera optical system / O. V. Muraviov // Тези доповіді XVII Міжнародної науково-технічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2018 р. – С. 144.

УДК 621.384.4

*Д.В. Сторожик, студент гр. ПК-51*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **КОНТРОЛЬ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ**

*Анотація.* Робота присвячена застосуванню явища флуоресценції для контролю рівня органічного забруднення поверхонь. Наведено схему приладу, принцип роботи якого заснований на збудженні органічних сполук ультрафіолетовим випромінюванням. Розглянуто можливі напрямки та перспективи застосування методу флуоресценції в промисловості.

**Ключові слова:** флуоресценція, органічне забруднення, контроль чистоти, ультрафіолетове випромінювання.

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день з'єднання деталей найчастіше відбувається склеюванням чи зварюванням, тому надійність отриманої конструкції залежить в першу чергу від чистоти поверхонь деталей перед їх поєднанням. Для виявлення органічного плівкового забруднення можна застосувати прилади для виміру інтенсивності флуоресценції [3], принцип дії яких базується на властивості речовин органічного походження спонтанно випромінювати світло при збудженні ультрафіолетовим випромінюванням, тобто флуоресціювати.

### **МЕТА РОБОТИ**

Мета даної роботи – аналіз можливості застосування методу флуоресценції для виявлення органічного плівкового забруднення поверхонь, розробка схеми такого приладу та визначення перспективи його використання у промисловості.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Прилади вимірювання флуоресценції можуть бути застосовані для виявлення плівкового забруднення на металевих, керамічних, скляних та інших поверхнях. Принцип роботи таких пристроїв базується на властивості речовин органічного походження, таких як мастила, масла, охолоджуючі мастила, консерванти, жировий секрет, флуоресціювати при збудженні ультрафіолетовим випромінюванням. Інтенсивність флуоресценції при цьому залежить від ступеня забруднення поверхні. Метод дозволяє проводити вимірювання незалежно від шорсткості поверхні деталі.

Перед проведенням контролю чистоти поверхні потрібно стандартизувати критичні межі забруднення, тобто визначити необхідну чистоту деталей шляхом аналізу впливу різних типів забруднення на подальший процес виробництва та експлуатації продукції. Прилади вимірювання флуоресценції визначають ступінь забруднення на деталях, які згодом склеюються, зварюються, або підлягають нанесенню на їхню поверхню покриттів різного роду та призначення. Вимоги до чистоти поверхні можуть бути визначені після оцінки якості готових деталей з використанням встановлених процедур тестування.

Розглянемо декілька прикладів доцільного використання флуоресцентного методу контролю чистоти поверхні. Тонкі плівки забруднення на поверхнях зварного шва обумовлюють викиди газів, які в подальшому утворюють пори в

зварному шві. Чим більше кількість і розмір таких пір, тим нижче міцність і, отже, якість зварного з'єднання. Кількість пір у зварних швах поділяють на категорії «дуже низька», «досить низька» і «висока», що обумовлено також наявністю відповідного шару забруднення поверхні перед зварюванням органічними сполуками. Перевірка чистоти деталі перед зварюванням методом флуоресценції дає можливість контролювати наявність таких дефектів у зварних з'єднаннях. Для проведення контролю на виробництві доцільно заздалегідь визначити граничне значення, кількість і положення точок вимірювання на поверхнях зварювання для отримання необхідної точності та достовірності отриманих результатів.

Ще одним прикладом необхідності застосування контролю чистоти поверхні є відповідальні клеєні з'єднання, та ті, що в процесі експлуатації піддаються значним навантаженням. Так з'єднання корпусів для газового обладнання підлягають випробуванню на герметичність для оцінки їх якості та надійності. Такі деталі повинні витримувати внутрішній тиск не менше 1000 мБар зі збереженням герметизації. Тонкі плівки органічного забруднення на поверхні, що підлягає клеєнню, значно зменшують адгезію клею.

Рис. 1 переконливо демонструє доцільність використання приладу перед фарбуванням поверхонь деталі.

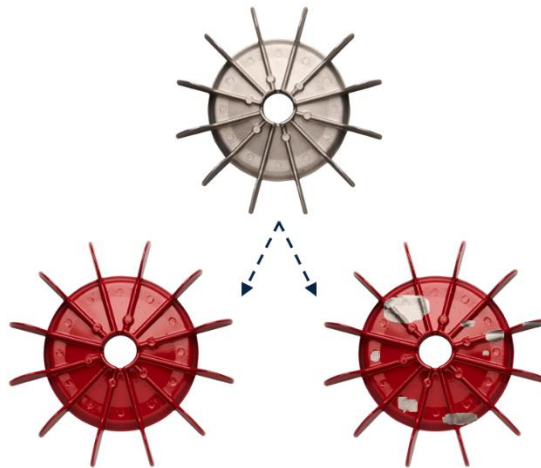


Рисунок 1. Результат фарбування металевої поверхні: деталь, що розташована зліва, не мала органічних забруднень поверхні, справа – внаслідок наявності жиркових плівок присутні дефекти забарвлення

Ще одним напрямом застосування пристрою реєстрації флуоресценції може бути вимірювання товщини шару масла, або іншої органічної сполуки на поверхні деталі, за умови, якщо відомо її хімічний склад та характер залежності ступеня власного випромінювання від товщини шару збудженої ультрафіолетом речовини на певній довжині хвилі оптичного спектру.

Розглянемо принцип роботи приладу вимірювання флуоресценції на основі наведеної на рис. 2 схеми. Поверхня об'єкту контролю збуджується ультрафіолетом, що надходить з джерела випромінювання, проходячи через напівпрозору плоскопаралельну пластину та лінзу, яка виконує функції об'єктиву в системі пристрою. Якщо на поверхні деталі є органічне забруднення, виникає явище флуоресценції. Поверхня деталі знаходиться у фокальній площині об'єктиву, тому власне електромагнітне випромінювання збудженої

речовини паралельним пучком променів потрапляє на напівпрозору плоскопаралельну пластину, що віддзеркалює його на фотоприймач. Оптичний фільтр виділяє тільки одну довжину хвилі, на якій проводиться вимірювання.

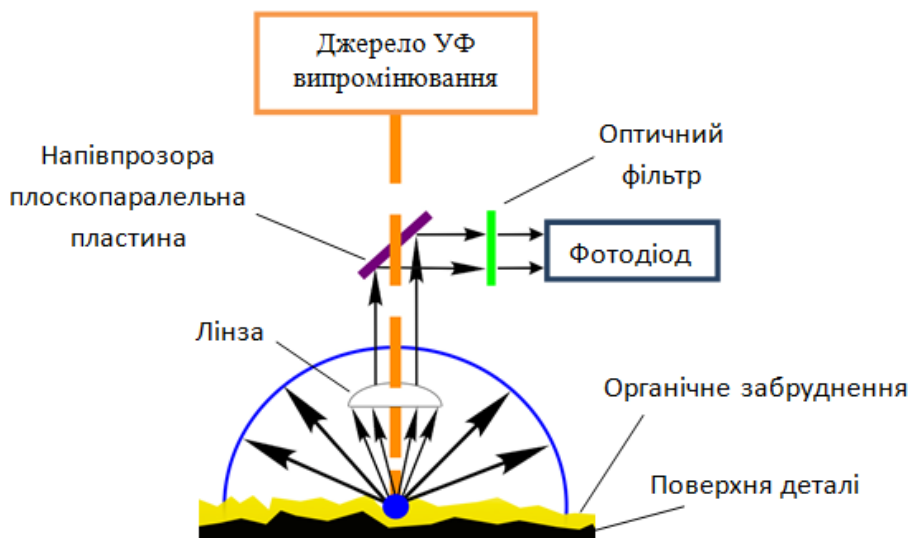


Рисунок 2. Схема принципу дії приладу вимірювання флуоресценції

Конструкція оптико-електронного приладу, розроблена за наведеною схемою, відносно проста, в порівнянні, наприклад, з лазерним далекоміром середньої точності вимірювання відстаней [4], та має невисоку собівартість, а сам пристрій є портативним, легким та швидким у використанні.

## ВИСНОВКИ

Розглянутий в роботі матеріал дає змогу зробити переконливий висновок, що метод вимірювання флуоресценції є достовірним засобом для виявлення органічного плівкового забруднення на поверхнях деталей. Контроль таких забруднень суттєво впливає на якість зварних та клеєних з'єднань, а також доцільний перед нанесенням лакофарбових покриттів, що дасть змогу, наприклад, значно зменшити процент бракованої продукції на виробництві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Оптическая биомедицинская диагностика. Перевод под ред. В.В. Тучина; Том 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 560 с.
- [2] Оптическая биомедицинская диагностика. Перевод под ред. В.В. Тучина; Том 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
- [3] SITA Process Solutions. – Режим доступу URL: <https://www.sita-process.com>. – 15.04.2019.
- [4] Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьев // *Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля*. – Минск, Беларусь, 2016. – с. 38.

*Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.*

УДК 620.179.16: 620.179.17

д.т.н. проф. Г.М. Сучков, д.т.н., проф. Петрищев О.Н, к.т.н. Плєснецов С.Ю.  
НТУ «ХПІ», КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВИЯВЛЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ МЕТАЛОВИРОБІВ БЕЗКОНТАКТНИМ ЕКСПРЕС-МЕТОДОМ

**Анотація.** Запропоновано спосіб ультразвукового електромагнітно-акустичного контролю, який включає операції збудження і прийому пакетних зсувних ультразвукових імпульсів в металовироби, фільтрацію перешкод в сукупності прийнятих сигналів, детектування прийнятих імпульсів, кореляційний обробку сигналів, обчислення спектра сумарного прийнятого сигналу, порівняння отриманого спектра зі спектром донних сигналів на бездефектній ділянці, прийняття рішення про наявність дефектної ділянки. Остаточне рішення про якість металовироби визначають додатково стандартними методами. Ефективність розробленого способу підтверджена експериментально. Спосіб може бути застосований для безконтактного неруйнівного контролю великих обсягів металовиробів без спеціальної підготовки поверхні ультразвуковими пакетними імпульсами.

**Ключові слова:** безконтактний ультразвуковий контроль, металовиріб, дефект, корозія, електромагнітно-акустичний, пакетний імпульс, прийнятий сигнал, кореляційний обробка, спектр, огинає спектра сумарного сигналу.

### ВСТУП

В даний час величезне число виробів і обладнання експлуатується довгий час в складних умовах. Незважаючи на широке застосування засобів захисту, ці об'єкти піддаються корозії і іншим пошкодженням, як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку, рис. 1. Зазвичай пошкодження такого типу виявляти складно. Крім того, як правило, необхідно проводити неруйнівний контроль великих обсягів виробів, що вимагає застосування високопродуктивних обладнання і методів контролю.



Рисунок 1. Пошкодження на внутрішній поверхні газової труби (Харківська обл., Підприємство «Укргазвидобування»)

Традиційні методи контролю для виявлення прихованих дефектів використовують ультразвукове зондування із застосуванням контактної рідини [1]. Для застосування контактної ультразвукового контролю необхідно зачищати поверхню об'єкта контролю, що значно знижує продуктивність і збільшує витрати на виконання діагностики.

Змінити ситуацію можливо за рахунок застосування електромагнітно-акустичного (ЕМА) способу збудження і прийому ультразвукових імпульсів [1-3]. Однак, як і раніше вважається, що ЕМА спосіб контролю має низьку чутливість [3]. Аналіз результатів сучасних розробок показує, що чутливість ЕМА способу контролю є цілком достатньою для проведення практично будь-якого виду неруйнівного контролю металовиробів.

Метою роботи є розробка високопродуктивного недорогого способу виявлення корозійних і аналогічних поразок на прихованих поверхнях металовиробів.

## РОЗРОБКА, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Традиційно для виявлення дефектів на протилежних зоні збудження поверхнях виробів застосовують короткі широкосмугові ультразвукові імпульси, складномодульовані сигнали тощо, при реєстрації яких необхідно застосовувати відповідні методи обробки. Устаткування для при-трансформаційних змін згаданих розробок складне і використовує контактний метод ультразвукового-го контролю. У той же час спектральні методи ультразвукового контролю дають можливість з високою ймовірністю виявляти приховані дефекти металовиробів [1].

ЕМА спосіб має підвищену чутливість за умови використання зондуючих пакетних радіоімпульсів [4]. Такі сигнали мають достатньо вузький спектр. Для прямокутної обвідної зондуючого радіосигналу його спектр  $Sp(\omega)$  має вигляд:

$$Sp(\omega) = \frac{U \cdot t}{2} \left[ \frac{\sin \frac{(\omega - \omega_0)t}{2}}{(\omega - \omega_0)t} + \frac{\sin \frac{(\omega + \omega_0)t}{2}}{(\omega + \omega_0)t} \right], \quad (1)$$

де  $\omega_0$  - несуча частота сигналу, що збуджується;

$\omega$  - частота сигналу;

$U$  - амплітуда імпульсу, що збуджується;

$t$  - тривалість зондуючого імпульсу.

Для перевірки можливості оперативного контролю використаний модернізований ЕМА дефектоскоп, виготовлений на основі приладу, описаного в статті [4]. Для досліджень застосований суміщений прямий смуговий ЕМАП, описаний в роботі [5]. Дефектоскоп дозволяє регулювати частоту порушуваних ультразвукових коливань в діапазоні 1 ... 5 МГц, тривалість імпульсів - у діапазоні 1 ... 10 періодів частоти заповнення пакетного імпульсу, що зондує імпульс пікового струму - до 200 А. Повітряний зазор між поверхнею металу (або товщина діелектричного покриття) і протектором ЕМА перетворювача - до 10 мм. Збуджувалися і приймалися імпульси зсувних лінійно поляризованих ультразвукових коливань.

В якості об'єкта досліджень використані зразки з феромагнітних сталей та алюмінієвого сплаву, в яких виконані моделі корозійних пошкоджень у вигляді свердлень на стороні, протилежній розташуванню ЕМАП, а також зразки з натуральними ушкодженнями. Зачистка зразків на поверхні введення і прийому ультразвукових імпульсів не проводилась. Оскільки спектр зареєстрованого сигналу, згідно формули (1), залежить від його тривалості, на першому етапі дослідженні спектри донних імпульсів з метою вибору оптимальної тривалості. На рис. 2 наведені зображення донних імпульсів і їх спектри.

Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 2, підтверджує, що при збільшенні тривалості пакетного імпульсу спектр сигналу звужується, форма його огинаючої змінюється і стає близькою до колоколообразної. Це вказує на можливість використання форми обвідної для визначення наявності дефектних ділянок у виробі. Доцільно вибирати більш тривалий пакетний імпульс. На основі при-наведених результатів досліджень вирішено використовувати 6 ... 7 періодів частоти заповнення зондуючого сигналу.

З формули (1) також витікає залежність спектру сигналу від частоти заповнення зондуєчого пакетного імпульсу. Результати експериментальних досліджень впливу частоти заповнення зондуєчого імпульсу, з урахуванням смуги пропускання ЕМАП, наведені на рис. 3. Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 3 показує, що форма огинаючої спектрів в основному зберігає свій колоколообразний вид в діапазоні частот 2 ... 4 МГц. Незначні зміни огинаючої спектрів прийнятих сигналів обумовлені нерівномірністю смуги пропускання ЕМАП, а також впливом завад.

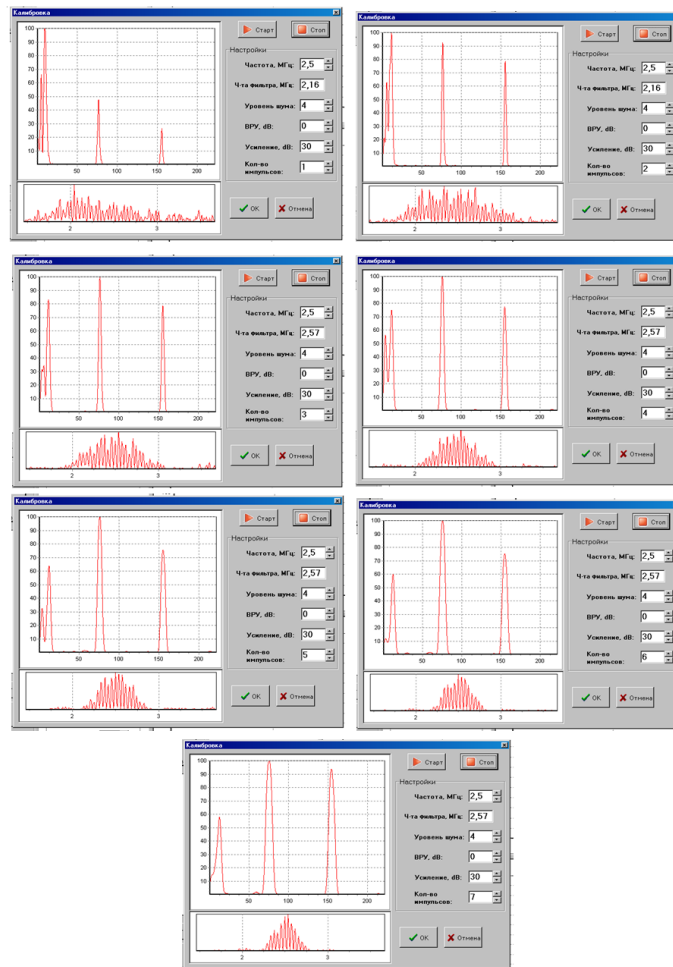


Рисунок 2. Прийняті донні сигнали з тривалістю від 1 до 7 періодів частоти заповнення на бездефектній ділянці зразка зі сталі 09Г2С і їх спектри

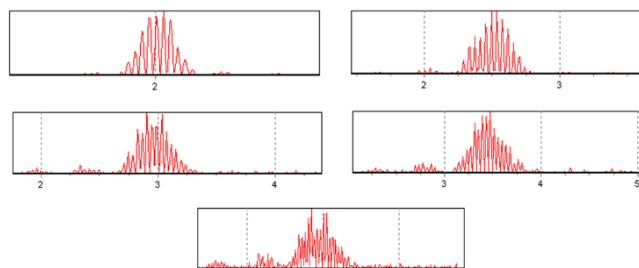


Рисунок 3. Вплив частоти заповнення зондуєчого пакетного імпульсу на огинаючу його спектру при тривалості імпульсу 7 періодів частоти заповнення (значення частот вказані на горизонтальній шкалі) на бездефектній ділянці зразка зі сталі 09Г2С



Виконані експериментальні дослідження зразків з природний-ними дефектами на донної поверхні. Спектри, отримані на зразку зі сталі 45: на бездефектної ділянці, на ділянці з плоскими тріщинами глибиною 4 мм і 8 мм. Експериментальні дослідження виявлення дефектів, що мають випадкові геометричні характеристики, підтвердили ефективність запропонованого способу.

## **ВИСНОВКИ**

1. Запропоновано проводити експрес неруйнівний контроль металовиробів із застосуванням прямих смугових ЕМА перетворювачів, які збуджують і приймають лінійно поляризовані пакетні імпульси ультразвукових коливань з тривалістю 6 ... 7 періодів частоти заповнення сигналу шляхом аналізу форми обвідної спектра прийнятих сигналів.

2. Для реалізації розробленого способу експрес контролю необхідно виконати наступні операції: порушити і прийняти пакетні ультразвукові імпульси, фільтрувати сукупність прийнятих сигналів від перешкод, детектувати прийняті імпульси, здійснити кореляційну обробку сигналів, обчислити спектр результуючого сигналу, визначити його відміну від спектра донних сигналів на бездефектної ділянці, прийняти рішення про наявності дефектного ділянки. Остаточне рішення про якість металовиробів визначають додатково стандартними методами.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Ермолов И.Н. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль* / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
- [2] Плеснецов С.Ю., Сучков Г.М., Корж А.И., Суворова М.Д. Новые теоретические исследования и разработки в области электромагнитно-акустического преобразования (обзор) // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2018. – №2. – С. 24–31.
- [3] Ермолов И. Н. *Теория и практика ультразвукового контроля*. – М: Машиностроение, 1981. – 240 с.
- [4] Сучков Г.М. Современные возможности ЭМА дефектоскопии // *Дефектоскопия*. – 2005. №12. – С. 24-39.
- [5] Мигущенко Р.П., Сучков Г.М., Радев Х.К., и др. Электромагнитно-акустический преобразователь для ультразвуковой толщинометрии ферромагнитных металлоизделий без удаления диэлектрического покрытия // *Технічна електродинаміка*, – 2016, – №2, – с. 78–82.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Сучков Г.М.*



УДК 620.1.051

Тасаж В.С., студент гр. ПК-51  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТІ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Анотація.** Стаття присвячена огляду та порівнянню різних методів контролю пористості. Показані переваги ультразвукового методу

**Ключові слова:** порошкові матеріали, пористість, ультразвук.

### ВСТУП

Порошкові матеріали – це матеріали, що виготовлені шляхом пресування порошків у виробі необхідної форми і розмірів та подальшого їх спікання [1].

Порошкова металургія є однією з найбільш перспективних технологій металургійного і машинобудівного виробництва. Потреба в металевих порошках, порошкових матеріалах і виробих пояснюється широкими можливостями використання їх при вирішенні багатьох науково-технічних завдань, що дозволяють отримувати виробу із заданими фізико-механічними властивостями.

### ПОРИСТІСТЬ

Пористість відноситься до фізичних властивостей твердих речовин. Це частка обсягу пор в загальному об'ємі пористого матеріалу (від 0 до 1), часто кількісно виражається у відсотках (від 0 до 100). Її визначають за формулою [2]:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_s}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

$\rho_s$  - дійсна густина матеріалу зразка,  $\rho_v$  - густина матеріалу з порами.

Суцільний матеріал має пористість 0% (тобто, без пор), а 100% пористість неможлива, але наближену до неї мають піна, аерогель і т. п. Пористість полягає в тому, що тверді тіла не є суцільним, а вони прорізані безліччю отворів і ходів між окремими шматочками (зернами) речовини (тобто, складаються з частинок, розділених осередками повітря або іншого газу (порами)).

Пористість спостерігається практично у всіх зростаючих органічних речовинах (рослинного походження – в деревині і тваринного походження – в кістках і шкірі) (рис. 1).

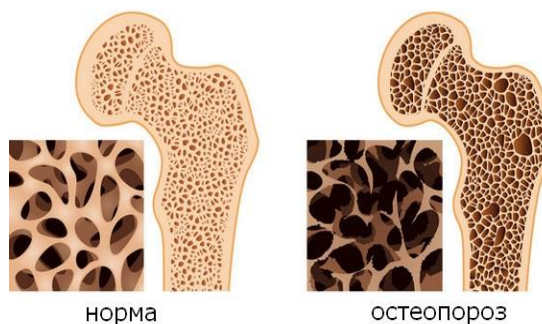


Рис 1. Пористість в кістках

У деяких пористих матеріалах (виробих) з металу, кераміки, пластмас, скла та ін. пори, у вигляді системи з'єднаних каналів-пор або ізольованих пор-

осередків, створюють при їх виробництві. Для отримання пористих виробів з кераміки або металів і сплавів найчастіше використовують речовини, що вводяться в порошковий матеріал як наповнювачі, які потім випаляють. Пори також створюють вимиванням добавок з монолітної заготовки розчинниками, або за рахунок хімічних реакцій (піноутворювачів) при формуванні виробу.

## МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПОРИСТОСТІ

Для вимірювання пористості порошкових матеріалів існує кілька основних методів:

- метод дослідження мікрофотографій,
- метод виявлення водонаповненості порошкового матеріалу,
- газодинамічний метод,
- ультразвуковий метод.

Вибір методу контролю дуже сильно залежить від передбачуваної структури матеріалу, а також від типу і форми пор. Більшість із зазначених методів складні і вимагають застосування спеціального обладнання. У той же час для деяких виробів форма і розміри пор не мають значення, для них важлива загальна пористість.

Для визначення форми і стану поверхні пор часто застосовують метод дослідження мікрофотографій (рис. 2), що дозволяє отримати уявлення про будову порового простору і деякі відомості про шорсткості поверхні пор.

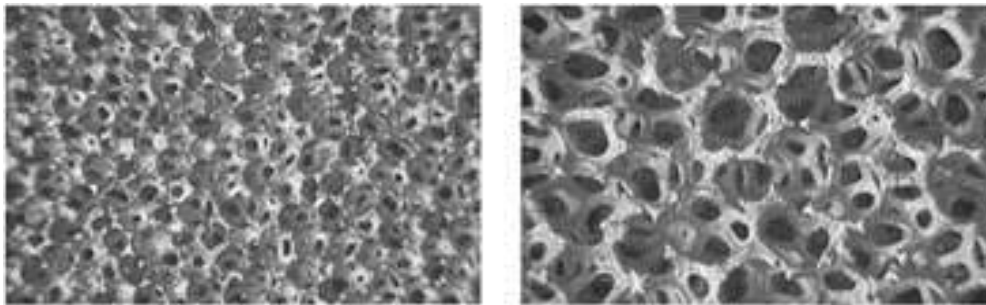


Рис 2. Мікрофотографії високопористих матеріалів

Метод виявлення водонаповненості порошкового матеріалу заснований на аналізі зміни маси зразка або деталі, що витримана протягом певного часу в дистильованій воді, а потім висушена. До недоліків метода (окрім того, що він є руйнівним) можна віднести те, що він потребує значних затрат часу. Також метод дозволяє визначити тільки водопоглинення, однак прямих залежностей, які б пов'язували коефіцієнт водопоглинення та пористість немає.

Для контролю параметрів пористості застосовується також газодинамічний метод, заснований на процесі протікання газу через контрольований зразок. Для цього використовується спеціальний пристрій, принцип роботи якого базується на явищі фільтрації та дифузії газу через об'єкт контролю. Хоча сам газодинамічний метод не є руйнівним, проте його застосування для контролю великих виробів потребуватиме вирізання з них зразків заданих розмірів, після чого буде проводитись контроль.

На сьогоднішній день для визначення пористості використовується метод ультразвукової структуроскопії (УЗС). Виявлення пористості здійснюється методом УЗС за швидкістю поширення ультразвуку в контрольованому виробі. Пористість призводить до зменшення швидкості ультразвуку у зразку або виробі. Беззаперечною перевагою УЗС є те, що це неруйнівний метод. Однак на результат вимірювання швидкості ультразвуку в порошкових матеріалах впливає значна кількість заважаючих факторів, що призводить до появи похибки. Для зменшення похибки та забезпечення достовірного контролю необхідно вживати додаткові заходи [3]. Перспективною задачею є розробка методики та автоматизованого засобу ультразвукового контролю пористості.

## **ВИСНОВКИ**

Недоліками більшості методів визначення пористості є те, що вони є руйнівними, а отже їх можна застосовувати тільки для вибіркового контролю. Ультразвукова структуроскопія є перспективним неруйнівним методом, проте потребує забезпечення умов, які дозволяють зменшити похибку.

Якщо форма і розміри пор, а також цілісність ОК мають вагоме значення, то забезпечення високої якості високотехнологічних виробів неможливо без застосування ефективних сучасних неруйнівних методів контролю на всіх стадіях виробничого циклу: проектування (розробка), виготовлення та експлуатація.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Учебные материалы для студентов / Технологические процессы в машиностроении, порошковые материалы [Электронный ресурс]. [https://studme.org/36298/tovarovedenie/poroshkovye\\_materialy](https://studme.org/36298/tovarovedenie/poroshkovye_materialy) - (дата обращения: 23.03.2019).
- [2] Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пористость> - (дата обращения: 23.03.2019).
- [3] Єременко В.С. Шляхи мінімізації сумарної похибки вимірювання швидкості ультразвуку в матеріалах з неоднорідною структурою / В.С. Єременко, Р.М. Галаган // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Одеса. – 2012. – № 06 (82). – С. 39-45.

*Науковий керівник, к.т.н., доц. Галаган Р.М.*

## УДК 620.179.1

*В.О. Удод, студент гр. ПК-81мп, О.В. Лашко*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Анотація.** Проведений аналіз можливостей автоматизації проведення ультразвукового неруйнівного контролю мостових конструкцій. Зокрема, розглянуто способи організації проведення сканування; описано механізми визначення координат розташування скануючого пристрою та ультразвукових перетворювачів на об'єкті контролю; розглянуто сучасні технології передавання інформації про наявність дефектів та розташування скануючого пристрою.

**Ключові слова:** дефект, неруйнівний контроль, прогонові споруди, ультразвук, мостові конструкції, автоматизація.

## ВСТУП

Мостові конструкції – це комплекс залізних, та залізобетонних елементів, які з'єднуються між собою для утворення прогонової будови. На сьогоднішній день через великі габаритні розміри мостів унеможлиблюється проведення ручного контролю, головними проблемами при цьому залишаються високі затрати людських ресурсів та часу. Вирішенням означених проблем може стати автоматизація процесу контролю елементів мостових конструкцій.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної статті є огляд існуючих систем автоматизації неруйнівного контролю мостових конструкцій: способів організації переміщення скануючого пристрою по поверхні об'єкта контролю, методів визначення координат розташування перетворювачів, а також механізмів передавання інформації про стан об'єкта контролю та місце розташування скануючого пристрою.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Мостова конструкція як об'єкт контролю являє собою з'єднані між собою опорні частини, пілони, прогони та ригелі. До основних дефектів елементів мостових конструкцій відносяться: тріщини метало-бетонних конструкцій; тріщини, пори та не провари в зварних з'єднаннях металевих ригелів; корозія металевих елементів; деформація несучих конструкцій.

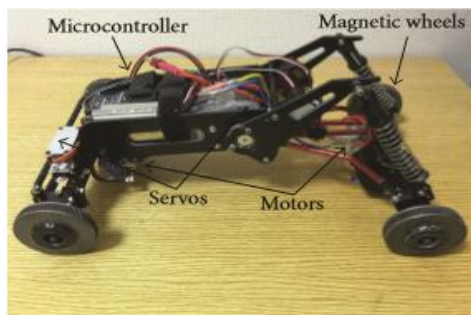


Рисунок 1. Зовнішній вигляд прототипу робота на магнітних колесах

Процес автоматизації ультразвукового контролю елементів мостових конструкцій базується на вирішенні трьох основних задач: розробка скануючого пристрою для організації сканування об'єкта контролю; розробка визначення координат розташування ультразвукових перетворювачів на об'єкті контролю; розробка системи передавання даних про стан об'єкта та розташування первинних перетворювачів.

Розглянемо існуючі на сьогодні способи

організації сканування мостових конструкцій.

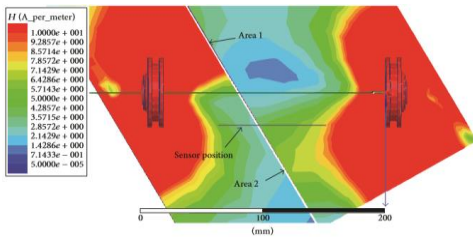


Рисунок 2. Розподіл лінії магнітного потоку в тому випадку, якщо в зразку є тріщина

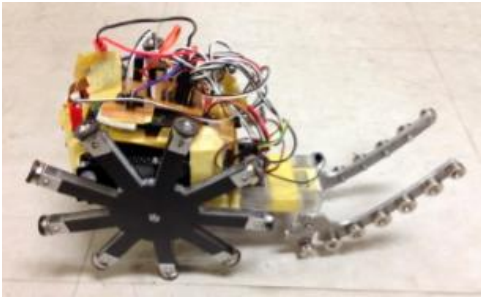


Рисунок 3. Зовнішній вигляд робота

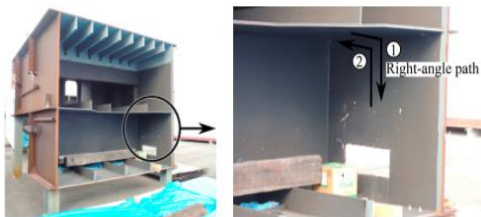


Рисунок 4. Зовнішній вигляд коробчастої балки

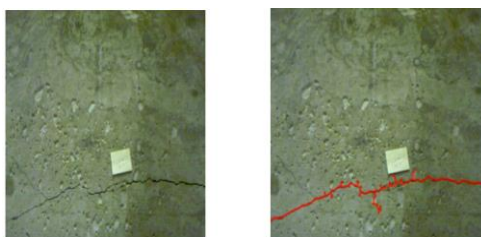


Рисунок 5. Приклад виділення дефекту мостової конструкції за допомогою програми Kinect

1. Одним із способів проведення сканування є запропонований [1] робот на магнітних колесах для контролю металевих прогонових будов магнітним методом (рис. 1). Спираючись на взаємодію індуктивних магнітних полів, що генеруються магнітними колесами для підйому робота, магніто-резистивні датчики вимірюють відмінності щільності магнітного поля між дефектною (тріщина) і бездефектною областю (рис. 2).

Як стверджують автори розробки [1], результати моделювання показали, що така система здатна виявити деякі види дефектів, включаючи відколи металу, тріщини, і райони з корозією.

2. Іншою розробкою, що забезпечує преміщення поверхнею мостовою конструкції, є запропонований [2] робот (рис. 3). Результати дослідження, проведеного авторами [2], підтвердили, що існує можливість запуску робота в внутрішньому прямокутному тракті коробчастої балки (рис. 4), щоб перевірити її пошкоджені частини. Сам робот оснащується відеокамерою для проведення візуального обстеження об'єкта.

3. Також розглянуто існуючу систему [3] автоматизованого отримання інформації про стан прогонових будов. Автори запропонували новий метод пошуку дефектів в компонентах мостових конструкцій за допомогою системи Kinect, яка базується на використанні фотографій дефектів, з подальшим виділенням їх кольором (рис.5), що забезпечує отримання тривимірної

інформації про стан компонентів мосту та їх дефектів.

Як висновок потрібно зазначити, що лише один (магнітний) з представлених методів контролю прогонових будов дає змогу отримати інформацію про наявність внутрішніх дефектів елементів прогонової будови. А відеоспостереження, та фотофіксація не дозволяє цього, що робить дані методи менш інформативними.

Однією з інших основних проблем для створення автоматизованої ультразвукової системи контролю мостових конструкцій, є визначення координат положення первинних перетворювачів, для подальшого складання електронної карти дефектів об'єкт контролю.



Розглянемо існуючі на сьогодні способи організації визначення координат положення первинного перетворювача.

1. Одним із способів визначення координат положення перетворювача є представлена ультразвукова система [4] яка призначена для роботи на плоскій поверхні об'єкту контролю. Автори зазначають, що дана система (рис.6) складається з збудника, та двох приймачів акустичних коливань, які розташовані на одній висоті.

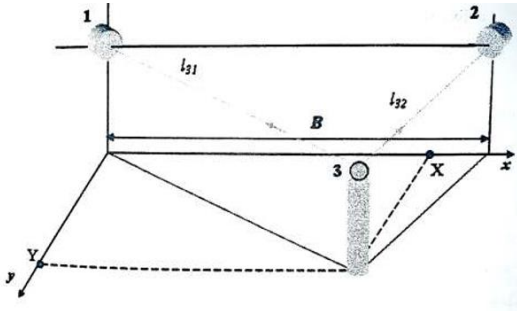


Рисунок 6. Визначення координат вимірювального перетворювача на плоскій поверхні об'єкту контролю: 1, 2 – приймачі акустичних коливань, 3 – збудник акустичних коливань.

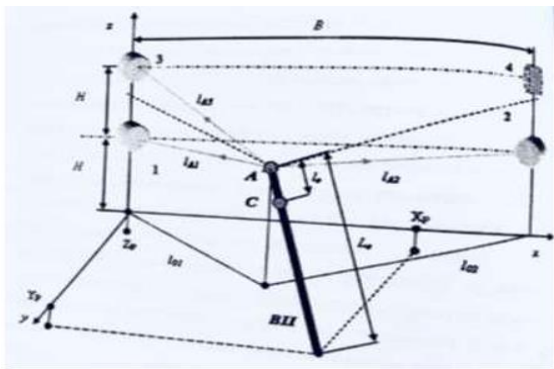


Рисунок 7. Ультразвукова система визначення координат положення перетворювача в тривимірному просторі: 1, 2, 3 – приймачі акустичних коливань; 4 – додатковий збудник; А, С – збудники акустичних коливань.

2. Іншою розробкою, що забезпечує визначення координат вимірювального перетворювача, є запропонована [4] ультразвукова система, яка дозволяє визначати координати в тривимірному просторі. В даній системі використовується три приймача коливань, які розташовані в трьох точках простору (рис.7). Дослідники зазначають, що відстань між двома збудниками коливань фіксована, а координати положення вимірювального перетворювача визначаються за допомогою математичних операцій.

Таким чином, можна дійти висновку, що для сучасної автоматизованої системи ультразвукового контролю мостових конструкцій можна використати представлені системи для визначення координат вимірювального перетворювача, як для плоского об'єкту контролю, так і для об'єкту з складною геометрією.

Також на сьогоднішній день, важливою задачею при розробці автоматизованих систем контролю

елементів мостових конструкцій є організація розташування скануючого пристрою. Використання вже існуючих методів, таких як твердотільні накопичувачі з кожним днем вичерпує свій ресурс. Тому з розвитком технологій, найперспективнішим напрямом є використання хмарних типів передачі даних [5]. Даний тип передавання дефектоскопічної інформації полегшує доступ до неї, а також забезпечує забір та передачу великих обсягів інформації, що сприяє автоматизації проведення контролю.

Механізм передавання інформації при цьому може здійснюватися за допомогою таких безпроводних технологій, як ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth. Також існує новітня розробка [6] маніпуляторної дистанційної системи, яка може

широко викривуватись в автоматизованих системах контролю, для передачі даних.

Як висновок можна зазначити, що існують різні типи передачі даних, але найперспективнішим та найуніверсальнішим являється метод хмарних технологій, який реалізується за допомогою механізму передачі даних Wi-Fi.

## **ВИСНОВКИ**

Підводячи підсумки проведеного огляду, можливостями автоматизації контролю мостових конструкцій являється використання роботизованих систем, на основі проникаючих методів неруйнівного контролю, таких як наприклад ультразвуковий чи магнітний методи тому, що вони забезпечують отримання інформації про наявність внутрішніх дефектів, які за допомогою фото та відео фіксації не можливо визначити.

Було визначено, що однією з важливих складових автоматизованої системи контролю мостових конструкцій, виступає визначення координат положення вимірювальних перетворювачів, що забезпечить складання електронної карти дефектів.

Також зазначено, що на сьогоднішній день найперспективнішими способами передачі та зберігання інформації про проведення контролю, являються безпроводна передача з використанням хмарних технологій зберігання інформації.

Але було не вирішено проблему створення схеми прозвучування, та її універсальності для автоматизованого ультразвукового контролю мостових конструкцій, що вимагає подальшого проведення досліджень в даній сфері.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] R. Wang An Automated Sensing System for Steel Bridge Inspection Using GMR Sensor Array and Magnetic Wheels of Climbing Robot / R. Wang, Y. Kawamura // Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, — 2016. — Article ID 8121678, 15 pages.
- [2] Yogo Takada Development of a Bridge Inspection Robot Capable of Traveling on Splicing Parts / Yogo Takada, Satoshi Ito and Naoto Imajo // Inventions journal — 2017. — MDPI, 13 pages.
- [3] R. S. Adhikari Automated bridge condition assessment with hybrid sensing / R. S. Adhikari, Z. Zhu, O. Moselhi and A. Bagchi // ResearchGate — 2013. —, 7 pages.
- [4] Маєвський С. М. Координатна реєстрація інформації в дефектоскопії / С. М. Маєвський, К. М. Серий. — К.: Львів, 2011. — 116 с.
- [5] Лашко Е.В. Современные информационные технологии обработки данных в неразрушающем контроле / Е.В. Лашко // Формування науково-освітньої політики : зб. наук. праць міжнар. конф., 31 травня. К.: —2014. — С. 33-36.
- [6] Петрик В.Ф. Использование беспроводных технологий в дефектоскопии / Петрик В.Ф., Ковтун Г.М., Топиха Д.М. // Научные известия, дни неразрушающего контроля. К.: —2014. — С. 486-488.

*Наук. керівник – Лашко О.В.*

УДК 620.179

*Р.Б. Ферко, студент гр. ПК-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

*Анотація.* Проведений аналіз найбільш ефективних методів неруйнівного контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів, визначені їхні переваги і недоліки.

**Ключові слова:** дефект, контроль, напруженість, ультразвук, гамма – випромінювання, зварне з'єднання.

### ВСТУП

Цистерни, резервуари, газгольдери – це великогабаритні об'єкти які збираються частинами (листами металу) та зварюються між собою. Основною проблемою таких об'єктів є їхня експлуатація під дією агресивних середовищ, фізичний та моральний знос. Вирішення цієї проблеми є актуальним тому, що експлуатація таких об'єктів які використали свій плановий ресурс може призвести до великих ризиків відмов і аварій, техногенних катастроф. Одним із єдиних запобіжних заходів є продовження ресурсу існуючих об'єктів для подальшого їх використання, оскільки будувати нові дуже дорого та часозатратно [1-3].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ціллю даної статті є огляд існуючих методів неруйнівного контролю зварних з'єднань великогабаритних об'єктів, визначення їх переваг та недоліків.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами проведеного аналізу літературних джерел було виділено наступні методи неруйнівного контролю, які використовують для створення систем діагностики зварних з'єднань великогабаритних об'єктів: візуальний і вимірювальний контроль; капілярний контроль; магнітний контроль; радіаційний контроль; ультразвуковий контроль. Розглянемо недоліки і переваги кожного методу.

**Візуальний і вимірювальний** контроль матеріалів, призначених для виготовлення деталей і елементів зварних вузлів, роблять із метою виявлення поверхневих тріщин, розшарувань, заходів, забоїн, рисок, раковин і інших дефектів. При візуальному контролі необхідно забезпечити достатній кут огляду: поверхню слід оглядати під кутом більше  $30^\circ$  (Рис. 1) з відстані, що не перевищує 600 мм [4].



Рис.1 - Схема забезпечення візуального контролю

**Переваги:** простий і інформативний метод, який не потребує дорогого обладнання і спеціальних навичок, велика швидкість контролю.

**Недоліки:** Обмеженість контролю тільки видимої частини конструкції, можливість виявлення лише явних «грубих» дефектів.



**Капілярний метод контролю** призначений для виявлення порушень суцільності в поверхневих шарах зварних з'єднань. У більшості випадків згідно з технічними вимогам виявлення підлягають настільки малі дефекти зварних з'єднань, які помітити при візуальному огляді майже неможливо [4-5]. Методи капілярної дефектоскопії дозволяють виявляти різного роду тріщини, свищі, мікропори і інші дефекти, що виходять на поверхню, за рахунок підвищення контрастності індикаторного малюнка, що утворюється на дефектах на тлі поверхні контрольованого об'єкта Рис. 2.

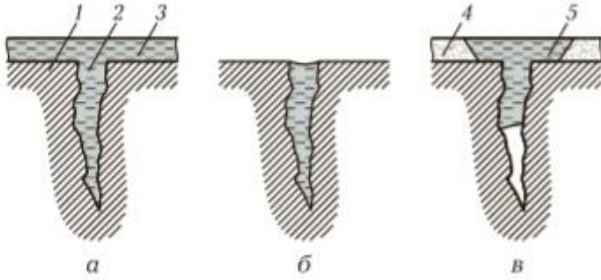


Рис. 2 - Стадії контролю поверхні деталі капілярним методом із застосуванням проявника:

а - порожнину тріщини заповнюється проникаючою рідиною - пенетрантом; б - рідина видаляється з поверхні деталі; в - наноситься проявник, тріщина виявляється; 1 - деталь; 2 - порожнину тріщини; 3 - проникаюча рідина; 4 - проявник; 5 - індикаторний слід тріщини

застосовується при контролі феромагнітних виробів (металевий матеріал в твердому стані, здатний намагнічуватися під дією зовнішнього магнітного поля і частково зберігати намагніченість після видалення зовнішнього поля). У

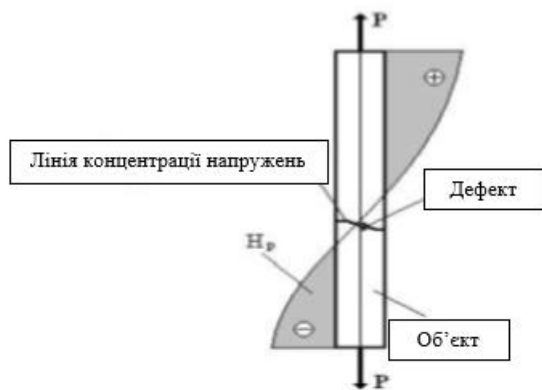


Рис.3 - Зміні знака магнітного поля при залишковій напруженості  $H_p$  в зоні концентрації напружень

наприклад, зі знака мінус на плюс або протилежний, або стає на нуль.

**Переваги:** висока чутливість до тонких тріщин і дрібних дефектів.

**Недоліки:** неможливість виявлення дефектів на великій глибині.

**Переваги:** дозволяє провести точну локалізацію дефектів, розширює область візуального контролю, збільшує спектр огляду поверхневих дефектів, невелика вартість.

**Недоліки:** велика тривалість і трудомісткість контролю, неможливість автоматизувати контроль, інструменти контролю (індикаторні рідини) мають обмежений термін придатності.

**Магнітний контроль.** Магнітний вид неруйнівного контролю в основному застосовується при контролі феромагнітних виробів (металевий матеріал в твердому стані, здатний намагнічуватися під дією зовнішнього магнітного поля і частково зберігати намагніченість після видалення зовнішнього поля). У резервуарних конструкціях, виготовлених зі сталевих листових матеріалів, широкого поширення набули такі методи магнітного виду контролю: магнітопорошковий, магнітографічний і ферозондовий контроль [5].

Відомо, що в ділянках сталевих об'єкта контролю, які зазнали високих механічних напруг, залишкова напруженість магнітного поля металу  $H_p$  змінює свій знак інверсії (Рис. 3),

**Радіаційний.** Виявлення внутрішніх дефектів засноване на здатності рентгенівських променів і гамма-випромінювання проникати через різні матеріали і поглинатися в них по-різному в залежності від товщини і виду матеріалу, а також енергії випромінювання. Для виявлення внутрішніх дефектів в зварних швах по одну сторону контрольованого зварного з'єднання (Рис.4, а) встановлюють джерело випромінювання - рентгенівську трубку або радіоактивний ізотоп, а по іншу - детектор, реєструючий випромінювання, що пройшло через дефект. Випромінювання від джерела, проходячи через зварене з'єднання, на дефектній і бездефектній його ділянках буде поглинатися по-різному і надходити в детектор з неоднаковою інтенсивністю.

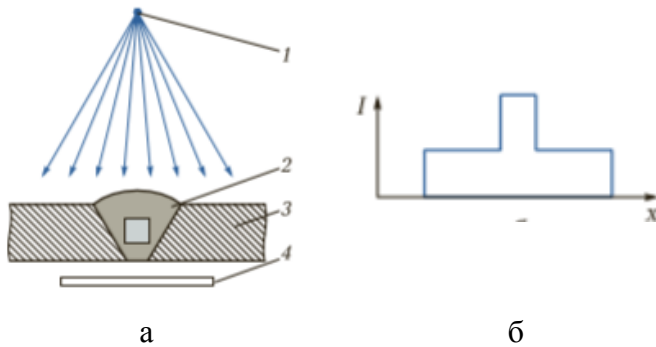


Рис. 4 - Схема просвічування зварного з'єднання (а) і розподіл інтенсивності випромінювання  $I$ , що пройшов через нього (б):

1 — джерело випромінювання; 2 — дефект; 3 — зварне з'єднання; 4 — детектор

Переваги: один з найточніших методів, дозволяє виявляти приховані дефекти, розміри і точне місце розташування.

Недоліки: дуже дорогий і складний у виконанні, небезпечний для здоров'я людини[5].

**Ультразвукова дефектоскопія** заснована на властивості ультразвукових хвиль направлено поширюватися в середовищах і відбиватися від їх меж або порушень суцільності (дефектів), що володіють іншим акустичним тиском. У практиці контролю якості зварних з'єднань використовують в основному ехо-імпульсний метод (або метод ехо-локації), який полягає в «прозвучуванні» зварного з'єднання короткими імпульсами ультразвуку і реєстрації ехосигналів, відбитих відповідно від нижньої поверхні деталі і дефекту до приймача (Рис. 5). Ознакою наявності дефекту в зварному з'єднанні служить поява луна-сигналу на екрані дефектоскопа [6].

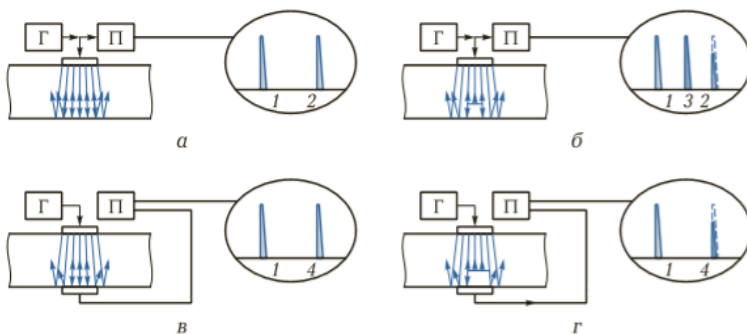


Рис.5 - Схеми проходження коротких ультразвукових імпульсів при ехо-імпульсному (а, б) і тіньовому (в, г) методі контролю зварних з'єднань:

а, в - при відсутності дефекту; б, г - при наявності дефекту; 1 - короткий імпульс ультразвуку; 2, 3 - луна-сигнали; 4 - сигнал зі зменшеною амплітудою; Г - генератор зондируючих імпульсів; П - приймач

Ознакою наявності дефекту в зварному з'єднанні служить поява луна-сигналу на екрані дефектоскопа [6].

Цей метод широко поширений в промисловості для виявлення таких дефектів, як тріщини, непровари, шлакові та інші включення в зварних швах товщиною 1 ... 2800 мм.

Переваги: висока чутливість методу, мобільність апаратури, оперативність в отриманні результатів, низька вартість контролю і відсутність радіаційної небезпеки, найуніверсальніший метод

Недоліки: наявність мертвої зони контролю, затухання у великозернистих структурах, необхідність зачищення поверхні.

## **ВИСНОВКИ**

На основі аналізу літератури виявлено, що найбільш придатний, універсальний і безпечний для персоналу метод, який слід застосовувати при діагностиці уторних і стикових з'єднань резервуарів це ультразвуковий метод контролю. Ультразвуковий метод є більш ефективний і раціональний для контролю зварних з'єднань в резервуарах великого обсягу в порівнянні з існуючими методами і не передбачає ні спорожнення резервуара, ні порушення фундаменту і основи резервуара, дозволяючи виявляти дефекти на ранній стадії розвитку.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений / Н.П. Алешин // Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368 с.
- [2] ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. – М: Стандартиформ, 2010. – 56 с.
- [3] Андреев Я. М. Обеспечение эксплуатационной надежности резервуаров севера путем повышения выявляемости плоскостных дефектов : дис. канд. техн. наук : 01.02.06. / Андреев Яков Михайлович – Якутск, 2017. – 119 с.
- [4] Овчинников В.В. Контроль качества сварных соединений : Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. — 5-е изд., стер. — М.: Академия, 2016. — 208 с. — ISBN 978-5-4468-2824-1.
- [5] ДСТУ EN ISO 17635:2015 Неруйнівний контроль зварних з'єднань.
- [6] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерноінтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. –Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

*Науковий керівник - к.т.н., ст. викладач Богдан Г.А.*

## УДК 681.5.08

*В.Є. Цимбал, студент гр. ПК-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **РУКА-МАНІПУЛЯТОР ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГАЛЬМІВНИХ ДИСКІВ**

**Анотація.** В роботі розглядається використання руки-маніпулятора для контролю гальмівних дисків. Рука-маніпулятор є універсальною установкою для точного позиціонування об'єктів. Контроль здійснюється за допомогою двох датчиків – ультразвукового та вихрострумowego, для центральної частини диска та ротора відповідно. В роботі наведений принцип роботи руки-маніпулятора та опис датчиків.

**Ключові слова:** рука-маніпулятор, ультразвуковий датчик, вихрострумний датчик, гальмівний диск.

### **ВСТУП**

Сучасні технології виробництва висувають високі вимоги до технічного рівня засобів контролю та вимірювань, а також до розширення їх номенклатури, так як сфера їх використання розширюється досить стрімко. Автоматизація повсюдно рахується головним найбільш перспективним напрямком в розвитку промислового виробництва. Завдяки виключенню людського фактору з виробничого процесу значно поліпшуються економічні показники виробництва та якість продукції. В промисловості постає проблема контролю гальмівних дисків, які є основною складовою гальмівної системи автомобілю. Метою даної роботи є опис руки-маніпулятора з двома контролюючими датчиками. Дану установку можна використовувати з різними типами гальмівних дисків, так як вона є універсальною за рахунок високої гнучкості та точності позиціонування датчиків, а також характеризується високою швидкістю. Постановка задачі: описати принцип роботи руки-маніпулятора, описати контролюючі датчики та оцінити варіанти використання системи у сучасному неруйнівному контролі.

### **ПРИНЦИП РОБОТИ РУКИ-МАНІПУЛЯТОРА**

Суть роботи маніпулятора полягає в позиціонуванні датчиків на поверхні гальмівного диску. Для цього гальмівний диск потрібно розташувати на конвеєрі в відповідному жолобі, для коректної орієнтації диску.

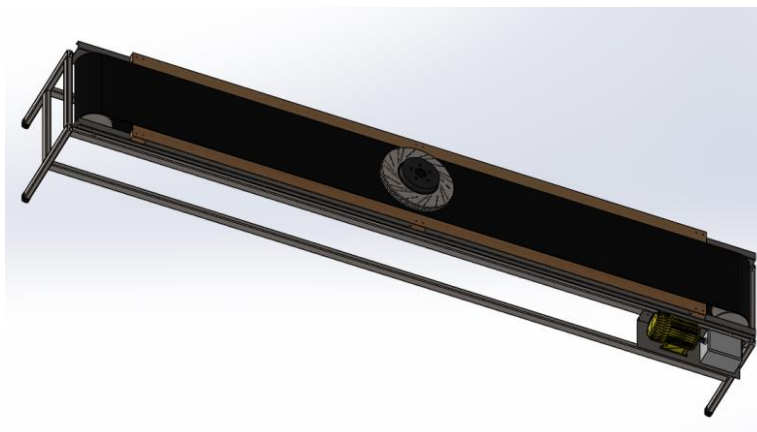


Рисунок 1. Позиціонування гальмівного диску

Для контролю використовуються два типи датчиків - акустичний та вихрострумний. За допомогою ультразвукового датчика вимірюється швидкість розповсюдження ультразвуку в центральній частині гальмівного диску, а з

допомогою вихрострумowego контролюють поверхневі дефекти роторної частини.

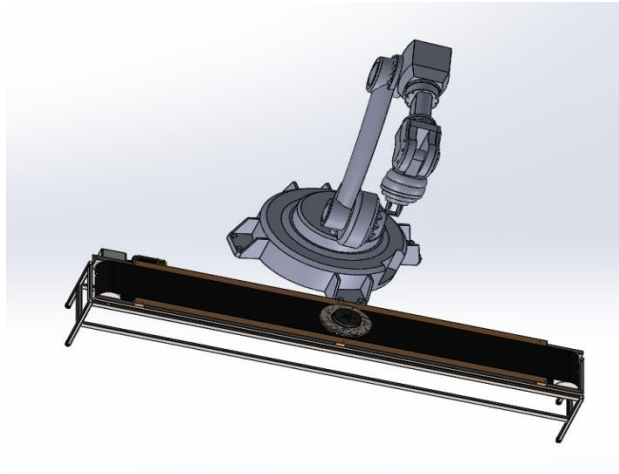


Рисунок 2. Зовнішній вигляд системи

Задача контролю полягає в позиціонуванні датчика в контрольних точках об'єкта контролю та по сигналам з датчиків робити висновок про місцезнаходження дефектів в об'ємі виробу, їх характер і розміри. Використання установки значно підвищує продуктивність та достовірність контролю. Оператор виступає лише в ролі спостерігача який контролює коректність роботи установки.[1]

### **ОПИС ДАВАЧІВ**

Ультразвуковий датчик використаний в даній системі базується на основі методу безеталонного контролю матеріалів. Суть способу безеталонної товщинометрії полягає в наступному: одночасно з поздовжньою хвилею у виріб випромінюється і головна(підповерхнева) хвиля. За цього способу швидкість звуку визначається одночасно з вимірюванням товщини. Таким чином, можна визначити параметри об'єкта контролю без додаткового калібрування і без використання еталонних зразків. Одна пара елементів передавача - приймача використовується для обчислення швидкості розповсюдження звуку в матеріалі за допомогою головної хвилі, що розповсюджується вздовж поверхні виробу і за допомогою відомого шляху звуку (відстань між передавачем і приймачем)[3]. У той же час, за допомогою інших елементів датчика, визначають час проходження звукового імпульсу в об'єкті контролю. З отриманих двох величин розраховують товщину стінки. Основною вимогою є наближена рівність в об'єкті контролю швидкостей поздовжньої і головної хвиль. Результуюча формула:

$$h = \frac{a}{2} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad (1)$$

де  $\tau_1$  і  $\tau_2$  - інтервали часу між зондуємим і донним (за поздовжньою хвилею) і між зондуємим і прийнятим сигналами (за головною хвилею).

Вихрострумовой неруйнівний контроль заснований на аналізі взаємодії електромагнітного поля вихрострумowego перетворювача з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю. Вихрові струми збуджуються в роторі гальмівного диску індуктивною котушкою, що живиться змінним струмом[3]. Приймачем служить інша обмотка котушки. Збуджуючу і

вимірювальну обмотку розташовують з одного боку від об'єкта контролю. Розрахунок ВСП полягає у кількісній оцінці величин таких як: відносна внесена напруга, початкова ЕРС холостого ходу, абсолютна внесена напруга і виконується за допомогою аналітичного та графічного методів. При скануванні гальмівного диску вихідний сигнал перетворювача представляє собою різновид бездефектного та дефектного (у випадку наявності дефекту) сигналу ділянок ОК. У разі появи дефекту, аналізовані сигнали представляють собою адитивну суміш, модульованого по амплітуді і фазі гармонічного сигналу і шуму. Для підвищення якості контролю, дефекти виявляються по обвідній сигналів, а для підвищення співвідношення сигнал/шум використовують частотну фільтрацію або статистичне усереднення значення.

### **ВИСНОВОК**

В роботі наведено принцип роботи руки-маніпулятора, опис ультразвукового та вихрострумowego давачів. Давачі є адаптованими для різних типів об'єктів контролю. Ця установка є потужним засобом для різних задач неруйнівного контролю, має високу швидкодію і точність позиціонування та значно спрощує роботу при необхідності проводити багатократні вимірювання.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Робототехнические мехатронные системы. Егоров О.Д., Подураев Ю.В., Бубнов М.А. 2015.
- [2] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю : Підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
- [3] Учанин В. Н. Вихретоковые мультидифференциальные преобразователи и их применение. / В.Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006.

*Наук. керівник – ас. Дугін О.Л.*



УДК 535-15

Якимчук А.Ю., студентка гр. ПК-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СУЧАСНА ТЕРМОГРАФІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В ОБЛАСТІ МЕДИЦИНИ

**Анотація.** Робота присвячена аналізу можливостей та перспектив розвитку і застосування термографії, як методу медичної діагностики. Розглянуто сучасний стан та проблеми застосування тепловізійної техніки для виявлення різноманітних патологій організму людини. Запропоновані напрями концентрації подальших досліджень для удосконалення методу та його поширення в різних областях медицини.

**Ключові слова:** інфрачервоне випромінювання, тепловізійна техніка, медична термографія, неінвазивна діагностика.

### ВСТУП

Як відомо, всі тіла, що знаходяться при температурі вище абсолютного нуля, випромінюють в інфрачервоному діапазоні електромагнітних хвиль. Реєстрація цього випромінювання на певній ділянці оптичного спектру є основою роботи тепловізійної техніки, яка на сьогоднішній день широко застосовується в різних сферах життя людини. Одним з напрямків теплобачення, що стрімко розвиваються сьогодні, є медична термографія – діагностичний метод, який базується на аналізі теплової картини організму людини (рис. 1).

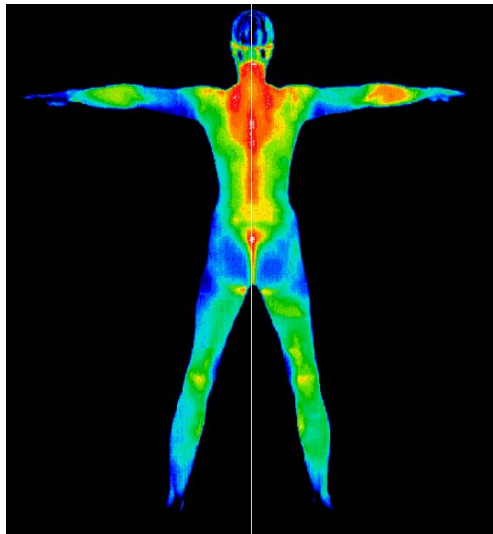


Рис 1. Термограма людини

Унікальність цього методу в порівнянні з іншими способами дослідження патологій організму людини в першу чергу полягає в його абсолютній неінвазивності [1]. Тобто термографічне дослідження цілком безпечне для людини завдяки аналізу в процесі діагностики виключно власного випромінювання тіла.

### МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження можливості застосування термографічної техніки для виявлення різноманітних патологій організму людини в різних сферах медицини, а також аналіз сучасного стану використання цього методу діагностики, перспектив його подальшого застосування та напрямів вдосконалення.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосування сучасної тепловізійної техніки дозволяє діагностувати понад 200 захворювань, причому багато з них на ранніх стадіях, що значно прискорює лікування та одужання пацієнта [2]. З кожним днем список патологій, які можна виявити за допомогою медичної термографії, розширюється. Тенденція обумовлена не тільки вдосконаленням тепловізійної техніки [3], температурна роздільна здатність якої сьогодні вже досягає сотих долів градуса, а й розробкою нових методів обробки та аналізу зображень.

Тепловізійне обладнання, що застосовується на сьогоднішній день в медичних установах, дозволяє отримати якісну термограму певної ділянки тіла пацієнта, однак аналізом отриманого зображення займається безпосередньо лікар, який самостійно оцінює відхилення теплової картини від норми. Нажаль, при такому підході висока ймовірність помилки, зумовленої людським фактором: суб'єктивністю судження та низькою компетентністю медичного працівника. Отже, однією з найбільш актуальних задач розвитку даного напрямку діагностики нині є автоматизація аналізу термограми і методик виявлення патологій на основі алгоритмів обробки зображень.

Одними з найбільш відомих принципів діагностики патологій організму людини на основі термограми є порівняння температур симетричних ділянок тіла або аналіз зміни температурного градієнту в певних зонах організму. Перший метод має кілька винятків, найбільш суттєвим з яких є область серця: температура на цій ділянці звичайно ж вище в порівнянні з симетричною областю на правій стороні грудної клітини. Отже, такий підхід не завжди можливий, особливо якщо патологія пов'язана з кардіологічним аспектом. Однак, порівняння температур симетричних ділянок на основі термограми в інших зонах тіла людини дозволяє з високою ймовірністю виявити осередки запальних процесів або, наприклад, пухлини. Останнє широко використовується в онкології, причому встановлено, що якщо температура новоутворення вища в порівнянні з нормальною температурою симетричної ділянки тіла, то пухлина відноситься до злоякісної, якщо нижча – до доброякісної [4]. Крім онкології медична термографія отримала застосування в отоларингології, мамології, стоматології і навіть хірургії, де в процесі проведення деяких операцій (наприклад, при розтині серця або його пересадці) необхідно строго витримувати певну температуру тіла пацієнта.

Складність застосовуваних підходів аналізу термограм пов'язана з різницею нормальної температури у різних людей. Також різні ділянки тіла мають істотну відмінність по температурі і хоча загальна закономірність існує, все ж уніфікувати значення нормальної температури для всіх ділянок тіла різних пацієнтів не представляється можливим у зв'язку з індивідуальними особливостями організму.

Термографічна медична техніка сьогодні працює переважно на довжині хвилі 9,3 мкм, що обумовлено максимумом спектральної випромінюючої здатності крові людини на цій довжині хвилі далекого інфрачервоного діапазону спектра [5]. Однак, перспективним напрямком розвитку тепловізійної медичної техніки є аналіз можливості реєстрації власного випромінювання окремих типів тканин



людського організму, що дасть змогу отримати «багатошарову» термограму і домогтися інформативності результатів термографічної діагностики на рівні з сучасною магнітно-резонансною томографією. Першим магом для досягнення цієї мети є дослідження спектрального складу випромінювання від кожного виду тканин і відповідна модернізація конструкції термографа.

Сучасний рівень розвитку технології штучних нейронних мереж дозволяє повністю автоматизувати процес аналізу теплової картини і домогтися достовірності поставленого без участі лікаря діагнозу з ймовірністю до 95 відсотків. Для цього достатньо сформувати електронну базу з декількох тисяч термограм пацієнтів, оцінка яких привела до ідентичних діагнозів у двох-трьох висококваліфікованих лікарів. Такої кількості даних більш ніж достатньо при використанні самонавчальної нейромережі для успішного подальшого функціонування.

## **ВИСНОВКИ**

Діагностика паталогічних станів у пацієнтів за допомогою термографії з кожним днем набуває більш широкого застосування в медичних закладах різного профілю. Перспективи використання цього методу обумовлені його неінвазивністю, зручністю та інформативністю отриманих результатів.

Термографія дістала визнання відносно нещодавно і ще не отримала масового впровадження, тому на сьогоднішній день цей напрямок в медицині вимагає вдосконалення алгоритмів роботи, модернізації техніки, автоматизації аналізу результатів діагностики із застосуванням передових технологій, а також проведення досліджень з розвитку самого методу, на що і повинні бути спрямовані основні наукові зусилля.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Муравьёв А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьёв, Е.А. Назарчук // *Вісник інженерної академії України*. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.
- [2] Муравьёв А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьёв // *TRENDS OF MODERN SCIENCE*. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
- [3] Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.
- [4] Муравйов О.В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О.В. Муравйов, О.О. Назарчук // *Вісник інженерної академії України*. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.
- [5] Муравьёв А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьёв // *Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции*. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.

**Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.**



**Секція 9.**  
**МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

## УДК 621.3.01

*І.О. Симоненко, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Синиця В.І.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ**

**Анотація.** Розглянуто основні переваги імітаційного моделювання. Проаналізовано диференціальні та інтегральні електричні кола першого порядку, їх особливості. Створено віртуальний інструмент, який на основі вхідних даних, наочно показує роботу електричного кола першого порядку та імітує проходження сигналів різної форми (прямокутного, трикутного, пилкоподібного).

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, диференціальні електричні кола, інтегральні електричні кола.

#### **ВСТУП**

В наш час великого поширення набули програмно-методичні комплекси - інформаційно-вимірювальні системи, системи контролю, системи діагностики, системи управління, в яких наочно продемонстровані вимірювальні процеси.

Натурний експеримент – це дослідження властивостей та поведінки об'єкта в певних умовах, використовуючи сам об'єкт, зазвичай є неможливим або недоцільним. Саме тому, необхідно використовувати моделювання.

Для того щоб відтворити поведінку реального об'єкта створюється його спрощена математична модель, що відображає всі істотні властивості оригіналу. Імітаційне моделювання передбачає зображення моделі у вигляді алгоритму або програмного компоненту, що дозволяє відтворити властивості об'єкта. При цьому моделюють спрощені явища, що формують процес, одночасно підтримуючи його логічну структуру і узгодженість у часі. Імітаційні моделі дають можливість відтворювати експеримент в однакових умовах необмежену кількість разів. Для імітаційного моделювання було обрано середовище розробки LabVIEW.

На сьогодні імітаційне моделювання використовують у випадках, коли натурне моделювання неможливе. Програмні засоби дозволяють спостерігати за властивостями та поведінкою об'єкта в спеціальних умовах, які необхідні оператору.

Метою моделювання є представлення процесу вимірювання диференційованих та інтегрованих кіл першого порядку для ознайомлення та набуття навичок роботи з математичними моделями в середовищі програмування LabVIEW.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Електричні кола широко використовуються у вимірювальній та комп'ютерній техніці, телекомунікаціях тощо, призначені для реалізації певних функціональних перетворень сигналів. Саме тому для вивчення електричних кіл зручно застосовувати імітаційне моделювання, яке дозволяє зберегти логічну структуру кола та отримати відомості про стан системи у певний момент часу, а також дати оцінку характеристикам системи.

Електричне коло – це сукупність з'єднаних певним чином елементів, що утворюють шлях для електричного струму. Порядок електричного кола

визначається числом реактивних елементів. Коло першого порядку включає один реактивний елемент - індуктивність або ємність і будь-яке число резистивних елементів і незалежних джерел живлення. З їх допомогою можна інтегрувати або диференціювати електричні сигнали, формувати робочу ділянку частот електронних пристроїв і виконувати інші корисні операції. Для створення програмно-методичного комплексу необхідно докладно дослідити кола першого порядку, необхідні та достатні складові електричного кола.

## СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКСУ

Для розробки віртуального інструменту для аналізу вимірювальних кіл використано графічний редактор LabVIEW, який наочно показує роботу електричного кола першого порядку та імітує проходження сигналів різної форми.

Для створення програмно-методичного комплексу були вирішені наступні завдання:

1. Розроблено віртуальний інструмент, що імітує проходження сигналів різної форми через електричні кола першого порядку (дивись рис. 1).
2. Розроблено методичне забезпечення створеного віртуального інструменту.
3. Проведено перевірку адекватності та працездатності розробленого віртуального інструменту шляхом моделювання обраних алгоритмів програмними засобами MATLAB.

На рисунку 1 зображено фронтальну панель віртуального приладу в LabVIEW по дослідженню кіл першого порядку. Розроблений макет дозволяє змінювати опір та індуктивність в широкому діапазоні, а також налаштувати параметри вхідного сигналу такі як – амплітуду, період та інші. В макеті реалізовано три форми вхідного сигналу: прямокутний, пилоподібний та трикутний, а також вибір інтегруючого та диференціюючого кола першого порядку.

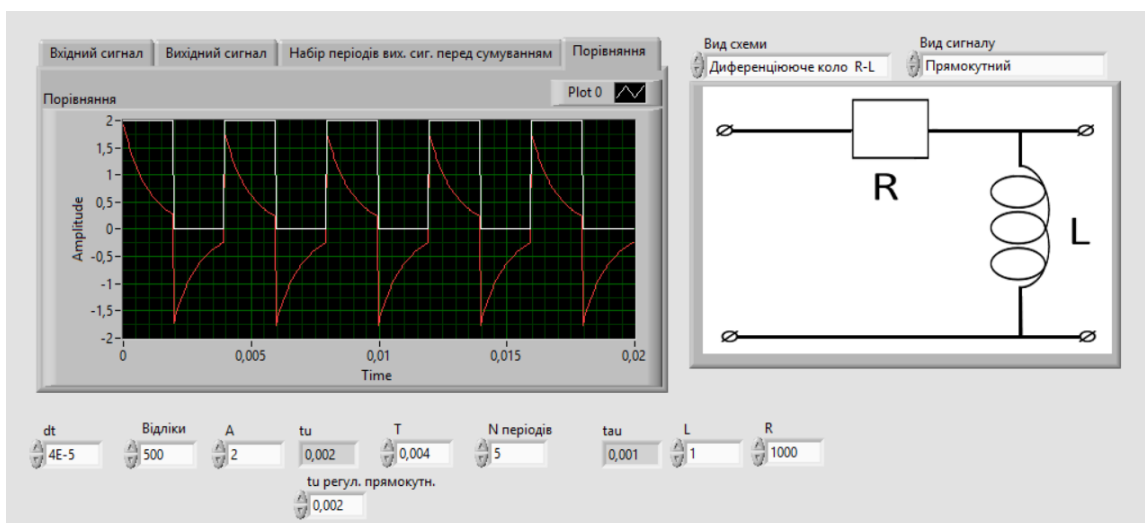


Рисунок 1 - Інтерфейс віртуального приладу в LabVIEW по дослідженню кіл першого порядку

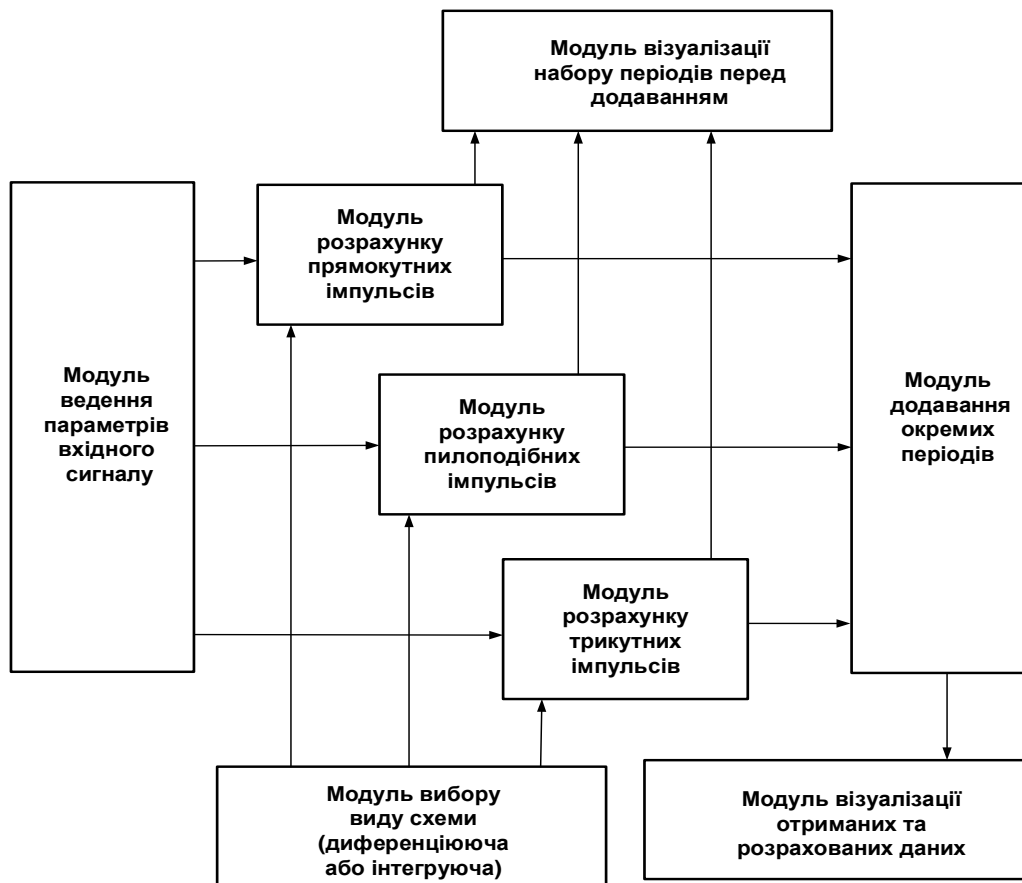


Рисунок 2 Блок- схема взаємодії модулів прикладних програм.

На рисунку 2 зображена структурна схема взаємодії модулів прикладних програм. Керуюча програма включає в себе модулі:

- інтерфейсу користувача;
- розрахунку прямокутних, пилоподібних та трикутних імпульсів;
- обробки експериментальних даних;
- візуалізації отриманих даних.

## ВИСНОВКИ

Було створено програмно-методичний комплекс для дослідження кіл першого порядку шляхом імітаційного моделювання. Віртуальний інструмент імітує проходження сигналів різної форми та наочно показує роботу електричного кола першого порядку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: підруч. / Баскаков С.И. – М. : «Высшая школа», 2000. – 462 с.
- [2] Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: підруч. / Сиберт У.М. – 2-е вид., перероб. і доп. — М. : Мир, 1998. — 336 с.
- [3] О. В. Осадчук, О. С. Звягін Теорія електричних кіл і сигналів. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Осадчук, О. С. Звягін. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 153 с.

*Наук. керівник – к.т.н. Синиця В.І., доцент.*

## УДК 681.2-5

Ю.Д. Васильєва, студент гр. ВВ-71 мн, к.т.н. Морозова М.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# НЕЙРОМЕРЕЖА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ

**Анотація.** Розглянуто основні параметри мікроклімату теплиці для вирощування грибів: температуру, вологість, вміст вуглекислого газу. Проаналізовано математичну модель теплиці для вирощування глив та її складові. Створено нейронну мережу, яка на основі вхідних даних, отриманих із датчиків температури, вологості та вуглекислого газу, видає рекомендації щодо регулювання параметрів мікроклімату та прогноз щодо врожайності грибів.

**Ключові слова:** нейромережа, мікроклімат, прогнозування.

## ВСТУП

З кожним роком у тепличних підприємствах все більша увага приділяється якійсь підтримці мікроклімату. Правильно обрана технологія підтримки мікроклімату – одна з найважливіших складових, що дозволяють підвищити врожайність. А ефективне використання енергоресурсів – додаткова можливість істотно зменшити собівартість виробленої продукції.

Мікроклімат – це комплекс метеорологічних умов в приміщенні. У тепличних приміщеннях він визначається різними параметрами: температурою, вологістю, освітленістю та ін. За допомогою нейромережевих технологій процес контролю мікроклімату значно спрощується. Правильно спроектована система самостійно приймає рішення щодо підтримки необхідних умов у приміщенні. Для створення системи необхідно докладно вивчити організм, який будуть вирощувати в теплиці, необхідні та достатні складові мікроклімату та теплиці.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Переважає більшість робіт присвячена овочевим теплицям [1], які користуються широким попитом. Також популярними є теплиці для вирощування грибів, але їх проектуванню та аналізу приділяють менше уваги. Теплиці для рослин та теплиці для грибів мають наступні основні відмінності: на відміну від рослин, гриби позбавлені хлорофілу, і в них не відбувається процес фотосинтезу. Процес вегетації грибів проходить з виділенням вуглекислого газу. Отже, це необхідно враховувати при проектуванні математичної моделі теплиці та нейронної мережі.

Щодо сорту грибів, які можна висаджувати, на першому місці за популярністю знаходиться гриб глива, до переваг його вирощування можна віднести високу врожайність і короткий відтворювальний цикл.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Найголовнішими параметрами у теплиці для грибів є температура, вологість та рівень вуглекислого газу. Під час плодоносіння «зимових» та «проміжних» штамів температуру субстрату необхідно підтримувати на рівні 16-18 °С, а температуру повітря – у межах 15-17 °С [2]. При таких значеннях температур відбувається нормальне плодоносіння. При підвищенні температури повітря до 18-20 °С відбувається інтенсивне зростання плодівих тіл із дрібними, що швидко

розкриваються, капелюшками й подовженими, тонкими ніжками. Але якість грибів знижується, плодові тіла вражаються хворобами. При зниженні температури до 14-12 °С ріст грибів сповільнюється й процес надходження врожаю розтягується. Оптимальною для росту й розвитку гриба вважається відносна вологість повітря 85-95%. Однією з причин припинення росту міцелію в субстраті для грибів і появи цвілі називають високу концентрацію  $CO_2$ . Якщо під час росту грибів концентрація  $CO_2$  буде високою (понад 0,8 л/м<sup>3</sup>), то гриби виростають деформованими. У теплиці для грибів кожен параметр мікроклімату залежить один від одного. Якщо хоча б один параметр відхиляється від норми, збільшується або зменшується, то це буде впливати на врожайність.

Отже, необхідно контролювати параметри сукупно та постійно коригувати показники підігрівання, зволоження та циркуляцію повітря, оскільки гливи є дуже чутливі до зміни мікроклімату. Урожайність  $U_T$  можна розділити на піддіапазони (з граничними значеннями діапазону від 0 до 1), в залежності від температури: «погана» врожайність – [0;0,25), врожайність «нижче середнього» – [0,25;0,5), «середня» врожайність – [0,5;0,75), врожайність «вище середнього» – [0,75;1), «висока» врожайність – [1] (дивись рис. 1). Звичайно, можна зробити іншу градацію, відмінну від описаної, але вважатимемо останню достатньою для контролю тепличних умов.

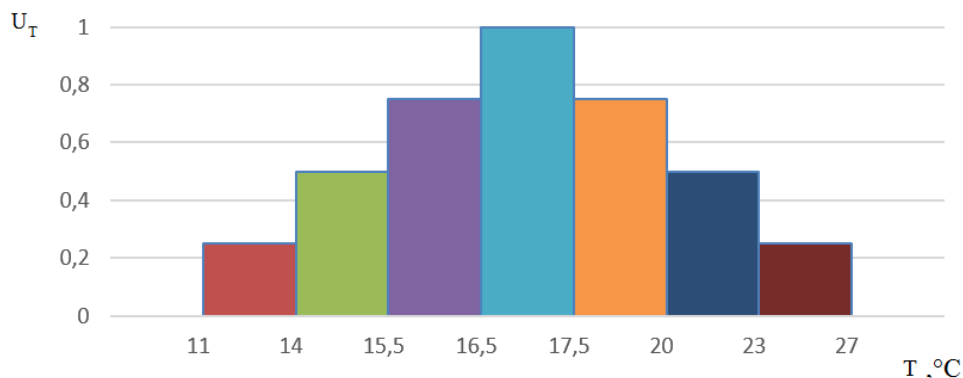


Рисунок 1 – Графік врожайності в залежності від температури

Як засоби отримання первинної інформації використовуємо датчики температури, вологості та вмісту  $CO_2$ , призначені для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення та обробки. Після отримання результатів з датчиків за допомогою нейромережі та інших засобів здійснюється регулювання подачі тепла, пари, та циркуляції повітря. Для зміни параметрів мікроклімату теплиці використовуємо: циркуляційний насос, ультразвуковий зволожувач, вентиляційну систему.

## СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Для створення нейронної мережі необхідно розробити математичну модель. Модель мікроклімату, запропоновану в [3], було взято за основу для створення системи мікроклімату грибної теплиці. В результаті перетворень отримано формули для знаходження витрати теплоносія  $G_T$ , витрати пари  $L_n$  та значення



виділення вуглекислого газу  $V_{CO_2}$  :

$$G_T(t) = \frac{T_0 \cdot c_{sum} \cdot e^{\left(\frac{c_{sum} \cdot t}{\rho \cdot V \cdot C}\right)} - t_z - t_z \cdot c_{sum}}{e^{\left(\frac{c_{sum} \cdot t}{\rho \cdot V \cdot C}\right)} C_{менл} (t_1 - t_2)} ; \quad (1)$$

$$L_n(t) = \left( \frac{X_0 \cdot L_c \cdot e^{c_{sum} \cdot t} - X_0 \cdot e^{c_{sum} \cdot t}}{L_c} \right) - L_c \cdot X_c ; \quad (2)$$

$$V_{CO_2}(t) = \left( \frac{C_0 \cdot L_c \cdot e^{c_{sum} \cdot t} - C_0 \cdot e^{c_{sum} \cdot t}}{L_c} \right) - L_c \cdot C_c ; \quad (3)$$

$$c_{sum} = k \cdot F + L_c \cdot C ; \quad (4)$$

$$x_{sum} = \frac{L_c}{\rho \cdot V} , \quad (5)$$

$k$  – коефіцієнт теплопередачі огорожуючої конструкції;

$F$  – площа огорожень;

$V$  – об'єм повітря в теплиці;

$C_{менл}$  – питома теплоємність теплоносія (води);

$t_1$  – температура на вході теплообмінника;

$t_2$  – температура на виході теплообмінника;

$t_z$  – зовнішня температура повітря;

$L_c$  – витрата повітря для вентиляції;

$C$  – питома теплоємність повітря;

$\rho$  – густина повітря;

$G_T$  – максимальна витрата теплоносія;

$t$  – час спостереження;

$T_0$  – температура у даний час;

$X_c$  – абсолютна вологість свіжого повітря;

$X_0$  – початкова вологість повітря;

$L_n$  – максимальна витрата пару;

$C_c$  – абсолютний вміст вуглекислого газу в повітрі;

$C_0$  – початковий вміст вуглекислого газу в повітрі;

$V_{CO_2}$  – максимальне значення виділення вуглекислого газу із компосту.

За цими формулами можна визначити витрату для коректного регулювання приладів (циркуляційного насоса, ультразвукового зволожувача, вентиляційної системи) для підтримання мікроклімату в теплиці.

## ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Для розробки системи використано мову програмування Python 3 та бібліотеки TensorFlow, Keras, NumPy. Модель нейронної мережі було створено на основі перцептрона з трьома прихованими шарами. При розробці системи було використано функцію активації – ReLU [4].

Проектована нейронна мережа має інтерфейс, що зображений на рис. 2. Частина програми працює наступним чином. Спочатку необхідно ввести значення температури, вологості та вмісту вуглекислого газу. При цьому в дужках вказуються мінімальне, оптимальне та максимальне значення температури, вологості, та вмісту вуглекислого газу. Після введення всіх параметрів нейронна мережа видає прогнозоване значення врожайності в діапазоні від 0 до 1, де 1 – це максимальна врожайність. Також система виводить необхідні для встановлення значення  $G_T(t)$ ,  $L_n(t)$ ,  $V_{CO_2}(t)$  в діапазоні від 0 до 1 та у відсотках.

Аналізуючи дані, видно, що результат врожайності є «нижче середнього».

```

Введите Температуру,град (1 град (17) 30 град, 0-выход)

16
Введите измеренное значение влажности (0.006 (0.012) 0.03, 0-выход)

0.009
Введите измеренное значение содержания углекислого газа (0.6 (0.825) 1.1, 0-выход)

0.8
Предсказываемое значение урожайности [0..1]: 0.29721513
Устанавливаемое значение Gt (трубы отопления) 0.11181584 53 % от максимума
Устанавливаемое значение Ln (пар) 0.013584825 64 % от максимума
Устанавливаемое значение Vco2 (компост) 0.0155118685 0 % от максимума
    
```

Рисунок 2 – Інтерфейс нейронної мережі

## ВИСНОВОК

Спроектовано нейронну мережу для підтримки мікроклімату в теплиці для вирощування глив. Мережа на основі вхідних даних з датчиків температури, вологості та вмісту вуглекислого газу видає рекомендації щодо регулювання циркуляційного насоса, ультразвукового зволожувача, вентиляційної системи та прогнозоване значення поточної врожайності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. А. Кожухов, А. Ф. Семенов, Н. В. Цугленок, «Имитационное моделирование энергосберегающих режимов выращивания овощей в теплице», *Вестник КрасГАУ*, №12, с. 143-148, 2010.
- [2] С. А. Вдовенко, «Влияние температуры на урожайность вешенки обыкновенной при интенсивном выращивании» *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, с.17-20, 2016.
- [3] М. С. Пешко, «Раскрытая математическая модель микроклимата грибной теплицы», *«Молодой учёный»*, №9 (32), с. 42–48, сентябрь 2011.
- [4] С. Н. Богославский «Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы», *Научный журнал КубГАУ*, №27(3), с. 121-142, 2017.

*Наук. керівник – к.т.н. Морозова М.М., ст. викл.*

## **УДК 502.7.**

*Б.С. Ганчев, студент гр. ПН-81мп, к.т.н., ас. В.М. Івасенко  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

# **КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ПИЛУ В ПОВІТРІ ЖИТЛОВИХ РАЙОНІВ КИЄВА**

**Анотація.** Розглянуто проблеми та джерела забруднення повітря житлових масивів Києва. Проведено дослідження щодо впливу автомобільного транспорту на збільшення концентрації твердих частинок пилу у повітрі. В результаті роботи розглянуто та проаналізовано результати вимірювань та вплив автомобілів на підвищення твердих частинок пилу в повітрі житлових районів Києва.

**Ключові слова:** пил, тверді частинки, концентрація.

## **ВСТУП**

Урбанізація – термін який характеризує життєдіяльність людини протягом останніх десятиліть. Саме через підвищення скупчень людей на певній території ми маємо проблеми забруднень атмосфери не тільки хімічними речовинами, які отримуємо в наслідок виробництва, а й підвищення концентрації твердих частинок в повітрі.

Запилені вулиці — характерне явище для багатьох українських міст. Київ не є виключенням. За даними ВООЗ, Україна посідає перше місце у світі за кількістю смертей від забруднення повітря. Статистика показує, що в нашій країні 120 людей на 100 тис. населення передчасно помирають внаслідок такого забруднення [1].

Пил – це дрібні частинки різного походження, що знаходяться в повітрі. У місті він з’являється внаслідок багатьох чинників. За останніми оцінками, майже 80 % забруднення атмосферного повітря у м. Києві обумовлено виключно викидами автомобільного транспорту [2].

В Києві на 1000 осіб – 257 автомобілів. Окрім теплового, шумового та атмосферного забруднення, транспорт піднімає та розносить пил, який осідає на дорожньому покритті, поширює бруд, що прилипає до шин внаслідок паркування на ґрунті та піску. Також спостерігається недотримання норм виїзду із будівельних майданчиків. Мала кількість зелених насаджень і поганий догляд за ними призводять до підвищення концентрації пилу у повітрі. Так насадження за якими не доглядають осушуються, ґрунт перетворюється на пил та з вітром здійснюється вгору[3].

## **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є аналіз джерел, які генерують підвищення твердих частинок пилу у повітрі житлових районів Києва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Аналіз стану забруднення атмосферного повітря автотранспортом.
2. Дослідження концентрацій в атмосферному повітрі міста.
3. Порівняння отриманих значень з гранично допустимими концентраціями (ГДК).

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Головними факторами пилового забруднення від автомобіля є викиди

відпрацьованих газів самих автомобілів (що працюють на дизельному паливі), здіймання пилу під час руху, зношення протекторів шин підчас контакту з поверхнею асфальту чи ґрунту[4].

Для визначення стану забруднення атмосферного повітря використовують мережу стаціонарних постів спостереження. На території міста Київ постійно ведеться моніторинг шкідливих речовин в повітрі. Пости моніторингу зображено на Рис.1, де також видно недоліки системи моніторингу [5].



Рисунок 1. Розташування мережі станцій спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м.Київ

Недоліками мережі є низька щільність розташування баз для моніторингу, з їх розташування видно, що багато житлових районів взагалі не мають систем моніторингу.

Отже, дані стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря можуть слугувати лише для оцінки забруднення на регіональному рівні та не можуть бути використаним для гігієнічної оцінки експозиції населення в умовах високої варіабельності концентрацій забруднюючих речовин на локальному рівні.

Дослідження концентрацій забруднюючих речовин, що надходять до атмосферного повітря з викидами автомобільного транспорту, у районі автодоріг та на територіях, що до них прилягають, проводили у 2018-му році у Шевченківському, Солом'янському та Святошинському районах м. Києва. Точку для проведення пробовідбору було обрано з урахуванням щільності проживання населення, розгалуженості мережі автодоріг та інтенсивності транспортних потоків [6].

У таблиці 1.2 наведено результати вимірювань концентрацій пилу. Також в таблиці 1.1 наведено кількість автомобілів, які перебували в точці на момент проведення дослідів. Зважені частки з діаметром часток менше 10 мкм та 2,5 мкм позначаються аббревіатурою РМ з відповідним індексом.

Таблиця 1.1 Інтенсивність транспортних потоків

№ п/п	Номер точки	Назва точки	Інтенсивність транспортного потоку, од/год
1	Т.1.	Вул. О. Довженка - просп. Перемоги	2981
2	Т.2.	просп. Перемоги	4127
3	Т.3.	Перехрестя В. Чорновола – просп. Перемоги	3484

Таблиця 1.2 Концентрації пилу НДЗС та РМ10, РМ2,5, РМ1 у точках вимірювань, мг/м<sup>3</sup>

№ п/п	Номер точки	Концентрації $\frac{\min - \max}{M \pm \sigma}$		
		Пил НДЗС	РМ10	РМ2,5
1	Т.1.	$0,038 - 0,189$	$0,0163 - 0,0452$	$0,01 - 0,0174$
		$0,086 \pm 0,011$	$0,0267 \pm 0,0043$	$0,0131 \pm 0,0022$
2	Т.2.	$0,027 - 0,124$	$0,0297 - 0,0711$	$0,0187 - 0,0345$
		$0,062 \pm 0,009$	$0,0415 \pm 0,0068$	$0,0246 \pm 0,0031$
3	Т.3.	$0,042 - 0,128$	$0,0281 - 0,0563$	$0,0162 - 0,0294$
		$0,074 \pm 0,008$	$0,0481 \pm 0,0069$	$0,0198 \pm 0,0024$

Концентрації пилу НДЗС були у діапазоні від 0,027 до 0,189 мг/м<sup>3</sup>. Середнє значення склало  $0,079 \pm 0,009$  мг/м<sup>3</sup>. Найвищі рівні концентрацій відмічали у Т.1 ( $0,086 \pm 0,011$  мг/м<sup>3</sup>) та Т.3 ( $0,074 \pm 0,008$  мг/м<sup>3</sup>). Мінімальні показники забруднення було зареєстровано в Т.2 ( $0,062 \pm 0,009$  мг/м<sup>3</sup>). При порівнянні отриманих рівнів забруднення, з існуючим гігієнічним нормативом для недиференційованого за складом пилу (ГДКм.р.=0,5мг/м<sup>3</sup>), перевищень ГДКм.р. не виявлено.

За результатами кореляційного аналізу, виявлено достовірний кореляційний зв'язок між концентрацією пилу та змінними, що описували величину та структуру транспортного потоку, характеристики доріг території дослідження, категорії землекористування та окремі метеорологічні параметри.

Для усіх забруднюючих речовин було встановлено достовірний кореляційний зв'язок між рівнями концентрацій та параметрами транспортного потоку. Середня інтенсивність транспортних потоків на визначеній території дослідження склала 3530 одиниць/годину, з яких 79 % становили легкові автомобілі, 12 % транспортні засоби та пасажирські автобуси масою до 3500 т і 9% вантажні автомобільний транспорт. Найбільш високі коефіцієнти кореляції з загальною кількістю одиниць транспорту, що проходить через точку дослідження за визначену одиницю часу РМ2,5 ( $r=0,89$ ,  $p<0,005$ ). Нижчим, але також достовірними, був кореляційний зв'язок між концентрацією РМ10 ( $r=0,44$ ,  $p<0,005$ ).

Також досить високими були коефіцієнти кореляції з іншими категоріями транспортних засобів: з кількістю легкових автомобілів для РМ10 ( $r=0,62$ ,  $p<0,005$ ), а також кількістю вантажних транспортних засобів та автобусів масою більше 3500 т для РМ2,5 ( $r = 0,85$ ,  $p<0,005$ ).

## ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих концентрацій пилу НДЗС та PM10, PM2,5 виявив неоднорідність забруднення повітря поблизу автодоріг з різною інтенсивністю транспортних потоків, що обумовлено комбінацією таких факторів як швидкість вітру, напрямок вітру по відношенню до автодороги, стійкість атмосфери та відстань до проїзної частини.

За результатами кореляційного аналізу виявлено достовірний зв'язок між концентраціями PM10 і PM2,5 та отриманими показниками, що описують величину та структуру транспортного потоку.

PM10, PM2,5 на визначній території дослідження можуть бути використаними у якості незалежних змінних у моделях прогнозування забруднення на основі методу множинної лінійної регресії.

На концентрацію пилу в повітрі впливають багато факторів, основним із них є автомобіль. Дослід підтверджує, що автомобілі мають великий вплив на зміну вмісту твердих частинок пилу в повітрі, але навіть велика кількість автомобілів не може підвищити рівень концентрації більше ніж встановлені нормативні концентрації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Віддаленого доступу: Hmarochos: Пил у Києві: звідки він береться і чому такий шкідливий / [Електронний ресурс]: — Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2018/06/11/pil-u-kiyevi-zvidki-vin-beretsya-i-chomu-takiy-shkidliviy/> — 11.06.2018 р.
- [2] Віддаленого доступу: Ukrstat: Україна в цифрах 2014 [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу : [https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/2015/zb/10/zb\\_2014\\_ukr.zip](https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/2015/zb/10/zb_2014_ukr.zip).
- [3] Віддаленого доступу: oldconf: ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МІСТА КИЇВ / [Електронний ресурс]: — Режим доступу: <http://oldconf.neasmo.org.ua/node/701> — 05.09.2013 р.
- [4] Віддаленого доступу: Дыши свободно: Пыль. Вечный житель наших домов / [Електронний ресурс]: — Режим доступу: <http://www.dishisvobodno.ru/dust.html> — 11.06.2018 р.
- [5] Віддаленого доступу: ЦГО- Срезневського: Відділ спостережень за станом хімічного забруднення / [Електронний ресурс]: — Режим доступу: <http://cgo-sreznevskyi.kiev.ua/index.php?dv=vid-ximzabr>.
- [6] Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). – Офіційне видання ДСП-2001-97. – [Чинні від 1997-07-09] – Київ. Міністерство охорони здоров'я України, 1997. – 55 с. – (Державні санітарні правила).

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Івасенко В.М.*



## **УДК 62-886**

*Гольдич О.О., студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **ДИНАМІЧНІ КОНВЕЄРНІ ВАГИ**

**Анотація.** Розглянуто актуальність використання динамічних конвеєрних ваг в промисловості. Розроблено структурна, функціональна та принципів схеми, виготовлено конструктивні деталі та повноцінний робочий зразок динамічних конвеєрних ваг та впроваджено на виробництво. Розроблено систему індикації та сигналізації вимірювань.

**Ключові слова:** контроль якості продукції, динамічні конвеєрні ваги.

### **ВСТУП**

В наш час великого поширення набули програмно-методичні комплекси - інформаційно-вимірювальні системи, системи контролю, системи діагностики, системи управління, в яких наочно продемонстровані вимірювальні процеси.

В сучасних реаліях промислового виробництва, широкого застосування набули різноманітні конвеєрні лінії. Вага продукції, що виробляється на підприємстві, є одним з ключових показників продукції. За умови контролю ваги продукції, що переміщається конвеєрною лінією, утворюється перехідний процес і вимірювання відбувається в динамічному режимі. Ця процедура вимагає спеціальних методів обробки інформації та корегування результатів вимірювання за багатьма параметрами, що враховують показники як конвеєрної лінії, так і самої продукції, зокрема: швидкість переміщення транспортеру, геометричні розміри конвеєрної лінії, габарити та вагу продукції, параметри навколишнього середовища тощо.

У випадку необхідності контролю вагових параметрів продукції з функцією її відбракування доцільно застосувати конвеєрні вагові системи. Така система має додатково сповіщати користувача про відхилення показника ваги за гранично допустимі норми та здійснювати функції відсортування продукції.

В більшості випадків, використання серійних промислових вимірювальних систем для розв'язання вказаних проблем не є можливим. Тому такі системи доцільно розробляти індивідуально за конкретними технічними вимогами замовника. Це обумовлює актуальність роботи.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Метою даної роботи є розробка конвеєрних динамічних ваг для застосування на конвеєрній лінії з виробництва кисломолочних продуктів, що дозволяють вимірювати вагові параметри продукції та контролювати вихід загальної ваги обгортки продукції за гранично допустимі норми.

### **РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для вирішення поставленої задачі було розроблено структурну схему динамічних конвеєрних ваг, яка зображена на рисунку 1. Робота схеми пояснюється наступним чином. З датчика Д сигнал поступає через нормуючий пристрій НП на аналого-цифровий перетворювач АЦП. Для досягнення необхідних метрологічних характеристик для АЦП було застосовано високоточне джерело опорної напруги ДОН. Цифровий код з АЦП передається

до мікроконтролера МК, де здійснюється вся необхідна обробка інформації. Для надання багатофункціональності щодо вибору виду продукції та її вагових характеристик, обрання границь контрольованих параметрів та можливого відхилення в схемі передбачений пристрій вводу інформації ПВІ. Для відображення результатів вимірювань використовуються цифро-відліковий пристрій ЦВП на основі рідкокристалічного багато функціонального індикатора для узгодження з яким використовується окремий буферний контролер БК. Для сповіщення про поточний стан і вихід параметрів продукції за встановлені границі застосований пристрій сигналізації ПС, що виконаний у вигляді світлових та звукових сигналізаторів.

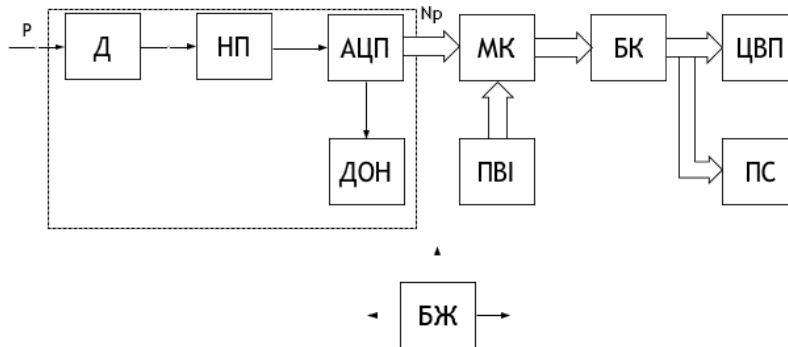


Рис. 1. Структурна схема конвеєрних динамічних ваг

На основі розробленої структурної схеми були розроблені принципові схеми і конструктивні елементи конвеєрних динамічних ваг. В якості датчика було застосовано тензOMETричний датчик MP55 фірми Sartorius. [1] [2]

Пристрій сигналізації виконаний багатофункціональним трьох кольоровим, з метою відображення поточної, доступної для сприйняття персоналом, інформації, щодо поточного стану ваги продукції: зелений – в нормі; жовтий – вага відрізняється від нормативної, але не виходить за межі одиниці продукції в упаковці; червоні – вага виходить за межі одиниці продукції в упаковці і повинна бути знята з конвеєрної лінії.

Основною конструктивною проблемою, що виникає при проектуванні динамічних конвеєрних ваг - узгодження транспортера конвеєрної лінії з вимірювальною платформою, в яку вбудовані датчики. Узгодження досягалося в першу чергу шляхом оптимізації форми та розмірів переднього краю вимірювальної платформи, з оптимізації перехідного динамічного процесу, що виникає в момент потрапляння продукції на ваги. Це узгодження відбувалося в значній мірі експериментальним шляхом.

На основі проведення даної наукової розробки, на промисловій базі фірми «Sartokarat» (м. Київ) був виготовлений промисловий зразок динамічних конвеєрних ваг ВН30-1, загальне зображення яких наведено на рисунку 2.

Виготовлений зразок динамічних конвеєрних ваг має наступні технічні характеристики:

- найбільша границя зважування - 30,0 кг;
- максимальна допустима похибка < 20,0 г;
- максимальна продуктивність – 15 штук/хв;



- ціна дійсної поділки - 5,0 г;
- робочий діапазон - від 5 до 30000 г;
- максимальна ширина продукту – 300 мм;
- модуль індикації та управління із відображенням характеристик: бруто, нето;
- пам'ять на 20 номіналів (артикулів) продукту;
- інтерфейс передачі даних RS 232, RS 485, Ethernet.
- режими роботи: автоматичні ваги з 3-ма зонами контролю;



Рис. 2 Динамічні конвеєрні ваги

За умови виходу ваги за рамки вимірювань показників, для кожного з чотирьох продуктів, зважування має зупинитись та сигналізувати про наявність помилки.

## **ВИСНОВКИ**

За результатами роботи були розроблені та виготовлені на фірмі «Sartokarat» (м. Київ) динамічні конвеєрні ваги ВН30-1 та були запроваджені на конвеєрні лінії з виробництва кисломолочної продукції компанії «Вімм-Біль-Данн» (м. Шостка). При проведенні досліджень промислового зразку, було повністю підтверджено правильність та актуальність прийнятих інженерних рішень та заявлених технічних характеристик.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Sartorius AG-«Operation Instructions. Sartorius WM. Models. Weighing in Motion» – Goetingen, Germany, 2004. – 29 с.
- [2] Віддалений доступ: MP 55 Stainless Steel Single Point Load Cell / Sartorius Hamburg GmbH Meiendorfer Straße 205 – Режим доступу: <http://sartorius.com.ua/files/ds-mp55-e.pdf>

УДК 687.2

*К. А Коваль, студентка гр. ВВ-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СПОСОБИ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕРМ-МНОЖИНИ ШКАЛИ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ**

*Анотація.* В роботі розглянуто способи встановлення терм-множини шкали з нечіткою лінгвістичною змінною з урахуванням складових невизначеності вимірювання. Якщо сумарна невизначеність вимірювання з урахуванням всіх впливних факторів занадто велика, то встановлення нечіткої терм-множини проводять за компромісом двох критеріїв: необхідної точності і компактності бази правил, кількість яких визначається кількістю факторів, вплив яких не враховано до складових невизначеності. Наведено приклад групування впливних факторів для досягнення необхідного компромісу.

**Ключові слова:** нечітка лінгвістична змінна, невизначеність вимірювання.

### **ВСТУП**

В інтелектуальних вимірювальних системах результати вимірювань використовуються при нечітких виведеннях і нечітких обчисленнях. Тому в таких системах має місце поліморфізм, тобто відображення вимірювальних властивостей декількома шкалами, а саме метричною шкалою і шкалою з нечіткою лінгвістичною змінною (ЛЗ). При відтворенні шкали з ЛЗ спочатку визначається кількість термів і їх чіткі границі у відповідності з існуючими рекомендаціями, настановами, нормативними документами, тощо. Якщо такої інформації немає, використовуються інтуїтивні функції приналежності, які на підсвідомому рівні використовує людина [1]. Для того, щоб експертним шляхом визначити ширину терма, можна скористатись поняттям критичної точки функції приналежності терма, під якою розуміють точку зі ступенем приналежності, що дорівнює 0,5.

Після цього аналізуються складові невизначеності, що супроводжують результати вимірювання за метричною шкалою і ті, що пов'язані з визначенням термів ЛЗ. Як приклад можна навести шкалу вимірювання артеріального тиску (АТ) людини в системі визначення допустимого рівня фізичного навантаження [2]. За аналізом літературних джерел інструментальна складова невизначеності вимірювання АТ складає  $\pm 3$  мм рт. ст., нестабільність латентного параметру АТ протягом доби становить 10 мм рт. ст. За медичними рекомендаціями встановлено 11 термів ЛЗ з областю визначення кожного від 10 до 20 мм рт. ст. Якщо врахувати такі впливні фактори, як вік, стать, наявність певних захворювань, то індекс нечіткості окремих функцій приналежності (ФП) термів ЛЗ стає занадто великим. Зменшити індекс нечіткості до певної межі можна за рахунок збільшення бази правил. Але при цьому необхідно знайти компроміс між критеріями точності при побудові шкали і критеріями компактності бази правил [3].

Тому в даній роботі розглянуто способи встановлення терм-множини шкали з нечіткою ЛЗ зі врахуванням двох критеріїв: допустимої точності і компактності бази знань.

## **АНАЛІЗУВАННЯ СКЛАДОВИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, ЩО ВРАХОВУЮТЬСЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ТЕРМ-МНОЖИНИ**

Як вже було зазначено в вступі при вимірюванні АТ мають місце такі складові невизначеності: інструментальна невизначеність, що обумовлена похибками вимірювального приладу (для даної системи  $\pm 3$  мм рт. ст.), нестабільність латентного параметру – тиску людини (що за літературними даними дорівнює  $\pm 5$  мм рт. ст.). Виходячи з цих даних орієнтовна ширина терму повинна дорівнювати приблизно 20 мм рт. ст.. При класифікації рівнів АТ на Т1 – знижений, Т2 – нормальний, Т3 – підвищений, Т4 – високий, Т5 – дуже високий, границі термів залежать від віку, статі, наявності певних захворювань, тощо.

Середня зміна границь тиску від нормального з віком становить  $\pm 7$  мм рт. ст.. Це вимагає введення 3-х вікових груп ( з різними границями і правилами) з внутрішньо-груповою зміною  $\pm 2,3$  мм рт. ст.. Залежність границь тиску від статі незначна, тому стать людини при формуванні бази правил за тиском не враховується. Загальний довірчий інтервал можливої зміни АТ для однієї терм-множини з ймовірністю 0,95 становить  $\pm 7$  мм рт. ст.

## **ВИКОНАННЯ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ**

Кількість правил нечіткого виведення залежить від кількості вікових груп і груп з певними захворюваннями.

Тому в прикладі нечіткого виведення використовується нечітке правило для середньої вікової групи без певних захворювань. Кількість антецедентів визначається кількістю термів кожної множини ЛЗ «Систолічний тиск (СТ)», «Діастолічний тиск (ДТ)», « Пульс (П)».

Правило представлено у вигляді нечіткого відношення «якщо СТ, ДТ, П – X, тоді рівень навантаження – Y», де множина Y складається з 6 термів: Т1(Y) – екстра легкий (рівень навантаження <50%), Т2(Y) – дуже легкий (рівень навантаження 50-60%), Т3(Y) – легкий (рівень навантаження 60-70%), Т4(Y) – помірний (рівень навантаження 70-85%), Т5(Y) – складний (рівень навантаження 85-95%), Т6(Y)- максимально складний (рівень навантаження 95-100%) [2].

Таблиця 1. МАТРИЦЯ НЕЧІТКОГО ВІДНОШЕННЯ «ЯКЩО X, ТО Y»

Терми X	T1(Y)	T2(Y)	T3(Y)	T4(Y)	T5(Y)	T6(Y)
T1(X)	0	0	0,5	0,8	1	0,8
T2(X)	0	0	0	0,5	0,8	1
T3(X)	0	0,5	0,8	1	0	0
T4(X)	0,5	0,8	1	0	0	0
T5(X)	1	0,8	0,5	0	0	0

Для прикладу (табл.1) обрано середню вікову групу (40 - 60 років).

Значення границь параметрів у окремих термах множини ЛЗ:

T1(x→СТ) – 90-110, T2(x→СТ) – 110-130, T3(x→СТ) – 130-150, T4(x→СТ) – 150-170, T5(x→СТ) – 170-190 (мм рт. ст.)

$T1(x \rightarrow ДТ) - 55-65$ ,  $T2(x \rightarrow ДТ) - 65-80$ ,  $T3(x \rightarrow ДТ) - 80-95$ ,  $T4(x \rightarrow ДТ) - 95-110$ ,  $T1(x \rightarrow ДТ) - 110-120$  (мм рт. ст.)

$T1(x \rightarrow П) - 50-60$ ,  $T2(x \rightarrow П) - 60-70$ ,  $T3(x \rightarrow П) - 70-80$ ,  $T4(x \rightarrow СТ) - 80-90$ ,  $T5(x \rightarrow СТ) - 90-100$  (уд/хв.)

Виконане моделювання на основі результатів вимірювання параметрів, що характеризують стан трьох користувачів для демонстрації роботи системи, з метою отримання рекомендацій щодо допустимого рівня фізичного навантаження. Система розрізняє ці стани і дає чітку рекомендацію.

Результати вимірювань:

Користувач 1: СТ - 120 мм рт. ст., ДТ – 75 мм рт. ст.; П – 68 уд/хв;

Користувач 2: СТ - 180 мм рт. ст., ДТ – 100 мм рт. ст., П – 84 уд/хв;

Користувач 3: СТ - 100 мм рт. ст., ДТ – 60 мм рт. ст., П – 57 уд/хв.

За віковою групою і впливними величинами обрано шкалу класифікації і отримано результат нечіткої класифікації стану користувача (РНК):

Користувач 1:

РНК1:  $СТ \rightarrow T2(X) \mid 1$ ;  $ДТ \rightarrow T2(X) \mid 0,8$ ;  $T3(X) \mid 0,2$ ;  $П \rightarrow T2(X) \mid 1$ ;

Після взаємодії класифікації даних з матрицею (табл.1) отримуємо:

СТ:  $T4(Y) \mid 0,5$ ;  $T5(Y) \mid 0,8$ ;  $T6(Y) \mid 1$ ;

ДТ:  $T2(Y) \mid 0,1$ ;  $T3(Y) \mid 0,16$ ;  $T4(Y) \mid 0,6$ ;  $T5(Y) \mid 0,64$ ;  $T6(Y) \mid 0,8$ ;

П:  $T4(Y) \mid 0,5$ ;  $T5(Y) \mid 0,8$ ;  $T6(Y) \mid 1$ ;

Результати виведення з нормалізацією:

СТ:  $T4(Y) \mid 0,22$ ;  $T5(Y) \mid 0,35$ ;  $T6(Y) \mid 0,43$ ;

ДТ:  $T4(Y) \mid 0,26$ ;  $T5(Y) \mid 0,29$ ;  $T6(Y) \mid 0,35$ ;

П:  $T4(Y) \mid 0,22$ ;  $T5(Y) \mid 0,35$ ;  $T6(Y) \mid 0,43$ ;

Об'єднаний нечіткий результат щодо рівня фізичного навантаження:

ОФП1:  $T4(Y) \mid 0,23$ ;  $T5(Y) \mid 0,33$ ;  $T6(Y) \mid 0,44$

Користувач 2:

РНК:  $СТ \rightarrow T5(X) \mid 1$ ;  $ДТ \rightarrow T3(X) \mid 0,2$ ;  $T4(X) \mid 0,8$ ;  $П \rightarrow T4(X) \mid 1$ ;

Після взаємодії класифікації даних з матрицею (табл.1) отримуємо:

СТ:  $T1(Y) \mid 1$ ;  $T2(Y) \mid 0,8$ ;  $T3(Y) \mid 1$ ;

ДТ:  $T1(Y) \mid 0,4$ ;  $T2(Y) \mid 0,74$ ;  $T3(Y) \mid 0,96$ ;  $T4(Y) \mid 0,2$ ;

П:  $T1(Y) \mid 1$ ;  $T2(Y) \mid 0,8$ ;  $T3(Y) \mid 0,5$ ;

Об'єднаний нечіткий результат щодо рівня фізичного навантаження після нормалізації:

ОФП2:  $T1(Y) \mid 0,33$ ;  $T2(Y) \mid 0,33$ ;  $T3(Y) \mid 0,34$ ;

Користувач 3:

РНК:  $СТ \rightarrow T1(X) \mid 1$ ;  $ДТ \rightarrow T1(X) \mid 1$ ;  $П \rightarrow T1(X) \mid 1$ ;

Після взаємодії класифікації даних з матрицею (табл.1) отримуємо:

СТ:  $T3(Y) \mid 0,5$ ;  $T4(Y) \mid 0,8$ ;  $T5(Y) \mid 1$ ;  $T6(Y) \mid 0,8$ ;

ДТ:  $T3(Y) \mid 0,5$ ;  $T4(Y) \mid 0,8$ ;  $T5(Y) \mid 1$ ;  $T6(Y) \mid 0,8$ ;

П:  $T3(Y) \mid 0,5$ ;  $T4(Y) \mid 0,8$ ;  $T5(Y) \mid 1$ ;  $T6(Y) \mid 0,8$ ;

Об'єднаний нечіткий результат щодо рівня фізичного навантаження після нормалізації:

ОФП3:  $T3(Y) \mid 0,16$ ;  $T4(Y) \mid 0,26$ ;  $T5(Y) \mid 0,32$ ;  $T6(Y) \mid 0,26$ ;

На основі нечітких рекомендацій з рівня навантаження можемо провести процедуру дефазифікації. Тобто перетворити нечітку множину в чіткий результат.

Ц.Т1=92%, Ц.Т2=54%, Ц.Т3=86%

Проаналізувавши дані які отримані після дефазифікації, можна надати такі рекомендації:

Користувач 1 – рекомендована складна інтенсивність фізичного навантаження; користувач 2 – рекомендована дуже легка інтенсивність фізичного навантаження; користувач 3 – рекомендована помірна інтенсивність фізичного навантаження.

Таким чином система виведення розрізняє отримані дані про фізичний стан користувачів за розробленою шкалою і забезпечує необхідні рекомендації.

## **ВИСНОВКИ**

В роботі розглянуто способи встановлення терм-множини шкали з нечіткою лінгвістичною змінною з урахуванням складових невизначеності вимірювання. Значення розширеної невизначеності у вигляді границь довірчого інтервалу використовуються при обчисленні кількох термів множини і при виборі функції приналежності окремих термів. Якщо сумарна невизначеність вимірювання велика, то її можна зменшити за групуванням впливних факторів і збільшенням кількості правил. Тому встановлення нечіткої терм-множини проводиться за компромісом двох критеріїв: необхідної точності і компактності бази правил. Апробація наведених способів проведена для системи визначення допустимого рівня фізичного навантаження за класифікованими даними щодо фізичного стану користувача системи.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Пегат А. «Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ. – М. : Бином, Лаборатория знаний, 2009 – 798 с.: (Адаптивные и интеллектуальные системы)
- [2] Toth-Laufer E., Varkonyi- Koczy A.R., «A Soft Computing – Based Hierarchical Sport Activity Risk Level Calculation Model for Supporting Home Exercises», IEEE Transaction On Instrumentation And Measurement, VOL.63, NO. 6, June 2014
- [3] Штовба С. Д., Штовба О. В., Панкевич О. Д., «Критерії точності та компактності для оцінювання якості нечітких баз знань у задачах ідентифікації», *Наукові праці ВНТУ, 2012, №4.*

**Наук. керівник – к.т.н., доц., проф, Яремчук Н. А.**

## УДК 543.068.52

*Я.В. Лукаш, студент гр. МТПм-18-1, к.т.н., доц. Витвицька Л. А.  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

### **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ХРОМАТОГРАФІЧНОГО КОНТРОЛЮ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

**Анотація.** Розроблена конструкція удосконаленого полум'яно-іонізаційного детектора що використовується при хроматографічному аналізі концентрації компонент природного газу. Забезпечується підвищення точності контролю за рахунок зниження турбулентності аналізованого потоку газу та зменшення інерційності отримання піків при проведенні хроматографічного аналізу.

**Ключові слова:** хроматографія, полум'яно-іонізаційний детектор, точність, піки, реакційна камера

#### **ВСТУП**

Хроматографія є одним з найбільш поширених фізико-хімічних методів дослідження. На даний час саме хроматографією визначається компонентний склад природного газу, за яким визначається його енергетична цінність. Для контролю якості газу визначальним є не тільки його розподіл на окремі складові, але і визначення кількості цих складових, котра визначається аналізаторами або детекторами, розташованими на виході хроматографічної колонки, коли кожна компонента виходить окремо. Тому особливе значення надається вибору типу детектора то його метрологічним характеристикам: точності, швидкодії, завадостійкості, діапазону вимірювання. Найчастіше використовуються полум'яно-іонізаційні детектори, які є чутливими до практично всіх речовини, винятками є вода, водень, оксиди азоту і вуглецю. Однак, основним їхнім недоліком є залежність від швидкості потоку всіх використовуваних газів [1].

**Метою даної роботи** є розроблення удосконаленої конструкції полум'яно-іонізаційного детектора для підвищення точності процесу визначення кількісного вмісту компонент природного газу.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

В основі роботи полум'яно-іонізаційного детектора лежить залежність електричної провідності іонізованого газу від його складу. Сигналом детектора є зміна іонізаційного струму, який викликаний введенням в детектор речовини, яка аналізується.

Дані детектори мають ряд недоліків: наявність поляризуючого електрода, який знаходиться в полі горіння водню і знижує метрологічні характеристики детектора. Електрод повинен бути хімічно і термо стійким, щоб не виникало додаткового фоновому шуму і шумів, які впливають на стабільність процесів емісії. При русі всередині детектора потоки газів омивають поляризаційний електрод, що призводить до турбулізації характеру руху газових потоків, що в свою чергу призводить до збільшення шумів детектора. Наявність поляризаційного електрода вимагає електроізоляції сопла пальника від корпусу детектора, тому що в іншому випадку іонізаційний струм потече між поляризаційним електродом і пальником, а не по вимірювальному ланцюгу. До недоліків слід віднести і необхідність зміни діаметра сопла пальника, що по суті своїй зводиться до забезпечення стабільності кількості водню, що проходить в

одиницю часу через сопло пальника. При введенні великої кількості аналізованої суміші, через нестабільність горіння буде не вистачати водню для підтримання процесу горіння.

Отже, для покращення метрологічних характеристик полум'яно-іонізаційного детектора була розроблена схема детектора, призначеного для вимірювання концентрації вуглеводнів в природному газі (рис.1). Детектор 1, зв'язаний триаксialним сигнальним каналом 2 з електрометричним підсилювачем струму 3, який поміщений разом із аналого-цифровим перетворювачем 4 з гальванічною розв'язкою на виході і джерелом поляризуючої напруги 5 в розділений на секції електромагнітний екран 6, який є електроізолюваний від металевого корпусу 7.

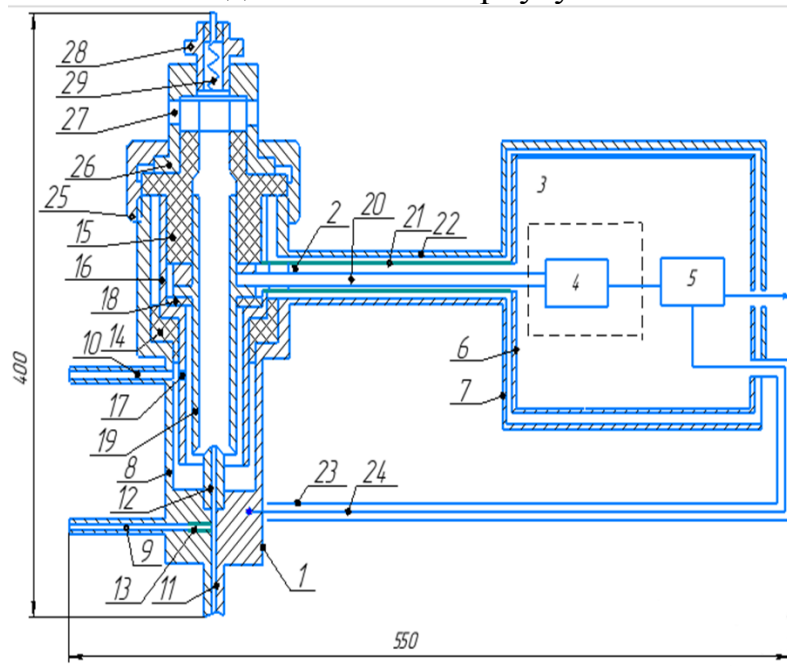


Рисунок 1 - Конструкція полум'яно-іонізаційного детектора

Детектор працює наступним чином. В каналах 9,10,11 для подачі водню, повітря і газової проби подаються потоки відповідних газів, зазвичай це 30 мл/хв повітря і до 50 мл/хв газу-носія із газоподібною аналізуючою пробою. На спіраль підпалу 29 подається електричний струм, який розігріває спіраль підпалу 28 до температури, яка перевищує 1000 °С та відбувається підпал в детекторі 1. Для забезпечення стійкого автоматичного підпалу детектора 1 на час підпалу можуть змінюватися величини витрат газів, що надходять в детектор 1, наприклад, витрата водню підвищується, а витрата газу-носія знижується. Після здійснення підпалу витрати газів приймають номінальні значення. Водневе полум'я, що горить в повітрі, генерує іони, які внаслідок наявності поляризуючої напруги (більше 150 В) формують між пальником 12 і колекторним електродом 19 фоновий струм 10-14А, який через центральний провід 20 триаксialного каналу 2 надходить на вхід електрометричного підсилювача струму 3. Потім посилений сигнал оцифровується аналогово-цифровим перетворювачем 4 і через гальванічну розв'язку надходить на реєструючий пристрій. При попаданні в полум'я пальника 12 з каналу 11 газоподібних аналізованих речовин, що

виносяться з хроматографічної колонки потоком газу-носія (N<sub>2</sub>, He), швидкість утворення іонів і їх кількість збільшуються пропорційно кількості молекул аналізованого речовини, які потрапили в полум'я пальника 12. В результаті чого струм збільшується до 10-10 ÷ 10-12А. Величина струму, що протікає між пальником 12 і колекторним електродом 19, буде пропорційна кількості молекул аналізованого речовини, що проходить через детектор в одиницю часу (г/сек). Величина і діапазон вимірюваних струмів визначаються параметрами аналого-цифрового перетворювача 4 і коефіцієнтом перетворення електрометричного підсилювача 3, що задається резистором R1. Потік водню надходить в пальник 12 через трубопровід 9 і пневмоопір 13, розташовані в безпосередній близькості до внутрішнього об'єму пальника 12. Величина пневматичного опору круглого каналу пропорційна його довжині і квадрату його діаметра. Прохідний перетин пневмоопору 13 (0,018 ÷ 0,03 мм<sup>2</sup>) в кілька разів менше прохідного перерізу сопла пальника (0,07 ÷ 0,5 мм<sup>2</sup>), тому тиск водню в трубопроводі 9 перед пневмоопором 13 на порядок перевищує величину тиску у внутрішньому обсязі пальника 12, що гарантує виключення впливу підвищення тиску у внутрішньому об'ємі пальника 12 на величину витрат водню, що протікає в одиницю часу через сопло пальника 12. У зв'язку з цим співвідношення кількості молекул аналізованого компонента і сигнал детектора будуть прямо пропорційні, тобто характеристика детектора буде лінійна у всьому діапазоні вимірюваних концентрацій, що, в свою чергу, суттєво полегшить процедуру калібрування детектора, а саме з'явиться можливість замінити багатоточкове градуювання на градуювання по двох точках. Наявність пневмоопору 13 виключає необхідність підбору діаметра сопла пальника 12 в залежності від розв'язуваної задачі. При цьому доцільність заміни пальника і її легкознімних деталей залишаються актуальними, тому що необхідно чистити пальник 12 і бажано мати два варіанти пальників 12 для роботи з капілярними колонками і для роботи з насадочними колонками. У пропонованому детекторі пальник виконаний суцільнометалевий і вкручується по різьбі в корпус детектора, що не вимагає ні високої кваліфікації обслуговуючого персоналу, ні спеціальних пристосувань. Відсутність в конструкції пропонованого детектора 1 окремого поляризуючого електрода або електрода, через який подається напруга поляризації на сопло пальника 12, виключає турбулентність потоку повітря, що омиває ці електроди при русі до сопла пальника 12, що, в свою чергу, призводить до стабілізації процесу горіння полум'я і, відповідно, до зниження флуктуаційних шумів детектора 1. Поляризаційний потенціал в детекторі 1 подається на колекторний електрод 19, тим самим дозволяючи приєднати пальник 12 безпосередньо до корпусу 8, що значно спрощує конструкцію детектора 1. Колекторний електрод 19 оточений металевим екраном 16, електрично ізольованим від колекторного електрода 19 і корпусу 8 детектора 1 і мають такий же потенціал, що і сам колекторний електрод 19. Цей екран 16 виконує функцію охоронного електрода, значно знижує паразитні струми витоку з колекторного електрода 19 на корпус 8 і, отже, власні шуми детектора 1. Металевий екран 16 електрично з'єднаний з коаксіальним екраном 21 триаксіального каналу 2, має потенціал колекторного



електрода 19 і також знижує струм витoku колекторного електрода 19. Рівність потенціалів колекторного електрода 19 і екрану 16 забезпечується схемотехнічним рішенням - застосуванням електрометричного підсилювача струму 3 з диференціальним входом, які мають мале значення початкової напруги зміщення нуля, неінвертуючий вхід якого з'єднаний з екраном 16, а інвертуючий - через центральний провід 20 триаксіального сигнального каналу 2 з колекторним електродом 19. На відміну від існуючих аналогів, у вхідному ланцюзі підсилювача 3 сигналу детектора 1 відсутні елементи джерела високої напруги, що не створює додаткову ємність, яка звужує смугу пропускання електрометричного підсилювача струму 3. Загальний провід аналого-цифрового перетворювача 4 з'єднаний із загальним проводом електрометричного підсилювача струму 3 і знаходиться під високим потенціалом колекторного електрода 19. Аналоговий сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача 4 з електрометричного підсилювача струму 3 без перетворень з мінімальними спотвореннями, а гальванічна розв'язка зроблена по цифровому інтерфейсу, який не створює спотворення сигналу. Це дозволяє отримати великий динамічний діапазон детектора 1 і мінімальні спотворення сигналу. З метою виключення виникнення перешкод і відповідно шумів детектора 1 від радіо і електричних наведень і електричних струмів, поточних по корпусу приладу, провід 24, електрично з'єднує вихід джерела поляризуючої напруги 5, з'єднаний з корпусом 8 детектора 1 в безпосередній близькості з пальником 12 і поміщений в електроізолюваний від корпусу приладу екран 23, електрично з'єднаний тільки з корпусом електрометричного підсилювача 3. При роботі детектора 1 в діапазоні температур від 100 до 150°C внаслідок наявності всередині детектора 1 парів води, що утворюється в результаті горіння водневого полум'я на ізоляторі 18, який ізолює колекторний електрод 19 від екрану 16, можуть конденсуватися пари води, що призведе до зниження величини електричного опору ізолятора 18. Для виключення цього ефекту в екрані 16 виконаний отвір 17, розташований співвісно з каналом 10 для підведення повітря до детектора 1. Через отвір 17 потік повітря продуває зазор між колекторним електродом 19 і екраном 16, видуваючи конденсацію води на ізоляторі 18. Розрахована сумарна невизначеність визначення концентрації компонентів складала 5,4%.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином запропонована конструкція полум'яно іонізаційного детектора забезпечує достатньо високу точність вимірювання концентрації складових природного газу, при чому з однаковою точністю визначається як високо концентровані компоненти, так і малої концентрації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Лисенко О.М. Основи газової хроматографії: Навч. посібник / О.М. Лисенко, Т.В. Ковальчук, В.М. Зайцев. – К.: В-во Київського нац. ун.-тету ім. Шевченка, 2013.- 164 с.

**УДК 006.83**

*І. Б. Мацюк, студент гр. ВВ-71мн, к.т.н., доц. Шведова В.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПОВІРКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**Анотація.** В статті отримано аналітичний вираз, що дозволяє оцінити достовірність повірки засобів вимірювальної техніки, похибка яких має нормальний розподіл, для випадків використання різних за точністю еталонних засобів вимірювальної техніки та різного запасу з оцінки поля контрольного допуску.

**Ключові слова:** повірка, достовірність повірки, засіб вимірювальної техніки, оперативна характеристика.

**ВСТУП**

Повірка за своєю гносеологічною суттю є процедурою контролю. Якість процедури контролю, ступінь його правдоподібності характеризується достовірністю контролю прийняття правильних рішень, що знаходяться в межах від 0 до 1. Кількісною оцінкою достовірності є ймовірність того, що результат контролю відповідає дійсному стану об'єкта. [1]

В свою чергу, достовірність повірки – властивість повірки, що характеризується ступенем відповідності висновку про приналежність контрольованої характеристики дійсній приналежності її до області допустимих для неї значень. Значення достовірностей повірки великою мірою обумовлюються розподілами похибки ЗВТ. Аналізу впливу розподілу похибки на достовірність проведення повірки присвячена дана стаття.

**АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ**

При проведенні повірки, її достовірність характеризується оперативною характеристикою засобу вимірювальної техніки (ЗВТ)  $L(\chi)$ , яку можна представити наступним чином (рисунки 1, 2). [2]

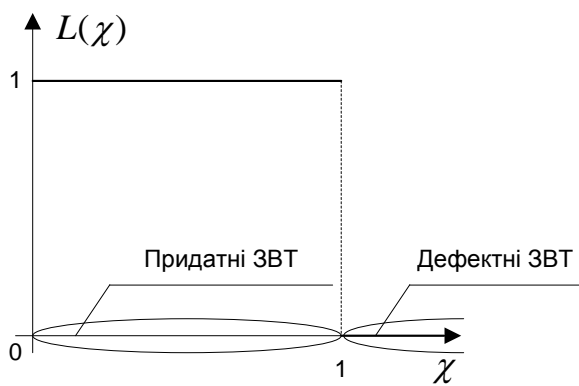


Рисунок 1 - Ідеальна оперативна характеристика.

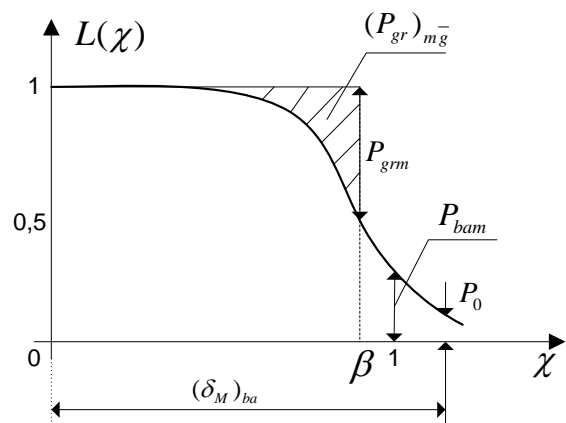


Рисунок 2 - Реальна оперативна характеристика.

Оперативна характеристика ЗВТ  $L(\chi)$  це умовна ймовірність визнання екземпляра, який повіряється, придатним за умови, що  $\chi$  набуває деяке конкретне значення, де параметр  $\chi$  - частка значення контрольованої характеристики  $Q$  до модуля її граничного допустимого значення  $G_p$

Відповідно до [2, 3] вихідні дані для встановлення параметрів методик повірки поділяють на основні та додаткові. При цьому проводять контроль основної похибки ЗВТ на відповідність нормі, встановленої в нормативно-технічній документації на ЗВТ.

Перед проведенням повірки встановлюють:

- $P_{bam}$  найбільша ймовірність помилкового визнання придатним в дійсності дефективного екземпляра ЗВТ;
- $(\delta_M)_{ba}$  частка найбільшого можливого модуля контрольованої характеристики похибки екземпляра ЗВТ, який може бути помилково визнаний придатним, до границі її допустимих значень;

а також для встановлення значень параметрів:

- $\alpha$  частка границі допустимого значення похибки повірки  $\Delta_l$  (при  $n = 1$ ) або характеристик похибки спостережень (при  $n > 1$ ) при повірці до границі допустимого значення контрольованої характеристики;
- $\gamma$  абсолютне значення частки границі  $\pm G_\gamma$  поля контрольного допуску, з яким порівнюють отриману при повірці оцінку  $\tilde{Q}$  контрольованої характеристики  $Q$  з метою прийняття рішення щодо придатності або дефектності конкретного екземпляра ЗВТ, до модуля  $G_p$ ;
- $n$  кількість спостережень при експериментальному визначенні значень похибки в точці, яку повіряють, що підлягаю сумісній обробці для отримання результату вимірювання похибки.

За нормативно-технічною документацією [2, 3] основні характеристики визначаються за параметрами  $\alpha$  та  $\gamma$ . Для встановлення найбільшої ймовірності помилкового визнання придатним в дійсності дефективного екземпляра ЗВТ  $P_{bam}$ , використовується інформація про ці параметри, що дозволяє розрахувати таблицю для вибору можливих варіантів проведення повірки.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оскільки в нормативно-технічних документах [2, 3] проведено розрахунок тільки для нормального розподілу похибки ЗВТ і обмеженого номіналу додаткових характеристик, в дослідженні було вирішено проаналізувати можливість оцінити достовірність повірки (за допомогою характеристик  $P_{bam}$  та  $(P_{gr})_{mg}$  в залежності від виду розподілу похибки ЗВТ та розширеного номіналу додаткових характеристик методики повірки.

Відповідно до методик повірки [2, 3] ймовірність визнання придатного ЗВТ непридатним  $P_{bam}$  визначається за функцією Іордана, яка охоплює різні види розподілів.

$$P_{bam} = \int_{-\gamma-1}^{\gamma-1} f(\rho) d\rho. \quad (1)$$

Канонічний вид функції Іордана має вигляд:

$$f(\rho) = \frac{\pi}{2\alpha_p} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2\alpha_p} \rho\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2\alpha_p} \rho\right)}} \cdot D(\varepsilon), \quad (2)$$

де  $\alpha_p$  - граничне значення при контролі основної похибки,  
 $D(\varepsilon)$  - дисперсія, що дорівнює:

$$D(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{|\varepsilon|}} \cdot \arcsin \sqrt{|\varepsilon|}, & \text{при } \varepsilon < 0, \\ 2, & \text{при } \varepsilon = 0, \\ \frac{2}{\sqrt{|\varepsilon|}} \cdot \ln(\varepsilon + \sqrt{1 + \varepsilon}), & \text{при } \varepsilon > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Від параметра  $\varepsilon$  залежить вид функції щільності розподілу. Розглядають зміни параметра  $\varepsilon$  від -1 до 100.

При  $\varepsilon = 10$  дисперсія дорівнює:

$$D(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{|10|}} \cdot \ln(10 + \sqrt{1 + 10}) = 1,6374. \quad (4)$$

Оскільки одним з основних видів закону розподілу є нормальний, то розглянемо цей випадок, при  $\varepsilon = 10$ , і розрахуємо  $P_{bam}$ , що залежна від параметрів  $\alpha$  та  $\gamma$  з вище наведених формул.

Для прикладу оберемо  $\alpha = \frac{1}{2}$ , тоді функція Йордана набуває вигляду:

$$f(\rho) = \frac{\pi}{2 \cdot 0,5} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot 0,5} \rho\right)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2 \cdot 0,5} \rho\right)}} \cdot D(\varepsilon) = \pi \frac{\cos(\pi\rho)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(\pi\rho)}} \cdot D(\varepsilon) \quad (5)$$

а ймовірність відповідно:

$$P_{bam} = \int_{-\gamma-1}^{\gamma-1} f(\rho) d\rho = \int_{-\gamma-1}^{\gamma-1} 1,6374 \frac{\pi \cos(\pi\rho)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(\pi\rho)}} d\rho. \quad (6)$$

Для випадку, коли  $\gamma = 0,5$ , ймовірність прийняття придатного непридатним дорівнює:

$$\begin{aligned} P_{bam} &= \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{\pi \cos(\pi\rho)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(\pi\rho)}} \cdot D(\varepsilon) d\rho = D(\varepsilon) \cdot \pi \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{\cos(\pi\rho)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(\pi\rho)}} d\rho = \\ &= D(\varepsilon) \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{\cos(\pi\rho)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(\pi\rho)}} d(\pi\rho) \end{aligned} \quad (7)$$

Замінімо  $\pi\rho = x$

$$P_{bam} = D(\varepsilon) \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{\cos(x)}{\sqrt{1 + 10 \cdot \sin^2(x)}} dx \quad (8)$$

Введемо ще одну заміну  $\cos x dx = d(\sin(x))$

$$P_{bam} = D(\varepsilon) \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{d(\sin(x))}{\sqrt{1+10 \cdot \sin^2(x)}} \quad (9)$$

Нехай  $\sin(x) = y$ , тоді

$$P_{bam} = D(\varepsilon) \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{dy}{\sqrt{1+10y^2}} = D(\varepsilon) \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{dy}{\sqrt{10} \cdot \sqrt{\frac{1}{10} + y^2}} \quad (10)$$

Ми бачимо табличний інтеграл виду  $\frac{dx}{\sqrt{a^2+x^2}}$ , що легко можна взяти

$$P_{bam} = \frac{D(\varepsilon)}{\sqrt{10}} \int_{-1,5}^{-0,5} \frac{dy}{\sqrt{\frac{1}{10} + y^2}} = \frac{D(\varepsilon)}{\sqrt{10}} \cdot \ln \left| y + \sqrt{\frac{1}{10} + y^2} \right| \Bigg|_{-1,5}^{-0,5} \quad (11)$$

Повертаємось до замін та підставляємо значення:

$$\begin{aligned} P_{bam} &= \frac{D(\varepsilon)}{\sqrt{10}} \cdot \ln \left| \sin x + \sqrt{\frac{1}{10} + \sin^2 x} \right| \Bigg|_{-1,5}^{-0,5} = \frac{D(\varepsilon)}{\sqrt{10}} \ln \left| \sin(\pi\rho) + \sqrt{\frac{1}{10} + \sin^2(\pi\rho)} \right| \Bigg|_{-1,5}^{-0,5} = \\ &= \frac{D(\varepsilon)}{\sqrt{10}} \left[ \ln \left\{ \sin(-0,5\pi) + \sqrt{\sin^2(-0,5\pi) + \frac{1}{10}} \right\} - \ln \left\{ \sin(-1,5\pi) + \sqrt{\sin^2(-1,5\pi) + \frac{1}{10}} \right\} \right] = (12) \\ &= \frac{1.6374}{\sqrt{10}} \left[ \ln \{-0.0274 + 0.317\} - \ln \{-0.0822 + 0.327\} \right] = 0.518(-1.239 + 1.407) = 0.088 \end{aligned}$$

Отже, для додаткових параметрів методики перевірки  $\alpha = \frac{1}{2}$ ,  $\gamma = 0,5$  і нормального розподілу похибок ЗВТ маємо  $P_{bam} = 0.088$ .

Для порівняння результатів, наведених в методиках (див. таблиця 1) та за формулами (1-3) проведено розрахунки для значень  $\alpha = \frac{1}{2}; \frac{1}{2,5}; \frac{1}{3}; \frac{1}{4}; \frac{1}{5}$  та  $\gamma$  тих самих, що і в таблиці 1.

Таблиця 1. Значення параметра  $\gamma$  (чисельник) та критерію  $(\delta_M)_{ba}$  (знаменник).

$p$	$\alpha$ Значення параметра $\gamma$ (чисельник) та критерію $(\delta_M)_{ba}$ при $P_{bam}$ , що дорівнює										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/5	0,80 1,00	0,88 1,08	0,91 1,11	0,93 1,13	0,94 1,14	0,96 1,16	0,97 1,17	0,98 1,18	0,99 1,19	0,99 1,19	1,00 1,20
1/4	0,75 1,00	0,85 1,10	0,88 1,13	0,91 1,16	0,93 1,18	0,95 1,20	0,96 1,21	0,97 1,22	0,98 1,23	0,99 1,24	1,00 1,25
1/3	0,67 1,00	0,80 1,13	0,85 1,18	0,88 1,21	0,91 1,24	0,93 1,26	0,94 1,27	0,96 1,29	0,98 1,31	0,99 1,32	1,00 1,33
1/2,5	0,60 1,00	0,76 1,16	0,82 1,22	0,86 1,26	0,89 1,29	0,91 1,31	0,93 1,33	0,95 1,35	0,97 1,37	0,98 1,38	1,00 1,40
1/2	0,50 1,00	0,70 1,20	0,77 1,27	0,82 1,32	0,86 1,36	0,89 1,39	0,92 1,42	0,94 1,44	0,96 1,46	0,98 1,48	1,00 1,50

A

Отримані в дослідженні результати, що наведені в таблиці 2 дещо відрізняються від відомих.

Таблиця 2

$\frac{P_{bam}}{\alpha}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/5	0,808	0,887	0,917	0,936	0,946	0,966	0,975	0,985	0,995	0,995	1,004
1/4	0,502	0,568	0,588	0,607	0,62	0,633	0,64	0,646	0,653	0,659	0,666
1/3	0,26	0,31	0,329	0,341	0,352	0,36	0,363	0,371	0,379	0,382	0,386
1/2,5	0,164	0,207	0,223	0,234	0,242	0,248	0,253	0,258	0,264	0,266	0,272
1/2	0,088	0,123	0,136	0,144	0,151	0,157	0,162	0,165	0,169	0,172	0,176

Вважаємо результати за методикою [2] дещо завищеними, що можна проілюструвати на таких прикладах.

Наприклад, за необхідності повірки ЗВТ з граничною похибкою 1% ми можемо обрати еталонний ЗВТ таким чином, щоб забезпечити похибку повірки на рівні:

$$\delta_n = \alpha \cdot \delta_{ЗВТ} = \frac{1}{2} \cdot 1\% = 0,5\% , \quad (13)$$

де  $\delta_n$  - похибка повірки (похибка еталонного ЗВТ);

$\delta_{ЗВТ}$  - похибка засобу вимірювальної техніки, що повіряється.

При нормальному розподілі похибки та  $\gamma = 0,5$  за проведеним розрахунком маємо  $P_{bam} = 0,088$ . Вважаючи, що  $P_{bam} \approx \{P_{rg}\}_{mg}$ , то достовірність прийняття правильного рішення щодо повірки дорівнюватиме:

$$D_{докл} = 1 - 2 \cdot P_{bam} = 0,82 . \quad (14)$$

У методиці [2] достовірність повірки при тих самих умовах дорівнює  $D_{мет} = 1$ .

В той же час для  $\gamma = 1$  достовірність за розрахунками набуває значення  $D_{докл} = 0,66$ , тоді як в методиці заявлено [2]  $D_{мет} = 0$ .

Оскільки достовірності можуть набувати значення 0 або 1 лише теоретично (на практиці такого не зустрічається), вважаємо, що отримані результати за формулами (1-12) більш адекватно відображаються ситуацію можливих помилок під час контролю повірки і дозволяють підвищити ефективність процедури проведення повірки. За рахунок правильного вибору еталонного обладнання.

## ВИСНОВКИ

Отримано аналітичний вираз для розрахунків ймовірності прийняття непридатного ЗВТ придатним  $P_{bam}$  для випадку нормального розподілу при різних значеннях додаткових параметрів методики повірки, що розширює можливості по відношенню до відомих на сьогодні рекомендаціях. В свою чергу процес розрахунку може бути автоматизований у вигляді системи розрахунку ймовірності прийняття рішень.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Є. Володарський, В. Кухарчук, В. Поджаренко, Г. Сердюк, «Метрологічне забезпечення вимірювань та контролю», 2001
- [2] МИ 187-86 Методические указания. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений.
- [3] МИ 188-86 Методические указания. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки.
- [4] Мацюк І.Б. Вплив розподілу похибки еталонного засобу вимірювальної техніки на достовірність проведення повірки // Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 р., м. Київ, Україна.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент, Шведова В. В.*

УДК 519.766

*Ю.І.Моголівець, студентка гр. ВВ-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

## **СПОСОБИ ВРАХУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ЗСТОСУВАННІ ШКАЛИ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ**

**Анотація.** В роботі розглянуто способи врахування невизначеності вимірювання при застосуванні шкали з нечіткою лінгвістичною змінною при одноразових і багаторазових вимірюваннях. Для демонстрації використано систему вимірювання параметрів мікроклімату промислових та житлових приміщень з класифікацією рівня відповідності санітарним нормам.

**Ключові слова:** нечітка лінгвістична змінна, невизначеність вимірювання.

### **ВСТУП**

В інтелектуальних вимірювальних системах з поданням результатів вимірювання у вигляді нечітких класифікованих даних використовуються шкали з нечіткою лінгвістичною змінною [1]. При побудові таких шкал повинні враховуватись похибки вимірювального каналу, що впливають на функції приналежності (ФП) терм-множини лінгвістичної змінної (ЛЗ). Так, як такі системи можуть бути орієнтовані і на одноразові, і на багаторазові вимірювання окремих параметрів є необхідність в аналізі способів врахування похибки вимірювального каналу при формуванні кінцевого результату вимірювання. В даній роботі як об'єкт дослідження обрано систему визначення ступеня відповідності певних параметрів мікроклімату значенням, наведеним в санітарних нормах на житлові та промислові приміщення та класифікації приміщень за рівнем відповідності. До складу системи повинні входити вимірювальні канали параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху повітря, тощо), блок відтворення шкали класифікації з нечіткою лінгвістичною змінною (ЛЗ), нечіткий класифікатор(НК), що визначає ступінь відповідності кожного з параметрів окремим термам шкали і система правил, що дозволяє об'єднати класифіковані дані для отримання інтегральної характеристики відповідності приміщення за окремими параметрами [2].

### **ПОБУДОВА ШКАЛИ КЛАСИФІКАЦІЇ**

Для побудови одновимірних шкал класифікації температури та вологості не завжди підходять впорядковані лінгвістичні шкали (наприклад: «низька», «середня», «висока») тому, що найбільш сприятливим умовам відповідають найчастіше середні значення температури та вологості [2]. Тому, невпорядкованою терм-множиною ЛЗ «температура» обрано:  $T_1$  «недопустимо низька»,  $T_2$  «допустимо низька»,  $T_3$  «оптимальна»,  $T_4$  «допустимо висока»,  $T_5$  «недопустимо висока». Так як результати вимірювання параметрів супроводжуються невизначеністю вимірювання, це може бути причиною розсіювання класифікованих даних.

В санітарних нормах на промислові та житлові приміщення наведені чіткі границі температур, що відповідають наведеній вище терм-множині лінгвістичної змінної [3]. Але, якщо враховувати похибку вимірювання



температури і скористатись для цього трапецієподібними і трикутними функціями приналежності, то шкала класифікації набуває вигляду рис.1. Тоді матриця відповідності шкали може бути представлена в табл.1, де в комірках матриці розташовано імовірності правильного і неправильного віднесення результату вимірювання температури до певного класу еквівалентності. Дані отримано розрахунком за площами функції приналежності.

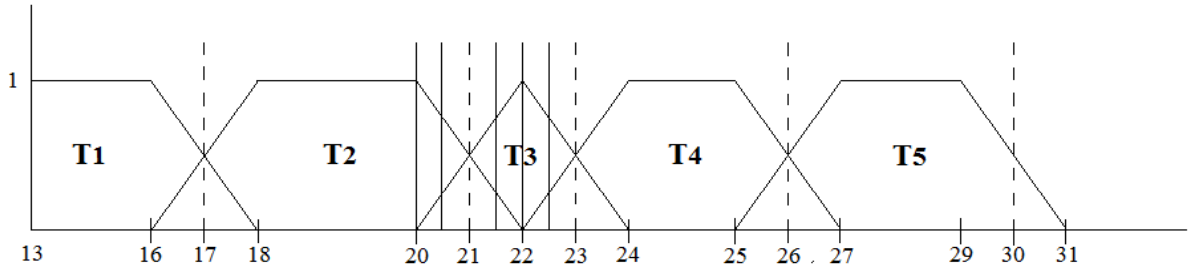


Рисунок 1. Шкала класифікації температури

Таблиця 1. МАТРИЦЯ ВІДПОВІДНОСТІ ШКАЛИ КЛАСИФІКАЦІЇ

№ n/n	Терм ЛЗ ( $T_i$ ) $t_{il} \div t_{ih} (^\circ\text{C})$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$
		1	13÷17	0,94	0,06	0
2	17÷21	0,06	0,88	0,06	0	0
3	21÷23	0	0,12	0,76	0,12	0
4	23÷26	0	0	0,08	0,84	0,08
5	26÷30	0	0	0	0,06	0,94

Таблиця 2. ОБЕРНЕНА МАТРИЦЯ ШКАЛИ КЛАСИФІКАЦІЇ

№ n/n	$T_i$ $T_i$	$T_1'$	$T_2'$	$T_3'$	$T_4'$	$T_5'$
		1	$T_1$	0,94	0,06	0
2	$T_2$	0,06	0,82	0,12	0	0
3	$T_3$	0	0,07	0,84	0,09	0
4	$T_4$	0	0	0,12	0,82	0,06
5	$T_5$	0	0	0	0,06	0,94

## СПОСОБИ ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИ ОДНОРАЗОВИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Якщо НК визначає клас еквівалентності за максимумом перерізу – то при одноразовому вимірюванні ми отримуємо клас еквівалентності, тобто результат вимірювання буде відповідати чіткій класифікації. Але в цьому випадку не враховується невизначеність вимірювання. Для врахування невизначеності вимірювання може бути використана обернена матриця класифікації. У табл.2 наведено обернену матрицю відповідності шкали для отримання результату

нечіткої класифікації  $T'_i$  з урахуванням невизначеності вимірювання при визначенні терма класифікації  $T_i$  за максимумом перерізу. Обернену матрицю отримують з матриці відповідності (табл.2) заміною рядків на стовбці.

Наприклад, якщо в результаті чіткої класифікації отримано віднесення результату вимірювання до класу еквівалентності  $T_2$ , то з урахуванням похибки вимірювання результат стає нечітким, а саме  $T_1|0,06; T_2|0,82; T_3|0,12$ . Тобто, при застосуванні оберненої матриці шкали враховується розсіювання, спричинене похибкою вимірювання при довільному розташуванні результату вимірювання в межах класу еквівалентності.

При одноразовому вимірюванні може бути використаний алгоритм роботи НК з визначенням перерізу за всіма класами еквівалентності. Тоді обернена матриця не використовується.

Перший алгоритм з використанням оберненої матриці відповідає результату класифікації при довільному розташуванні результату вимірювання в області визначення конкретного терму. Другий алгоритм забезпечує результат класифікації за певним результатом вимірювання. Тому, якщо є можливість його реалізації, то він є кращим за вимог визначення результатів класифікації.

### СПОСОБИ ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИ БАГАТОРАЗОВИХ ВИМІРЮВАННЯХ

При багаторазовому вимірюванні і використанні алгоритму за максимумом перерізу отримуємо сукупність класів еквівалентності, що характеризує розсіювання результатів вимірювання температури в приміщенні без урахування невизначеності вимірювання. Для врахування невизначеності вимірювання можна скористатись оберненою матрицею шкали та за добутком ймовірностей відношення до термів матриці і ступеня приналежності нечіткого результату багаторазового вимірювання отримати кінцевий результат, що враховує і розсіювання результатів і невизначеність вимірювання.

Таблиця 3. Результати моделювання способів отримання класифікованих даних за багаторазовими вимірюваннями температури в приміщенні

№	Результати вимірювання температури, °C	20	20,5	20,5	21,5	21,5	22	22	22	22,5	22,5
1	Результати класифікації за максимумом перерізу	$T_2$	$T_2$	$T_2$	$T_3$	$T_3$	$T_3$	$T_3$	$T_3$	$T_3$	$T_3$
2	Результати класифікації за перерізом з усіма класами еквівалентності	$T_2 1$	$T_2 0,75$ $T_3 0,25$	$T_2 0,75$ $T_3 0,25$	$T_3 0,75$ $T_2 0,25$	$T_3 0,75$ $T_2 0,25$	$T_3 1$	$T_3 1$	$T_3 1$	$T_3 0,75$ $T_4 0,25$	$T_3 0,75$ $T_4 0,25$

Якщо при багаторазовому вимірюванні використовується НК з отриманням значень ступенів приналежності за всіма класами еквівалентності, то за отриманими нечіткими результатами треба побудувати узагальнену ФП результату багаторазового вимірювання температури. В таблиці 3 наведено результати моделювання.

Так, за результатами вимірювання, що наведені в першому рядку табл.3 нечіткий результат вимірювання, що характеризує розсіювання температури в приміщенні:  $T_2|0,3$ ;  $T_3|0,7$ .

За композицією (добутком) нечіткого результату вимірювання з оберненою матрицею шкали (табл.2) отримуємо:  $T_2'|0,32$ ;  $T_3'|0,54$ ;  $T_4'|0,14$ .

При побудові узагальненої ФП отримано за результатами класифікації (за другим рядком табл.3) отримуємо:  $T_2|0,3$ ;  $T_3|0,6$ ;  $T_4|0,1$ .

Після цього, результати вимірювань окремих параметрів (температури, вологості повітря, швидкості повітря, тощо) об'єднуються для оцінки відповідності приміщення встановленим нормам.

## ВИСНОВКИ

При використанні шкал з нечіткою лінгвістичною змінною повинні враховуватись похибки вимірювального каналу, які впливають на нечіткість функцій приналежності окремих термів лінгвістичної змінної. В роботі наведено приклад вимірювального каналу температури системи класифікації рівня відповідності параметрів мікроклімату житлових та промислових приміщень.

Розглянуто особливості побудови одновимірних шкал класифікації температури та вологості з урахуванням невизначеності вимірювання, вплив якої продемонстровано на матрицях відповідності шкали класифікації за умов довільного розташування результату вимірювання в області визначення окремого терму шкали класифікації.

На наочних прикладах розглянуто способи отримання результату класифікації при одноразових і багаторазових вимірюваннях температури при різних алгоритмах роботи нечіткого класифікатора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Коньшева Л.К., Назаров Д.М. «Основы теории нечётких множеств»: Учебное пособие. – Спб: Питер, 2011-192с.
- [2] Пегат А. «Нечёткое моделирование и управление» / пер. с англ.–М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009-789с.
- [3] Державні будівельні норми України. «Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Набрання чинності від 01.01.2014]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 140с.

*Наук. керівник – канд., доц., проф. Яремчук Н.А.*

УДК 53.088.228

З.В.Міхова, студент гр. ВВ-71мн  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

**Анотація.** Були запропоновані методики оцінювання індивідуальних метрологічних характеристик ЗВТ з урахуванням комплексу інструментальних характеристик: систематичної похибки, випадкової похибки, варіації і дрейфу.

**Ключові слова:** методики оцінювання, систематична похибка, випадкова похибка, дрейф, варіація, метрологічні характеристики.

### ВСТУП

Необхідність оцінювання метрологічних характеристик (МХ) обумовлена наступними причинами [1]: необхідністю визначення результатів вимірювань і розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірювань; розрахунку МХ каналів вимірювальних систем, що складаються з засобів вимірювальної техніки з нормованими МХ; оптимального вибору засобів вимірювань, необхідністю використання в якості контрольованих характеристик при контролі засобів вимірювань на відповідність встановленим нормам.

Тому створення методик оцінювання метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (МХ ЗВТ) як для одиничного екземпляру, так і типових ЗВТ, а також автоматизація процесу опрацювання результатів експериментальних досліджень та подання цих результатів у відповідності з сучасними вимогами є актуальним для промислової галузі України.

### АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

У відповідності з нормативно-технічними документами можуть бути оцінені (проконтрольовані) метрологічні і точнісні характеристики окремих екземплярів виробів (індивідуальні характеристики) і точнісні характеристики конкретного типу виробів (типові характеристики) [1].

На основі аналізу нормативно-технічних документів були проаналізовані та систематизовані МХ, які потрібні оцінювати для одиничного екземпляру і для типового ЗВТ.

Таблиця 1

<i>МХ для екземпляра</i>	<i>МХ для типу</i>
1. Статична характеристика перетворення - $f(x)$	-
2. Похибка, середньоквадратичне відхилення (СКВ) похибки, математичне очікування похибки	2. Межа допустимого значення похибки
3. Систематична складова похибки	3. Межа допустимого значення систематичної складової похибки, математичне очікування систематичної складової похибки, СКВ систематичної складової похибки
4. СКВ випадкової складової похибки	4. Межа допустимого значення СКВ випадкової складової похибки

<i>МХ для екземпляра</i>	<i>МХ для типу</i>
5.Варіація	5.Межа допустимого значення варіації
6.Дрейф вихідного сигналу	6.Допустиме значення дрейфу вихідного сигналу

Далі в статті розглядається індивідуальні МХ ЗВТ, обумовлені різними складовими похибки. Відповідно [1] похибка ЗВТ в загальному вигляді може складатися з наступних компонентів: систематичної складової похибки, випадкової складової похибки, варіації, дрейфа вихідного сигналу. Тому в статті запропоновано методики, що дозволяють оцінити похибку ЗВТ (і за можливості подати показ приладу з невизначеністю) для випадку наявності різних складових похибки даного ЗВТ.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Було виділено 9 методик, які дозволяють оцінити складові похибки, що є суттєвими для даного виду ЗВТ та поєднати їх з урахуванням сучасних вимог. Процес проведення розрахунків автоматизовано за допомогою використання платформи LabVIEW 11.

Таким чином створено методики, які враховують наявність ЗВТ наступних складових:

1. Сумарної похибки  $\Delta_{\Sigma}$  (без поділу).
2. Систематичної похибки  $\Delta_s$ .
3. Систематичної похибки  $\Delta_s$  та випадкової похибки  $\sigma[\Delta_s]$ .
4. Систематичної похибки  $\Delta_s$  та варіації  $H$ .
5. Систематичної похибки  $\Delta_s$  та дрейфа  $d$ .
6. Систематичної похибки  $\Delta_s$ , випадкової похибки  $\sigma[\Delta_s]$  та варіації  $H$ .
7. Систематичної похибки  $\Delta_s$ , випадкової похибки  $\sigma[\Delta_s]$  і дрейфа  $d$ .
8. Систематичної похибки  $\Delta_s$ , варіації  $H$  та дрейфа  $d$ .
9. Систематичної похибки  $\Delta_s$ , випадкової похибки  $\sigma[\Delta_s]$ , варіації  $H$  та дрейфа  $d$ .

Розглянемо докладніше на прикладі методики 3, яка дозволяє врахувати наявність систематичної та випадкової похибок ЗВТ. В методиці передбачено застосування еталонного ЗВТ для оцінювання МХ досліджуваного ЗВТ.

Вхідними даними для проведення дослідження є:

- Точки діапазону, в яких проводиться дослідження. Для випадку відсутності варіації обирають точки, що відповідають 0, 25, 50, 75, 100% діапазону вимірювань (перетворень).
- Кількість вимірювань в кожній точці. Нами обрано 10 вимірювань.

Виходячи від границі вимірювання досліджуваного ЗВТ (яка вводиться в програмний компонент) проводиться розрахунок референтних значень вимірюваної величини в досліджуваній точці.

Після проведення дослідження в програму заносять результати показів досліджуваного та еталонного ЗВТ, отримані в цих точках.

## МЕТОДИКА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Розрахунок відхилення показів досліджуваного ЗВТ від показів еталонного ЗВТ в кожній точці,  $\Delta_{ji}$ :

$$\Delta_{ji} = X_{\text{досл } ji} - X_{\text{ref } j}, \quad (1)$$

де  $X_{\text{досл } ji}$  - показ досліджуваного ЗВТ в  $j$ -тій точці діапазону; дослідження проводиться  $n$  раз,  $i=1,2,3\dots n$ ,  $X_{\text{ref } j}$  - показ еталонного ЗВТ в  $j$ -тій точці діапазону.

2. Розрахунок систематичної похибки:

$$\Delta_{sj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{ji}, \quad \text{де } n - \text{кількість вимірювань в точці діапазону.} \quad (2)$$

3. Розрахунок середньоквадратичного відхилення (СКВ) в кожній точці діапазону:

$$\sigma[\Delta_j] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\Delta_{ji} - \Delta_{sj})^2}, \quad (3)$$

4. Оцінювання максимального значення систематичної похибки за діапазоном:

$$\Delta_{s \max} = \max_{j=1\dots k} \{\Delta_{sj}\}, \quad \text{де } l - \text{кількість точок по діапазону.} \quad (4)$$

5. Оцінювання максимального значення СКВ за діапазоном:

$$\sigma_{\max} = \max \sigma[\Delta_j] \quad (5)$$

6. Оцінювання сумарної похибки (розрахунок розширеної невизначеності показу ЗВТ). Враховуючи те, що ми маємо систематичну складову та СКВ випадкової складової, то оцінювання сумарної похибки (розрахунок розширеної невизначеності показу ЗВТ) можливе в двох варіантах:

- Якщо систематична складова не перевищує подвоєного СКВ випадкової складової похибки  $\Delta_s \leq 2\sigma[\Delta_s]$ , то ці складові можуть бути поєднанні за формулою:

$$\Delta_{\Sigma}(P=0,95) = \pm \max\{|\Delta_{s \max} + 2\sigma_{\max}[\overset{o}{\Delta}]|; |\Delta_{s \max} - 2\sigma_{\max}[\overset{o}{\Delta}]|\}, \quad (6)$$

де  $\Delta_{\Sigma}(P=0,95)$  - сумарна похибка ЗВТ з рівним довіри  $P=0,95$ .

В цьому випадку розширена невизначеність показу ЗВТ може бути обраною такою, що дорівнює цій сумарній похибці:

$$U(P=0,95) = \Delta_{\Sigma}(P=0,95), \quad (7)$$

- Якщо систематична складова перевищує подвоєне СКВ випадкової складової похибки  $\Delta_s > 2\sigma[\Delta_s]$ , тоді ці складові потрібно подавати окремо: зазначати систематичну складову (або зміщення), що дорівнює  $\Delta_{s \max}$  та випадкову складову  $\sigma_{\max}[\overset{o}{\Delta}]$ , яка може розглядатися як стандартна невизначеність показу ЗВТ  $u = \sigma_{\max}[\overset{o}{\Delta}]$ .

Запропоновані методики реалізовані у вигляді системи оцінювання МХ ЗВТ з використання платформи LabView 11 (на прикладі методики 3). На рисунку 1(а, б, в) зображені результати роботи системи.

Эталонное значение	0 крп	0,25 крп	0,5 крп	0,75 крп	1 крп
Исследованное значение (при проведении 10-ти измерений в точке)	1	2	3	4	5
	0,46682	25,3815	50,4766	75,5158	100,777
	-0,44851	25,6822	50,0881	75,8653	100,797
	-0,19061	25,4544	50,8437	75,5483	101,393
	-0,07121	24,841	50,4201	75,4636	100,798
	0,31680	25,1457	50,7459	75,9109	100,676
	0,28370	25,6382	50,2996	75,9711	100,556
	0,42432	25,1537	50,5711	75,8317	101,348
	0,46897	25,6335	50,0266	75,663	100,962
	0,00352	25,0341	50,6977	75,4124	101,167
	-0,0182	25,7296	50,5291	75,3464	101,386

Рисунок 1.(а) Вхідні данні для оцінювання складових похибки ЗВТ

Абсолютная погрешность в точке (при 10-кратном повторе)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,46682	0,38148	0,47656	0,51584	0,77710					
	-0,44851	0,69221	0,08812	0,86551	0,79701					
	-0,19061	0,45441	0,84567	0,94654	1,3949					
	-0,07121	-0,1590	0,42013	0,46356	0,78378					
	0,31680	0,14563	0,74585	0,91087	0,67604					
	0,28370	0,63821	0,29955	0,97105	0,55639					
	0,42432	0,13371	0,57114	0,83168	1,34817					
	0,46897	0,65331	0,02657	0,66299	0,96236					
	0,00352	0,03408	0,69766	0,41242	1,16709					
	-0,0182	0,72962	0,52910	0,34637	1,38612					

Рисунок 1.(б) Розрахунок абсолютної похибки за точками діапазону

Расчет средней погрешности	0,121561	0,37239	0,47004	0,69268	0,98509
СКО	0,31325	0,31313	0,27014	0,2408	0,31479
max (Расчет средней погрешности)	0,98509				
max (СКО)	0,31479				

Рисунок 1.(в) Розрахунок оцінок складових похибки ЗВТ

## ВИСНОВКИ

Запропоновано дев'ять методик оцінювання індивідуальних метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (МХ ЗВТ), які впроваджено при розробці системи оцінювання МХ ЗВТ. Дана система дозволяє швидко оцінити сумарну складову похибки ЗВТ у відповідності до сучасних вимог - із зазначенням розширеної невизначеності показу ЗВТ або зміщення та стандартної невизначеності ЗВТ в залежності від співвідношення між складовими похибки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [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] З.В.Михова. Оценивание неопределенности показаний средств измерительной техники при наличии комплекса инструментальных составляющих погрешности. XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», м. Київ, Україна.

*Наук. керівник – доцент Шведова В.В.*

## УДК 534.6

*О. В Учкін, студент гр. ВВ-81мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ**

**Анотація.** В роботі розглянуті допустимі рівні віброакустичних параметрів робочої зони. Завданням даної роботи є зниження впливу вібрації та шуму на здоров'є людини при перебуванні її в робочій зоні.

**Ключові слова:** робоча зона, шум, вібрація.

#### **ВСТУП**

Акустичний шум та механічна вібрація відносяться до поширених фізичних шкідливих факторів, що впливає на навколишнє середовище і здоров'є людини. Вимірювання параметрів цих факторів, їх нормування та контроль набувають все більшого значення: розроблені відповідні міжнародні та державні стандарти; розроблені стандарти, що встановлюють технічні вимоги на засоби вимірювання і їх перевірку; в термінологічних стандартах встановлені терміни та їх визначення, вимірювані величини, одиниці вимірювання і їх позначення.

Аналіз шумового режиму в усіх промислових індустріях України, показує, що відомі на сьогодні технічні, технологічні та організаційні можливості для зниження цього фактора на людину використовують недостатньо. Причиною цього є недооцінка впливу на здоров'є людини під час перебування в робочій зоні.[1]

Постійний вплив шуму є причиною багатьох захворювань головних систем життєзабезпечення людського організму – нервової та серцево-судинної. В умовах шумового навантаження підвищується нервова напруга, падає творча активність, знижуються продуктивність праці й ефективність відпочинку. Усе це робить шум великою проблемою суспільства.

Вимоги до шуму і вібрації встановлюють в трьох загальних технічних регламентах (на безпечну експлуатацію та утилізацію машин і устаткування, на біологічну та екологічну безпеку), в двох спеціальних технічних регламентах (про безпеку об'єктів технічного регулювання, необхідних для забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя на території України і про безпеку машин та устаткування, а також в спеціальних (галузевих) технічних регламентах про безпеку специфічних видів діяльності і специфічного обладнання.[2]

#### **ВЕЛИЧИНИ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ АКУСТИЧНОГО ШУМУ ТА ВІБРАЦІЇ, ОПОРНІ ЗНАЧЕННЯ**

Основні вимірювані величини і їх позначення, які використовуються для характеристики впливу акустичного шуму і вібрації в сучасних міжнародних стандартах, приведено в табл 1.

Методи їх вимірювання описані в понад 100 міжнародних і національних стандартах. Одиниці вимірю, що застосовуються в акустиці і вібрації, відтворюють державні еталони і передають їх за допомогою робочих еталонів робочим засобам вимірювання.[3]



Таблиця 1. Основні вимірювані величини, які використовуються для характеристики впливу акустичного шуму та вібрації

<i>№ n/n</i>	<i>Найменування</i>	<i>Позначення</i>
1	Рівень звукового тиску	$L_p$
2	Звуковий тиск	$p$
3	Інтенсивність звуку	$I$
4	Потужність звуку	$W$
5	Віброшвидкість	$v$
6	Вібропереміщення	$s$
7	Віброприскорення	$a$

Опорні значення величин:

- звуковий тиск  $2 \times 10^{-5}$  Па = 20 мкПа;
- інтенсивність звуку  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> = 1 пкВт/м<sup>2</sup>;
- потужність звуку  $10^{-12}$  = 1 пкВт;
- віброшвидкість  $5 \times 10^{-8}$  м/с;
- вібропереміщення 10-12 м;
- віброприскорення  $10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>.

Граничні допустимі рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в робочій зоні з урахуванням напруженості та тяжкості праці представлені в табл.2

Таблиця 2. Гранично допустимі рівні звуку, в дБА

<i>Категорія напруженості трудового процесу</i>	<i>Категорія тяжкості трудового процесу</i>				
	<i>легке фізичне навантаження</i>	<i>середнє фізичне навантаження</i>	<i>тяжка праця 1 ступеня</i>	<i>тяжка праця 2 ступеня</i>	<i>тяжка праця 3 ступеня</i>
Напруженість легкої ступені	80	80	75	75	75
Напруженість середньої ступені	70	70	65	65	65
Напружена праця 1 ступені	60	60			
Напружена праця 2 ступені	50	50			

## ВИСНОВКИ

В роботі були розглянуті основні вимірювані величини (табл.1), які використовуються при визначенні рівня впливу віброакустичних параметрів на організм людини при перебуванні в робочій зоні. Знайдені опорні значення цих величини в робочій зоні, а також були розглянуті гранично допустимі рівні звуку в робочій зоні з урахуванням напруженості та тяжкості праці (табл.2).

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Патент 78000 України, МПК Е 04 В 1/00. Спосіб зниження шуму вібраційних агрегатів для ущільнення бетонних сумішей / Ю. В. Богданов, В. В. Сафонов, І. М. Паращійко; заявник і патентовласник ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № 201207847; заявл. 26.06.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.
- [2] Осипов. Г.Л., Юдин Е.Я., Хюбнер Г. «Снижение шума в зданиях и жилых районах», – М.: Стройиздат, 1987 – 557с.
- [3] Вібраційні процеси та обладнання : навч. Посібник / за ред. В.О. Повідайло – Л., 2004. – 248с.

**Наук. керівник – доц. Мокійчук В. М.**

УДК 004.891:004.946:681.518.5

Б.М. Шуба, студент гр. ВВ-81мп, д.т.н., проф. Єременко В.С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Анотація.** В докладі представлена система для аналізу та синтезу інформаційних сигналів довільної форми із заданими характеристиками, які можуть використовувати в якості еталонних сигналів для налаштування дефектоскопів та систем діагностики.

**Ключові слова:** інформаційний сигнал, дискретне перетворення Хартлі, синтез, спектральні складові, LabVIEW, National Instruments .

### ВСТУП

Віртуальну міру для оцінювання характеристик досліджуваних об'єктів можна розглядати як образ сигналу або сигнального поля, отриманий з використанням імітаційної моделі, побудованої на основі апріорної інформації про закономірності зміни характеристик інформаційного сигналу при відповідній зміні стану досліджуваного об'єкта. Знання про характер змін інформаційних сигналів можуть бути отримані або експериментальним шляхом з використанням еталонних зразків (фізичних мір) або на основі математичного моделювання - побудови функціональної залежності зміни інформативної ознаки від зміни стану. Для побудови таких віртуальних мір розроблено систему аналізу і синтезу сигналів.

### СТРУКТУРА СИСТЕМИ

Структурну схему системи аналізу і синтезу сигналів із заданими характеристиками зображено на рисунку 1.

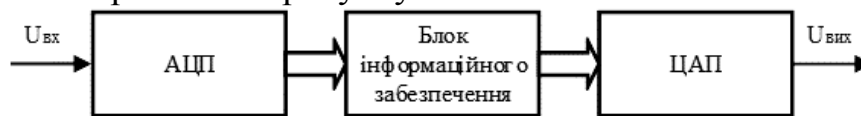


Рисунок 1. Структурна схема системи

Система складається з аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блока інформаційного забезпечення та цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

Вхідний сигнал подається на АЦП. В якості АЦП було використано 16-бітний модуль NI-9215. Він має 4 канали, діапазон напруги аналогового вводу  $\pm 10$  В, частоту дискретизації до 100 кВиб/с/канал. В якості ЦАП було використано 16-бітний модуль вихідної напруги NI-9263. Модуль має 4 канали виводу напруги в діапазоні  $\pm 10$  В. Максимальна частота оновлення вихідних значень складає 100 кВиб/с/канал. Модулі були розроблені компанією National Instruments.

Модулі скомпоновані в шасі CompactDAQ—сDAQ-9172, який використовує інтерфейс Hi-Speed USB 2.0. Його можна використовувати разом з модулями вводу-виводу для створення комбінації аналогових і цифрових ввідів-виводів, а також лічильників/таймерів [1].

Загальний вигляд системи зображено на рисунку 2.

Блок інформаційного забезпечення розроблено в середовищі візуального програмування LabVIEW 16 компанії National Instruments.

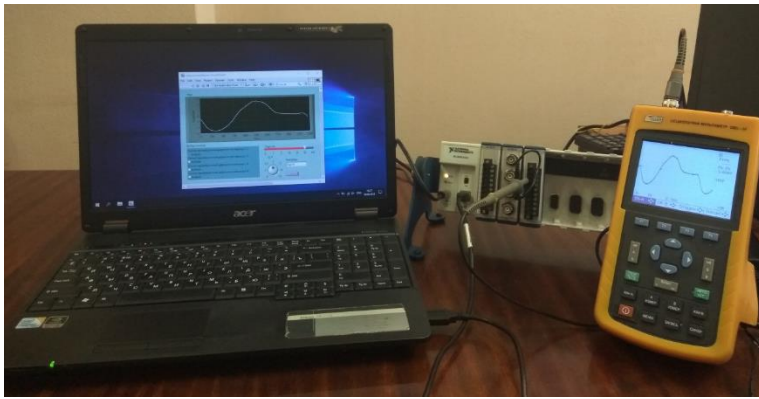


Рисунок 2. Загальний вигляд системи

Блок інформаційного забезпечення виконує функції:

- вибір інформаційних сигналів та отримання його спектральних складових в базисі Хартлі [2];
- пошук найбільш інформативних спектральних складових заданої кількості;
- відновлення

інформаційних сигналів по знайденим спектральним складовим;

- розрахунок значень середньоквадратичних похибок відновлених сигналів та пристовів питомих енергій сигналів;
- відновлення інформаційних сигналів за відібраними спектральними складовими, а також розрахунок середньоквадратичних похибок після відновлення.

Блок інформаційного забезпечення має такі інтерфейси користувача:

- вхідний інтерфейс для встановлення параметрів роботи АЦП;
- інтерфейс за допомогою якого проводиться аналіз і синтез інформаційних сигналів;

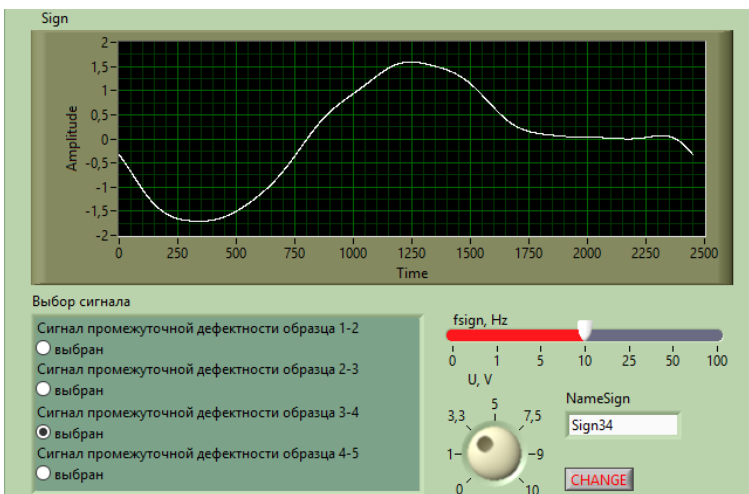


Рисунок 3. Інтерфейс для встановлення параметрів вихідних аналогових сигналів

- інтерфейс для аналізу зміни спектральних складових в залежності від номера сигналу, на основі якого буде відбуватись побудова інформаційних сигналів, які матимуть проміжну форму;

- інтерфейс для встановлення параметрів вихідних сигналів (напряга, частота, канал ЦАП, вибір сигналу)(рисунок 3).

## АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИГНАЛІВ

Інформаційні сигнали після аналого-цифрового перетворення за допомогою модуля NI-9215 поступають в блок інформаційного забезпечення, де відбувається представлення сигналу в базисі Хартлі, розрахунок питомого значення енергії кожної складової спектра, а також після кожної введеної складової розраховується приріст питомої енергії сигналу і середньоквадратична похибка відновлення [3].

Таблиця 1. Відбір спектральних складових для еталонного сигналу №1

№ по порядку	№ спектр. складової	Питома енергія складової	Приріст питомої енергії сигналу	Сер.квадратична похибка
1	3	0,418189	0,418189	0,235351
2	2448	0,190666	0,608855	0,192971
3	2450	0,183264	0,792119	0,14068
4	4	0,0821816	0,874301	0,109393
5	2447	0,0513677	0,925668	0,0841223
6	2	0,0310896	0,956758	0,064162
7	2445	0,0115289	0,968287	0,0549471
8	5	0,00860135	0,976888	0,0469075
9	2444	0,00568735	0,982575	0,0407291
10	2449	0,00234339	0,984919	0,0378915
11	8	0,00224515	0,987164	0,0349574
12	2441	0,00203757	0,989202	0,0320631
13	2442	0,00159821	0,9908	0,0295954
14	2438	0,00155945	0,992359	0,0269708
15	7	0,00138742	0,993747	0,0243995

Критерієм вибору кількості спектральних складових для відновлення інформаційних сигналів є середньоквадратична похибка. Було задано похибку 0,05. Для забезпечення цієї похибки найбільше спектральних складових слід задіяти при синтезі вхідного еталонного сигналу №1. А саме, 8 спектральних складових ранжируваних по питомій енергії вхідного еталонного сигналу №1 забезпечує похибку 0,047. Порівняння синтезованого по восьми спектральним складовим сигналу і вхідного сигналу зображений на рисунку 4.

Для подальшої обробки сигналу необхідно забезпечити використання однакових за номером спектральних складових. Для цього набір номерів спектральних складових вхідного еталонного сигналу №1 доповнюється номерами спектральних складових інших інформаційних сигналів. Цей набір номерів буде застосовуватись для кожного інформаційного сигналу. Отже, початкова кількість з 8 спектральних зростає до 11.

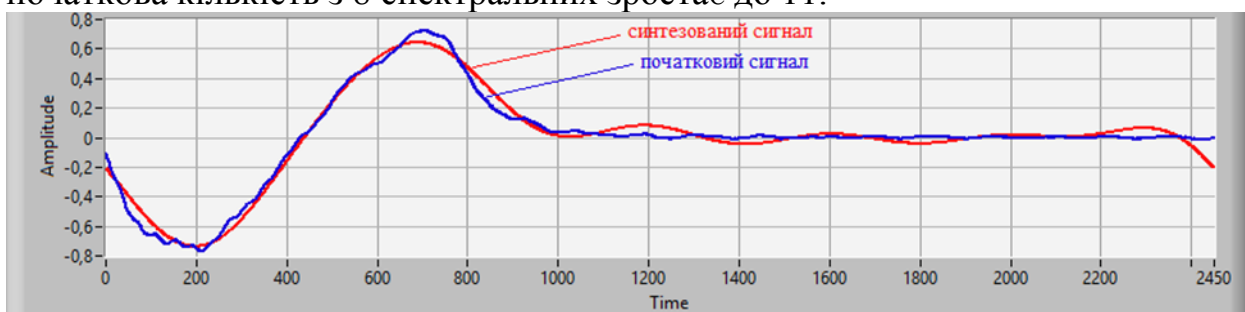


Рисунок 4. Початковий та синтезований по восьми спектральним складовим інформаційні сигнали

В таблицю 2 зведені значення спектральних складових за якими буде відбуватись відновлення інформаційних сигналів.

Лінійно проінтерполювавши значення спектральних складових з таблиці 2, отримуємо значення спектральних складових для побудови інформаційних сигналів, які відповідають проміжній формі сигналів. Для отримання таких сигналів, перетворюємо отримані спектральні складові за допомогою зворотного перетворення Хартлі.

Таблиця 2. Значення спектральних складових синтезованого сигналу

№ по порядку	№ спектр. складової	Вхідний еталонний сигнал				
		№1	№2	№3	№4	№5
1	2	-133,29	-347,288	-479,752	-334,199	-239,258
2	3	-488,851	-166,175	46,533	34,383	-20,053
3	4	-216,709	4,388	-9,689	-25,747	-18,712
4	5	70,109	-22,211	24,895	-12,58	-3,326
5	2443	1,966	32,18	10,674	9,323	4,395
6	2445	81,168	57,851	8,632	20,714	3,195
7	2446	26,563	10,293	34,356	20,965	5,089
8	2447	171,331	96,183	10,733	10,416	6,381
9	2448	330,086	23,134	27,889	55,095	15,504
10	2449	-36,594	295,081	299,737	125,679	22,599
11	2450	-323,615	-241,724	-133,243	-58,415	147,163

Приклад синтезованого сигналу з проміжною формою зображено на рисунку 5.

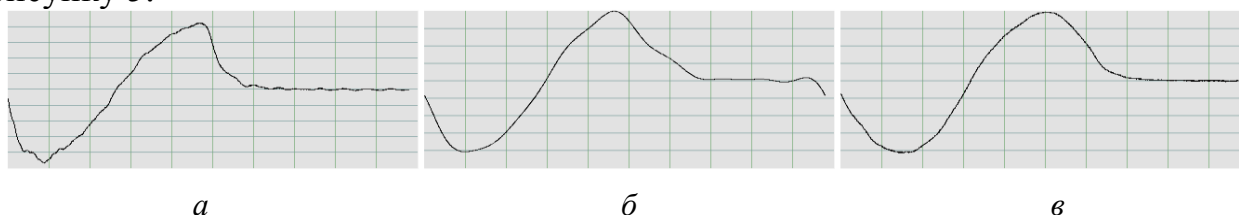


Рисунок 5. Вхідний еталонний сигнал №2 (а), сигнал проміжної форми (б) і сигнал №3 (в)

Система була використана для налаштування дефектоскопа і коригування його основних параметрів при неруйнівному контролю стільникових панелей методом низькошвидкісного удару.

## ВИСНОВОК

Розроблена система аналізу і синтезу сигналів із заданими характеристиками, завдяки покладеному в основу алгоритму, здатна побудувати множину інформаційних сигналів. Система виконує спектральний розклад отриманих інформаційних сигналів по базису Хартлі, що робить можливим провести аналіз сигналів та обробку для подальшого синтезу. Практична значущість розробленої системи полягає у тому, що виключає потребу проведення експериментів на реальних об'єктах, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496 с.
- [2] Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения / Р. Брейсуэлл; пер. з англ. А. И. Папкова. — М.: Мир, 1990. – 175с.
- [3] Виртуальный инструмент для анализа и синтеза моноимпульсных сигналов / Б. Н. Шуба // Эффективність інженерних рішень у приладобудуванні : збірник тез доповідей XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, лист. 2018 р. – К. : НТУУ«КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – С. 374–377.

**Секція 10.**  
**АВТОМАТИЗАЦІЯ**  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

## УДК 62-67

*В.А. Володарський, студент гр. ВМ-51-а, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ БАТАРЕЄЮ НА БАЗІ ОДНОКООРДИНАТНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРУ**

**Анотація.** Представлені матеріали, що описують склад та принципи функціонування розробляємої системи управління сонячною батареєю на базі однокоординатного сонячного трекеру для підвищення ефективності видобутку енергії.

**Ключові слова:** відновлювана енергія, галіоенергетика, фотоелектричні модулі, система стеження за Сонцем.

## **ВСТУП**

Станом на теперішній час в багатьох країнах світу спостерігається постійне зростання або відчутне коливання цін на нафтопродукти, газ та відповідну сировину. Це, безумовно, є підставою для розгляду способів отримання так званої відновлюваної (альтернативної) енергії. Відновлювана енергетика представляє собою комплекс найбільш перспективних технологічних рішень – вітро-сонячні системи, геліосистеми, теплові насоси та багато іншого – щодо генерації традиційної електричної або теплової енергії від енергій Сонця, вітру та природного стан ґрунту на поверхні Землі [1]. На даний час ці технології не достатньо поширені у порівнянні з традиційними способами, але становлять інтерес внаслідок абсолютної екологічності у виробництві без будь-яких шкідливих відходів та малого ризику заподіяння шкоди навколишньому середовищу, простоті в експлуатації, тривалого часу роботи систем, мінімального сервісного та технічного обслуговування, доступності і невичерпності ресурсів, економічної ефективності. Слід зазначити, що електрозабезпечення, гаряче водопостачання та опалення, які базуються на технологіях, пов'язаних з відновлюваною енергетикою, можливі без підключення до централізованої системи та мають достатньо високий рівень захисту від відключень електромереж та постійних перепадів напруги.

Наша країна безперечно має дуже великі перспективи щодо впровадження цього життєво необхідного та важливого ресурсу на споживчий ринок як для приватних осіб, так і для великих компаній, заводів і підприємств. За останні роки держава все більше сприяє розвитку даного перспективного напрямку, підтримуючи його дотаціями та необхідною законодавчою базою – успішно функціонує ринок мережевих станцій, всім відомий «зелений тариф», проводиться безліч виставок та форумів, розробляються програми на рівні державних, обласних та районних бюджетів по впровадженню даних технологій на соціальних об'єктах [2].

Серед десяти найбільш багатообіцяючих джерел енергії майбутнього варто звернути увагу на сонячну енергію або галіоенергетику. Сонячні електростанції – одні з найпоширеніших на планеті, оскільки вони, виробляючи електричний струм, використовують невичерпне джерело енергії – сонячне світло. У процесі вироблення електрики, вони не завдають жодної шкоди довкіллю. Першим практичним застосуванням сонячної батареї було живлення орбітальних супутників та інших космічних апаратів, але на сьогоднішній день більшість



фотоелектричних модулів використовують на промислових підприємствах та для видобутку електроенергії в побуті, а при необхідності ще й тепла для обігріву житлових приміщень та подачі гарячої води [3].

Отже, метою статті є представлення підходів щодо розробки системи управління сонячною батареєю на базі однокоординатного сонячного трекеру для підвищення ефективності видобутку енергії.

## **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

Результати дослідження з оцінки використання сонячного випромінювання для задач енергетики свідчать про економічну неефективність та комерційну непривабливість фотоелектричних модулів (ФМ) в умовах сучасної цінової політики. Досягнути зниження вартості виробництва електроенергії можливо двома способами: підвищенням ефективності видобутку енергії або зниженням вартості ФМ.

Зниження вартості ФМ реалізується шляхом здешевлення матеріалів галіоприймача або шляхом здешевлення виробництва (автоматичне виробництво ФМ).

Підвищення ефективності видобутку енергії, в свою чергу, можливо через:

- використання двосторонніх фотоелектричних підсилювачів, що незначно підвищують ефективність при значних підвищеннях цін;
- додавання концентраторів, які збільшують фото-віддачу, але при цьому спостерігається нагрівання фотоелементів, що негативно позначається на ККД та тривалості використання;
- застосування багатошарових фотоприймачів на гетеропереходах, але їх вартість вища ніж у звичайних, тому відношення ціна/ефективність фактично не змінюється;
- оснащення фотоелементів системою стеження за Сонцем, що дає найбільш прийнятне відношення ціна/ефективність.

Останній варіант на даному етапі розвитку сонячної енергетики найбільш актуальний. Кут падіння сонячних променів є головною величиною, що впливає на добуту потужність ФМ, – навіть при найбільш ефективній стаціонарній установці ФМ програє в видобутку потужності складає до 50 %, ніж при безперервному орієнтуванні на Сонце. Використовуючи системи стеження, можна змінювати кут нахилу ФМ протягом дня таким чином, щоб зберігати прямий кут падіння сонячних променів на його поверхню, що дозволяє збільшити кількість потужності, яка надходить, і, як наслідок, кількість потужності, що виробляється. Даний спосіб підходить для вже працюючих сонячних електростанцій – потрібно лише змінити опорну конструкцію.

До основного складу розробляємої системи управління увійшли:

1. Кроковий двигун для обертання сонячної батареї 28BYJ-48, який має достатню точність для сонячного трекеру, меншу ціну, ніж сервопривід і високу надійність.

2. Мікросхема ULN2003, що йде у комплекті з двигуном та використовується як драйвер.

3. Мікроконтролер Arduino, зокрема плата Arduino Nano, яка застосовується для управління процесом обертання крокового двигуна, роботою датчиків і визначення точки максимальної потужності. Перевагами даного мікроконтролера є простота інтерфейсу, швидкість обробки даних, набір портів вводу/виводу тощо.

4. Блок живлення, що реалізується підключенням через USB до джерела напруги 220 В.

Структурна схема системи управління сонячною батареєю на базі однокоординатного сонячного трекера представлена на рисунку 1.



Рисунок 1. Система управління сонячною батареєю на базі однокоординатного сонячного трекера

Оскільки система повороту сонячної батареї базується на обертанні валу крокового двигуна, при її першому запуску необхідно встановлювати точку відліку. Тобто, необхідна система, яка допоможе відслідковувати стан валу. Для цієї цілі необхідно використати будь-який датчик, при спрацьовуванні якого обертання валу зупиниться в потрібному положенні, і це положення можна буде прийняти за нульове (точка відліку). Точка відліку встановлюється програмним шляхом, відлік кроків двигуна ведеться від даного положення. Для встановлення точки відліку в розроблюваній системі використовується геркон SF1 і розташований на конструкції тримача сонячної батареї магніт [4]. Вал, обертаючись проти годинникової стрілки, «підводить» магніт до геркона, в результаті чого останній замикається і подає керуючий сигнал на мікроконтролер Arduino з метою зупинки вала двигуна і фіксації нульового положення. Порт аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера очікує замикання геркона SF1 і прийому сигналу. До тих пір, поки на даний порт не подається ніяких сигналів, він буде видавати випадкові значення перетворення, в результаті власних шумів і наведень із зовнішнього середовища. Для того, щоб цього уникнути, порт A0 підключається на землю через резистор R5 в 10 кОм, який використовується для обмеження струму. Без використання резистора в результаті «спрацьовування» геркона мікроконтролер замкнеться своїм внутрішнім джерелом живлення безпосередньо на землю і вийде з ладу як при

короткому замиканні. Після зупинки обертання валу, від прийнятої точки відліку відбувається наступний етап руху крокового мотору з метою пошуку максимуму вироблення. Керуючі сигнали з цифрових портів D4-D7 мікроконтролера надходять на порти IN1-IN4 драйвера крокового двигуна ULN2003. В свою чергу, отримуючи керуючі сигнали, які представляють собою логічні сигнали з високим або низьким значенням напруги, драйвер подає струм на обмотки статора крокового мотору 28BYJ-48, змушуючи обертатися ротор в потрібному напрямку на заданий кут з певною швидкістю. Потужність сонячної батареї складає 3 Вт, а напруга, що нею видається – до 15 В на холостому ході при яскравому сонячному світлі. Точка максимального видобутку енергії визначається по напрузі резистора R4, що зчитується АЦП з порту мікроконтролера. Залежно від опору навантаження значення, вимірювані АЦП, можуть перевищувати гранично допустимі значення. Також, оскільки АЦП мікроконтролера працює в діапазоні напруг від 0 до 4,1 В, використовується дільник напруги з резисторів R1-R4 номіналами по 12 кОм. Конденсатор C1, ємністю 1 мкФ, підключений паралельно до резистора R4, використовується як згладжувальний фільтр, щоб зменшити пульсацію напруги з сонячної батареї, яка має місце бути при використанні системи в приміщенні із штучним освітленням.

## **ВИСНОВОК**

Отже, завдяки розробленій структурній та розрахованій принциповій схемі, можливо виділити декілька переваг використання однокоординатного сонячного трекару, як способу генерації альтернативної енергії – мінімальний набір необхідних елементів та відносно мала вартість надають можливість розробити систему, що дозволить збільшити приріст видобувної енергії, як мінімум, на рівні 40 % у співвідношенні зі стаціонарними сонячними модулями. В перспективі планується розробка двокоординатного сонячного трекару на базі одноплатного комп'ютеру Raspberry Pi, що підвищить ефективність використання системи відслідковування сонця та дозволить виправити деякі недоліки однокоординатного трекару.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Альтернативні джерела енергії / Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> – 15.04.2019 р.
- [2] Зелений тариф 2019 / Sunsay Energy. – Режим доступу: [https://sunsayenergy.com/green?gclid=EAIaIQobChMIy4WX19Lk4QIVy5QYCh1f8Q8XEAAAYASAAEgJ1L\\_D\\_BwE](https://sunsayenergy.com/green?gclid=EAIaIQobChMIy4WX19Lk4QIVy5QYCh1f8Q8XEAAAYASAAEgJ1L_D_BwE) – 15.04.2019 р.
- [3] Галіоенергетика: загальні відомості, основні поняття, визначення / Helpiks – Режим доступу: <https://helpiks.org/3-51264.html> – 16.04.2019 р.
- [4] Геркони в схемах на МК / Nauchebe – Режим доступу: <http://nauchebe.net/2011/03/gerkony-v-sxemax-na-mk/> – 10.03.2019 р.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Добролюбова М.В.*

УДК 519.614

*Лівадіна А.Ю., студент гр. ВА-71-мн*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ НА ОСНОВІ МЕТОДУ EIGENFACE**

**Анотація.** Стаття присвячена розробці автоматизованої системи ідентифікації особистості за зображенням на основі методу Eigenface.

**Ключові слова:** біометрика, розпізнавання обличчя, обробка зображень, власні вектори.

У сучасному світі існує величезна кількість технічних засобів і систем безпеки, які застосовуються для забезпечення охорони і захисту об'єктів. Метою побудови автоматизованої системи розпізнавання осіб є підвищення рівня безпеки.

На даний момент охоронні послуги для великого промислового об'єкта, офісної будівлі, банку або сховища цінних паперів важко уявити без сучасних систем контролю і управління доступом. Останнім часом великого поширення набули автоматизовані системи контролю та управління доступом (АСКУД). Особливе місце серед цілого класу АСКУД займають безконтактні системи. Безконтактні системи контролю доступу зручні як для великих офісних центрів, так і для невеликих контор.

З недавнього часу набули поширення технології, суть яких зводиться до застосування комп'ютерних систем, що використовують для розпізнавання особистості людини, її унікальних характеристик або параметрів. Такі системи контролю доступу отримали назву «біометричні». Серед виробників біометричних систем лідируючі позиції займають Bioscrypt, Recognition Inc., BioMet Partners. Перераховані фірми використовують відбиток пальця, кисть руки або їх комбінацію в якості ідентифікатора. Незважаючи на те, що контрольовані людські параметри є унікальними, існує поняття помилкової позитивної ідентифікації в разі, коли стороння людина може видати себе за «свого», доступ до ресурсів, що захищаються, якому відкрито. У зв'язку з вищевикладеним, актуальним завданням є розробка системи ідентифікації, яка б акумулювала гідності існуючих біометричних систем, а також виключала ймовірність спрацьовування помилкової ідентифікації людини.

Для побудови такої системи на основі аналізу існуючих біометричних систем та алгоритмів, за якими вони працюють, було обрано алгоритм Eigenface, оскільки даний алгоритм розпізнавання зображень, представлених комбінацією власних осіб, є відносно швидким, простим і практичним та має відносно високу точність розпізнавання.

Основна ідея алгоритму полягає в знаходженні «середнього обличчя», тобто узагальненого та усередненого варіанта всіх фотографій користувачів в базі даних. За допомогою отриманого «середнього обличчя» для кожної фотографії користувача знаходиться «власне обличчя», тобто різниця між фотографією і «середнім обличчям». Початкове «власне обличчя» являє собою ті риси обличчя, які рідше за все зустрічаються на інших зображеннях в базі даних. При отриманні

зображення на вхід системи обраховується його «власне обличчя» і порівнюється з кожним обличчя в базі даних за допомогою евклідової відстані [1].

Етапи обчислення Eigenfaces. Нехай  $S$  – множина зображень в навчальному наборі ( $\Gamma_1, \Gamma_2 \dots \Gamma_M$ ), необхідно

1. Обчислити середнє значення ( $\psi$ )

$$\psi = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Gamma_i \quad (1)$$

2. Знайти різницю між кожним тренувальним зображенням ( $\Gamma_i$ ) і середнім ( $\psi$ )

$$\Phi_i = \Gamma_i - \psi \quad (2)$$

3. Обчислити коваріаційну матрицю ( $C$ )

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Phi_i \cdot \Phi_i^T = A \cdot A^T \quad (3)$$

4. Знайти власне значення ( $\lambda$ ) і власний вектор ( $v$ ) за допомогою коваріаційної матриці ( $C$ )

$$Cv_i = \lambda_i \cdot v_i \quad (4)$$

5. Знайти значення ваги ( $\mu$ )

$$\mu_i = \sum_{k=1}^M v_{ik} \Phi_k \quad (5)$$

Наступні кроки розпізнавання:

1. Розрахувати значення ваги тестового зображення, виконавши 5 вищевказаних кроків.

$$w = u^T (\Gamma - \psi), \quad (6)$$
$$\Omega^T = (w_1, w_2, \dots, w_M)$$

2. Знайти найближчу евклідову відстань між вагами тестового зображення та кожного зображення в навчальному наборі.

$$\varepsilon_k = \|\Omega - \Omega_k\| \quad (7)$$

Якщо евклідова відстань перевищує певний поріг, обличчя класифікується як невизнане[2].

За даним алгоритмом була розроблена програма мовою програмування Java в середовищі IntelliJ IDEA.

Для тестування розробленої програми була сформована база даних, що складається з 20 осіб. Кожна особа має по 5 фотографій, що були зроблені при однаковому освітленні та в одному приміщенні. Тестування було проведено при різних умовах, а саме: зображення, що аналізується, присутнє в базі даних та є ідентичним; зображення, що аналізується, присутнє в базі даних, але не є ідентичним; зображення, що аналізується, відсутнє у базі даних.

Під час проведення тестів за умови, що зображення, яке аналізується, присутнє в базі даних, точність розпізнавання склала 100 %. Оскільки головні

компоненти тестового зображення та відповідного йому зображення з бази даних були однаковими, евклідова відстань між ними дорівнювала 0.

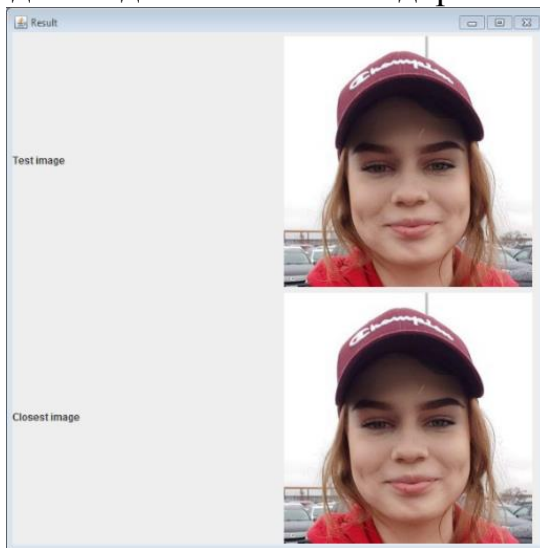


Рисунок 1. Результат тестування програми на мові програмування Java за умови наявності ідентичного зображення в базі даних

Перевірка другої умови теж дала непогані результати, але відмінні від 100 %. Такий результат можна пояснити наступним чином: головні компоненти, обраховані для тестового зображення, відрізняються від головних компонентів відповідного йому зображення в базі даних, в результаті чого їх різниця є відмінною від 0.

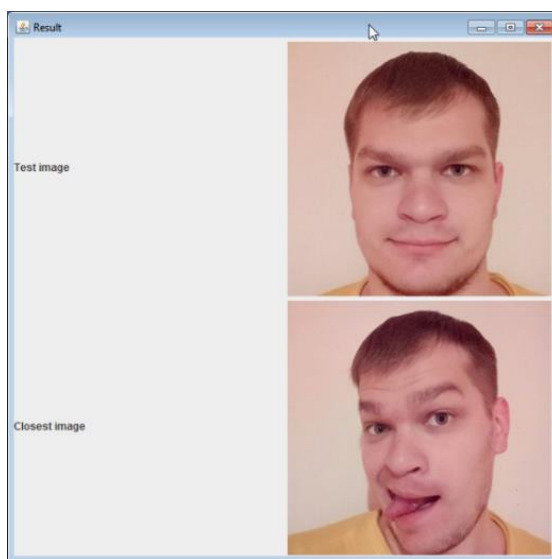


Рисунок 2. Результат тестування програми на мові програмування Java за умови відсутності ідентичного зображення в базі даних

Таблиця 1 – Евклідова відстань

Номер зображення	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Евклідова відстань, 1017	3.98	6.89	3.57	0.52	2.96	0.92	1.20	2.22	10.76	3.10
Номер зображення	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Евклідова відстань, 1017	3.16	2.15	13.09	1.61	2.23	2.17	1.01	2.76	2.34	4.3

Евклідова відстань показує належить вхідне зображення до вхідної бази даних чи ні. Чим більше дане значення, тим менше ймовірність приналежності

до існуючої бази даних. Як можна побачити в представленій таблиці, помилковими є результати саме в тому випадку, коли евклідова відстань складає більше 10.

Ідентифікація зображення, що відсутнє в базі даних, призвело до погіршення результатів тестування. Точність перевірки третьої умови склала 75 % (15 з 20). Результат тестування відображено на рисунку 3.

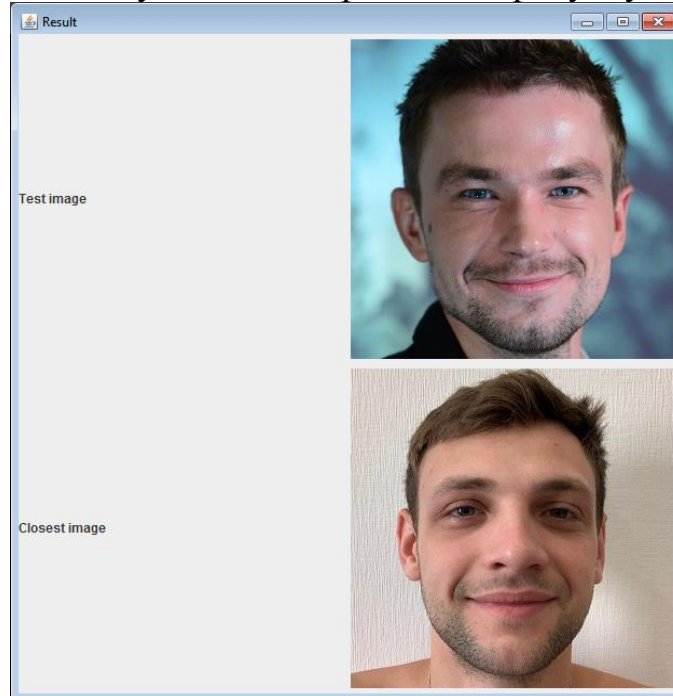


Рисунок 3. Результат тестування програми на мові програмування Java за умови відсутності зображення в базі даних

За результатами проведеного тестування можна зробити висновки щодо залежності точності розпізнавання алгоритму Eigenface від зовнішніх умов, а саме від:

- освітленості;
- якості фотографій;
- кількості різних, не типових фотографій, для кожної людини;
- загальної кількості людей в навчальній вибірці.

Розроблена програма, яка реалізує розпізнавання осіб за зображенням їх обличчя, є досить вигідним підґрунтям для стартапу. Можна зазначити, що у проекту є можливість комерціалізації, оскільки ринок даного товару не стоїть на місці.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Jolliffe, I. Principal component analysis. / I. Jolliffe. // John Wiley and Sons, 2002. — 13-16 p.
- [2] Turk, M. A. Face recognition using eigenfaces / M. A. Turk, A. P. Pentland // Computer Vision and Pattern Recognition. — 1991. — no. Proceedings CVPR'91., IEEE Computer Society Conference. — p. 586–591.

## УДК 681.518.3

*Д.М. Семенко, студент гр. ВМ-51-1, О.В. Стаценко, к.т.н., доц.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ**

**Анотація.** Дана стаття присвячена визначенню особливостей побудови енергоефективних систем керування вентиляцією офісних приміщень. В статті проаналізовані основні можливості енергозбереження з використанням систем вентиляції та визначені основні задачі, які потрібно вирішити для побудови енергоефективної автоматизованої системи керування вентиляцією.

**Ключові слова:** системи вентиляції, енергоефективність, автоматизоване керування.

#### **ВСТУП**

Більшу частину свого часу людина проводить в офісі на своєму робочому місці. Отже, проблема очищення повітря в офісному приміщенні досить актуальна на сьогоднішній день. Одним з основних параметрів мікроклімату, який визначає вимоги до систем вентиляції, є якість повітря в приміщенні. Цей параметр визначається вмістом в повітрі забруднюючих речовин [1]. Для житлових та адміністративних приміщень одним з основних забруднювачів є вуглекислий газ. Також теплові надлишки від освітлення, комп'ютерного обладнання, людей та сонячного випромінювання, змінна присутність людей. Повітряний комфорт людини в закритому приміщенні визначається якісною характеристикою кімнатного повітря, яка багато в чому залежить від кількості надходить свіжого атмосферного повітря і його чистоти. Якість повітря характеризується ступенем концентрації вуглекислого газу, наявністю запахів, тютюнового диму, алергенів, токсичних випарів і т. д. Вона підтримується системами припливно-витяжної вентиляції, керованими за допомогою датчиків якості повітря.

Системи вентиляції забезпечують обмін повітря в приміщенні для видалення надлишків теплоти, вологи, шкідливих та інших речовин з метою забезпечення допустимих параметрів мікроклімату [2]. В залежності від призначення приміщення вимоги до організації вентиляції суттєво відрізняються [3].

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.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використовуючи системи вентиляції можна досягти економії як теплової енергії, так і електричної. Економія теплової енергії досягається за рахунок використання систем рекуперації тепла. Особливо це вигідно протягом холодної пори року, коли значна частина теплової енергії може втрачатися під час вентилявання.

Разом із збереженням теплової енергії неабияку роль відіграє збереження електроенергії. Електрична енергія, споживана насосними, вентиляційними і компресорними установками, становить значну частину від загальної витрати електроенергії. Дослідження показують, що в промисловості і при експлуатації будівель, 72% електроенергії споживається електродвигунами, причому 63% від цієї величини використовується для приводу насосів, вентиляторів і компресорів. Традиційні способи управління витратою або тиском полягають у зміні ефективного поперечного перерізу трубопроводу або повітряного тракту, по якому відбувається переміщення текучого середовища. Найбільш часто для цих цілей використовуються клапани, засувки та вентилі.

Будь-який вентилятор має свої характеристики напору від подачі. Ця характеристика вказується виробником для кожного конкретного вентилятора і має вигляд приблизно як на наведеному рисунку 1 [4]. На ньому показано залежність тиску від подачі.

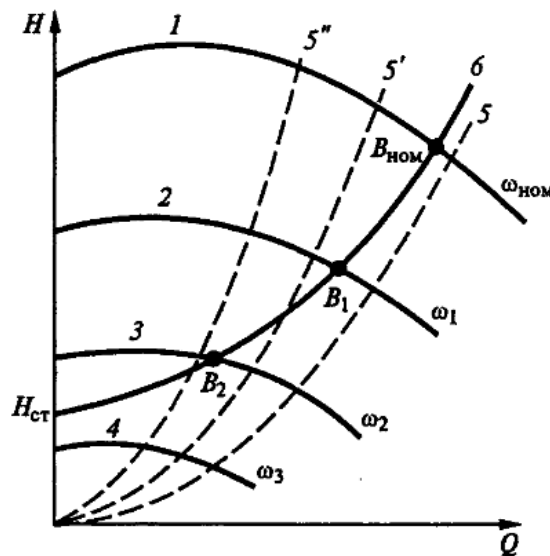


Рисунок 1. Характеристики напору від подачі вентилятора.

На рисунку 1 показані характеристики нагнітача при різних значеннях частоти обертання (криві 1, 2, 3, 4). Кількість поданого повітря прямо пропорційна швидкості обертання вентилятора, а потужність пропорційна кубу швидкості обертання:

$$Q \sim \omega; \quad N \sim \omega^3;$$

$Q$  – подача повітря,  $\omega$  - швидкість обертання вентилятора,  $N$  – потужність.

Це обумовлює можливість енергозбереження при зміні кількості повітря за рахунок зміни швидкості обертання вентилятора. Якщо не змінюються параметри системи вентиляції, то ККД вентилятора залишається сталим

(пунктирні лінії на рисунку). Найбільш суттєва економія енергії може бути отримана при використанні частотно-регульованого приводу[5]. Потенціал енергозбереження в цьому випадку дуже великий, особливо в приміщеннях, де кількість людей змінюється, і різниця між високим і низьким навантаженням вентиляційної системи значна.

Автоматизація керування такої системи вентиляції передбачає вирішення цілого ряду питань, які пов'язані із визначенням рівня CO<sub>2</sub> в повітрі, з розрахунком необхідної швидкості обертання вентилятора та регулювання цього параметру, що здійснюється за допомогою перетворювача електричної енергії, який забезпечує живлення приводу вентилятора. Крім того, потребує окремого вирішення задача вибору оптимального алгоритму керування електричним двигуном вентилятора по критерію мінімізації втрат[6].

## **ВИСНОВКИ**

В роботі розглянуті особливості побудови вентиляції офісних приміщень. Визначено, що реалізація автоматичного керування вентиляцією за потребою дозволяє зменшити споживану електричну енергію цими системами, а відтак підвищити їх енергетичну ефективність. Показано, що найбільш ефективним підходом до економії електричної енергії в цих системах є використання частотно-регульованого електроприводу вентилятора.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: ГОСТ 30494-2011 — [Введ. в дію 01.01.2013] — Межгосударственный стандарт, 1994. — 191 с.
- [2] Системи вентиляції. Терміни та визначення: ДСТУ 2388-94. — [Введ. в дію 17.04.1995]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 49 с. — (Національний стандарт України).
- [3] 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).
- [4] Белов М.П. - Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / Белов М.П. //, 2011 С. 218.
- [5] Leonhard W. Control of electrical drives / Leonhard W. – Springer, 2001. – 470 p.
- [6] Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / [Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін.]; під ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Стаценко О.В.*

УДК 621.317

О.В. Токаренко, студент гр. ВМ-51-1, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПОХИБКА ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ІМІТАНСУ

**Анотація.** Для визначення витрат палива в літаках використовуються параметричні ємнісні датчики. Такі датчики виконуються у вигляді циліндричного коаксіального конденсатора. Модель датчика може бути представлена у вигляді електричного двополюсника, який складається з паралельно включених ємності  $C_x$  (інформативний параметр) і резистору  $R_x$  (паразитний параметр). Вимірювання дистанційні. При цьому виникає додаткова складова похибки вимірювання імпедансу із-за ємності з'єднуючих дротів. Наведено аналіз похибки дистанційного визначення імпедансу датчика.

**Ключові слова:** імпеданс, дистанційні вимірювання, амплітудна похибка, фазова похибка.

### ВСТУП

Для визначення рівня палива в баках літаків (паливо-вимірювальна система) використовуються параметричні ємнісні датчики [1]. Такі датчики виконуються у вигляді циліндричного коаксіального конденсатора. Модель датчика може бути представлена у вигляді електричного двополюсника, який складається з паралельно включених ємності  $C_x$  (інформативний параметр) і резистору  $R_x$  (паразитний параметр). Опір резистору залежить від якості палива та впливає на результати виміру  $C_x$ . За параметром  $C_x$  визначають рівень палива в баках літака. Такий датчик за допомогою двох відрізків екранованих дротів, підключено до вимірювального перетворювача імпедансу  $\dot{Z}_x$  в напругу  $\dot{U}_x$ . За напругою  $\dot{U}_x$  визначаються параметр  $C_x$ . При цьому виникає додаткова складова похибки вимірювання імпедансу із-за ємності з'єднуючих дротів.

### МЕТА РОБОТИ

Метою статті є аналіз похибки дистанційного визначення імпедансу ємнісного датчика із-за шунтуючого впливу ємності з'єднуючих дротів.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1 наведена спрощена схема перетворення імпедансу датчика в напругу  $\dot{U}_x$ .

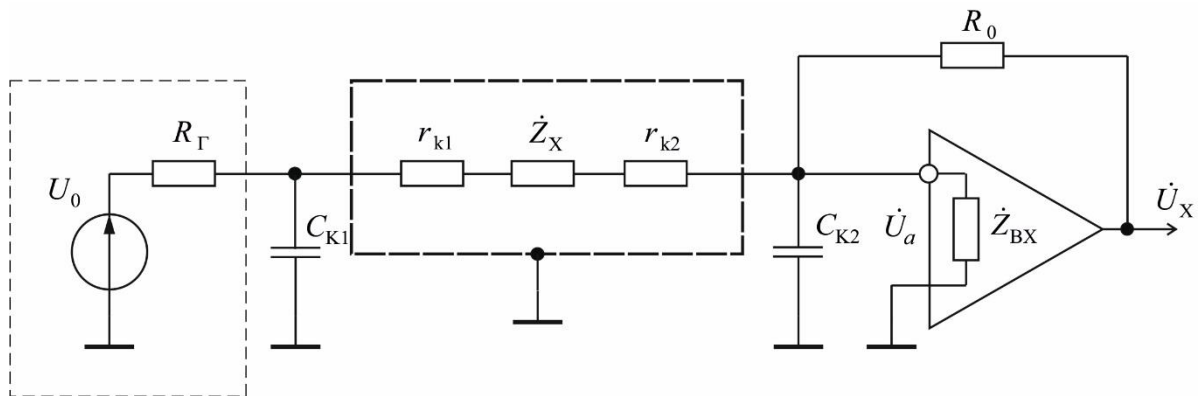


Рисунок 1. Схема перетворення імпедансу  $\dot{Z}_x$  в напругу  $\dot{U}_x$

На рисунку тонкою пунктирною лінією виділено джерело випробувальної синусоїдальної напруги  $\dot{U}_0$ ;  $R_\Gamma$  – внутрішній опір джерела напруги;  $C_{k1}$ ,  $C_{k2}$  – ємності екранованих дротів  $r_{k1}$ ,  $r_{k2}$  – активні опори, які вносять з'єднувальні дроти;  $\dot{Z}_{BX}$  – вхідний опір ОП;  $R_0$  – опір резистору у зворотному зв'язку ОП схеми перетворення струму через  $\dot{Z}_X$  (режим заданої напруги на  $\dot{Z}_X$ ) у вихідну напругу  $\dot{U}_X$ . На інвертуючому вході ОП за рахунок зворотного зв'язку підтримується нульова напруга («віртуальна земля»), вхідний опір такої схеми дорівнює нулю.

Датчик і з'єднувальні дроти екрановано (товста пунктирна лінія). В якості екранованих з'єднувальних ліній може бути використаний коаксіальний кабель. Наприклад, кабель типу РК має такі параметри:  $r_0 = 5,2 \cdot 10^{-3}$  Ом/м – опір відрізка довжиною 1 м на постійному струмі;  $C_0 = 1 \cdot 10^{-10}$  Ф/м – ємність відрізка довжиною 1 м. Довжина кожного з двох відрізків кабелю може складати до  $l = 10$  м. На частотах до 10 кГц та при довжині до 10 м ємність коаксіальних кабелів може бути надана еквівалентною ємністю із зосередженими параметрами. При цьому зосереджені ємності кабелів приблизно дорівнюють  $C_0 \cdot l = 1 \cdot 10^{-9}$  Ф. Опори з'єднувальних дротів приблизно дорівнюють  $r_0 \cdot l = 5,2 \cdot 10^{-2}$  Ом.

Оцінімо вплив ємності з'єднуючих проводів  $C_{k2}$ . Вихідну напругу  $\dot{U}_X$  схеми (рис. 1) можна знайти розв'язавши вузлове рівняння

$$\dot{Y}_X(\dot{U}_0 - \dot{U}_a) + R_0^{-1}(\dot{U}_X - \dot{U}_a) - \dot{Z}_{BX}^{-1} \cdot \dot{U}_a - \dot{U}_a \cdot j\omega C_K = 0, \quad (1)$$

де  $\dot{U}_a$  – напруга на інвертуючому вході ОП;  $\dot{Y}_X = \frac{1}{\dot{Z}_X}$ ;  $\dot{U}_a = -\frac{\dot{U}_X}{\dot{K}(j\omega)}$ . Коефіцієнт

підсилення ОП  $\dot{K}(\omega) = \frac{K_0}{1 + j\omega\tau_{OP}}$  (для частотно-скоригованих ОП модель у

вигляді інерційної ланки першого порядку), де  $K_0$  – коефіцієнт підсилення на частоті  $\omega = 0$ ,  $\tau_{OP}$  – еквівалентна постійна часу моделі ОП,  $\omega = 2\pi f$  – кутова

частота. Постійна часу  $\tau_{OP} \approx \frac{K_0}{2\pi f_1}$ , де  $f_1$  – частота одиничного підсилення.

Розв'язавши (1), отримаємо рівняння перетворення  $\dot{Y}_X \rightarrow \dot{U}_X$ :

$$\begin{aligned} \dot{U}_X(\omega) &= -U_{m0} R_0 \dot{Y}_X(\omega) \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_1} [1 + \dot{Y}_X(\omega) R_0 + \dot{Z}_{BX}^{-1}(\omega) R_0 + j\omega C_K R_0]} = \\ &= -U_{m0} R_0 \dot{Y}_X(\omega) [1 + \dot{\delta}(\omega)], \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\dot{Y}_X = 1/\dot{Z}_X$  – комплексна провідність  $R_X, C_X$ -кола,  $\omega_1 = 2\pi f_1$ .

$$1 + \dot{\delta}(\omega) \cong 1 - j \frac{\omega}{\omega_1} [1 + \dot{Y}_X R_0 + \dot{Z}_{BX}^{-1} \cdot R_0 + j\omega C_K \cdot R_0] = [1 + \gamma_k(\omega)] \cdot e^{j\Theta(\omega)}, \quad (3)$$

де  $\gamma_k(\omega)$  – амплітудна складова похибки перетворення імітансу  $\dot{Y}_X \rightarrow \dot{U}_X$ ,  $\Theta(\omega)$  – фазова складова похибки перетворення. Якщо використовуємо ОП на польових транзисторах, то  $|\dot{Z}_{BX}|^{-1} R_0 \rightarrow 0$ .

$$\gamma_k(\omega) = \frac{\omega}{\omega_1} [\omega C_X R_0 + \omega C_K R_0] + 0,5 \left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \left\{ (\omega C_X)^2 R_0^2 + [1 + R_X^{-1} R_0]^2 + 2\omega C_K R_0^2 \omega C_X + \omega^2 (C_K R_0)^2 \right\}. \quad (4)$$

$$\Theta(\omega) = -\frac{\omega}{\omega_1} \left\{ 1 + R_X^{-1} R_0 - \frac{\omega}{\omega_1} (\omega C_X) R_0 [1 + R_X^{-1} R_0] - \frac{\omega^2}{\omega_1} C_K R_0 [1 + R_X^{-1} R_0] \right\}. \quad (5)$$

Аналіз похибок виконано за умовою, що ОП частотно-скоригований, а його модель першого порядку. Рівняння (4) і (5) показують, що, якщо в коло зворотного зв'язку ОП включений великий за значенням резистор, наприклад  $R_0 = 100$  кОм або  $R_0 = 1$  МОм, то похибки набувають максимального значення. При цьому відчувається у значній мірі вплив ємності з'єднань.

Вибір швидкодіючого та широкосмугового ОП за параметром  $\omega_1 = 2\pi f_1$  у схемі перетворення «імітанс-напруга» дозволяє зменшити похибку перетворення. Але підсилювачі, що мають більш широку частотну смугу підсилення, мають і більш складну динамічну модель – другого і вище порядку у діапазоні частот  $\omega \in [0, \omega_1]$ . Враховуючі ємнісний характер імітансу  $\dot{Z}_X$ , а також вплив ємності з'єднувальних кабелів, виникає проблема з забезпеченням стійкості ОП із від'ємним зворотним зв'язком у схемі перетворювача «імітанс-напруга» [3]. Тобто можливості зменшення таким чином похибки перетворення обмежені. Тому доцільним є використання частотно-скоригованих ОП та використання добре відомих методів корекції похибки перетворення.

Використання методу фазочутливого перетворення забезпечує роздільне визначення дійсної і уявної складової імітансу за напругою  $\dot{U}_X(\omega)$  [4].

$$U_{C_X} = \text{Im} \left\{ U_{m0} (R_X^{-1} R_0 + j\omega C_X R_0) (1 + \gamma_k(\omega)) e^{j\Theta(\omega)} \right\},$$

$$U_{R_X} = \text{Re} \left\{ U_{m0} (R_X^{-1} R_0 + j\omega C_X R_0) (1 + \gamma_k(\omega)) e^{j\Theta(\omega)} \right\}.$$

Якщо врахувати те, що  $e^{j\Theta(\omega)} = \cos\Theta(\omega) + j\sin\Theta(\omega)$ , а також  $\Theta(\omega) \ll 1$ , то приблизно одержимо  $e^{j\Theta(\omega)} \approx 1 + j\Theta(\omega)$ . Звідки остаточно маємо:

$$U_{C_X} = \omega C_X R_0 U_{m0} \left\{ [1 + \Theta(\omega) \text{tg} \delta_X] [1 + \gamma_k(\omega)] \right\} = \omega C_X R_0 U_{m0} \left\{ 1 + \Theta(\omega) \text{tg} \delta_X + \gamma_k(\omega) + Q_1 \right\}; \quad (6)$$

$$U_{R_X} = \frac{R_0}{R_X} U_{m0} \left\{ \left[ 1 - \frac{\Theta(\omega)}{\text{tg} \delta_X} \right] [1 + \gamma_k(\omega)] \right\} = \frac{R_0}{R_X} U_{m0} \left\{ 1 - \frac{\Theta(\omega)}{\text{tg} \delta_X} + \gamma_k(\omega) + Q_2 \right\}, \quad (7)$$

де  $Q_1, Q_2$  – складаються з добутку відносних похибок, тобто є величинами другого порядку малості.

## ВИСНОВКИ

Одержано аналітичні вирази амплітудної та фазової складових похибки перетворення схеми «імітанс-напруга». Наведено вплив амплітудної і фазової похибок на визначення параметрів еквівалентної схеми заміщення параметричного датчика у вигляді паралельного  $R_X, C_X$ -двополюсника. Показано, що вибір широкосмугових операційних підсилювачів на польових транзисторах дозволяє зменшити похибку перетворення. Але виникає проблема з забезпеченням стійкості ОП із від'ємним зворотним зв'язком у схемі перетворювача «імітанс-напруга». Тобто можливості зменшення таким чином похибки перетворення обмежені. Тому доцільними є розробка та використання методів корекції похибок перетворення.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В.М. Ванько, Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, та Ю.В. Яцук, за ред. проф. Є.С. Поліщука та проф. В.М. Ванька. Вимірювальні перетворювачі (сенсори), Львів, Україна, Львівська політехніка, 2015.
- [2] Походило Є.В. «Перетворювачі параметрів імітансних сенсорів в напругу», Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», №420, с. 104–109, 2001.
- [3] М.О. Гаврилюк, В.В. Хома, «Вплив ємності вхідного кабелю на стійкість активного перетворювача імітанс–напруга», Вимірювальна техніка та метрологія, Вип. 51, с. 49-50, 1995.
- [4] А.И. Мартяшин, К.Л. Куликовский, С.К. Куроедов, та Л.В. Орлова, под ред. А.И. Мартяшина. *Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей*, М.: Энергоатомиздат, 1990.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.*

**УДК 621.396**

*В.О. Хомич, студент гр. ВМ-51-1*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ GPS-МОНІТОРИНГУ**

**Анотація.** В розвинутих кранах GPS-моніторинг широко застосовується у житлово-комунальному хазяйстві, залізничних та вантажопасажирських перевезеннях, військовій сфері, сільському господарстві тощо. В роботі представлено огляд програмного забезпечення, яке використовується при створенні систем GPS-моніторингу.

**Ключові слова:** GPS-моніторинг, програмне забезпечення, OpenGTS

### **ВСТУП**

Сучасні системи GPS-моніторингу дозволяють в режимі реального часу відстежувати місцезнаходження об'єкта, що спостерігається. Для цього, він обладнується трекером - пристроєм, який за даними, отриманими з сигналів GPS-супутників, визначає своє місце розташування і за допомогою GSM і Інтернет передає ці дані на сервер. У свою чергу, сервер зберігає дані моніторингу та надає до них доступ. Завдяки цьому диспетчер або автоматична система може контролювати маршрут руху об'єкта спостереження, стежити за перебігом, швидкісним режимом, зупинками і стоянками, а також за даними датчиків стежити за режимами роботи двигуна, станом вантажу. Альтернативно, як трекер може бути використаний смартфон з GPS-приймачем і встановленим відповідним програмним забезпеченням.

### **СИСТЕМИ ДЛЯ GPS-МОНІТОРИНГУ**

GPS моніторинг здійснюється за допомогою системи глобального позиціонування GPS. Вона дає можливість бортовому навігаційного блоку визначити точні координати поточного місцезнаходження об'єкту. Разом з даними, отриманими від інших систем об'єкту і зовнішніх пристроїв, вони передаються на сервер по каналах GSM, а потім по мережі Інтернет на термінали диспетчерів. Сучасна система GPS моніторингу транспорту забезпечує практично миттєву передачу даних і дозволяє здійснювати безперервний контроль за кожною одиницею автопарку. Також її можливості можуть розширюватися за рахунок таких пристроїв, як комунікаційна панель, яка забезпечує зв'язок з водієм, "тривожна кнопка", підключення до CAN-шині, а також різних зовнішніх датчиків.

Системи GPS-моніторингу реалізуються декількома варіантами:

- на базі безкоштовних серверів GPS-моніторингу, такі як Live GPS Tracks [1], Freetrack [2], GPS-Trace Orange [3] тощо. Недоліком цього рішення є те, що дані моніторингу зберігаються короткий проміжок часу і немає ніяких гарантій їх конфіденційності і збереження.
- на базі платних серверів або серверного програмного забезпечення GPS-моніторингу, наприклад, Wialon [4], Vidis [5], GPS-Ukraine [6]. Недоліком даного рішення може бути вартість.
- сервер GPS-моніторингу на базі вільного програмного забезпечення. Прикладами такого рішення можуть бути OpenGTS [7] або Traccar [8]. Недоліки такого рішення - це потреба в окремому сервері і адміністраторі.

OpenGTS ( «Open GPS Tracking System») - перше open-source рішення, розроблене спеціально для моніторингу транспортних засобів в web-браузерах, використовуючи дані з GPS-приймачів. На сьогоднішній день OpenGTS введено в експлуатацію в 110 країнах по всьому світу [7]. OpenGTS розповсюджується під ліцензією Apache Software License 2.

OpenGTS підтримує збір і зберігання даних GPS-моніторингу і включає в себе наступні функції:

- Web-аутентифікація. Кожний обліковий запис може підтримувати кілька користувачів, і кожен користувач має свій власний пароль користувача і контрольований доступ до розділів, що належать до їх облікового запису.
- підтримка великої кількості GPS-трекерів.
- робота з декількома картографічними сервісами: OpenLayers, Google Maps, Microsoft Virtual Earth і Mapstraction.
- кросплатформеність.
- підтримка багатьох мов мов.

Також на базі OpenGTS створений комерційний продукт - "GTS Enterprise", функціонал якого ще ширше, в основному, за рахунок більшої кількості підтримуваних пристроїв.

OpenGTS повністю написаний на Java. OpenGTS використовує такі технології, як Apache Tomcat для розгортання web-служби, MySQL для сховища даних. Таким чином OpenGTS буде працювати на будь-якій системі, яка підтримує ці технології. На рис. 1 зображено архітектуру системи.

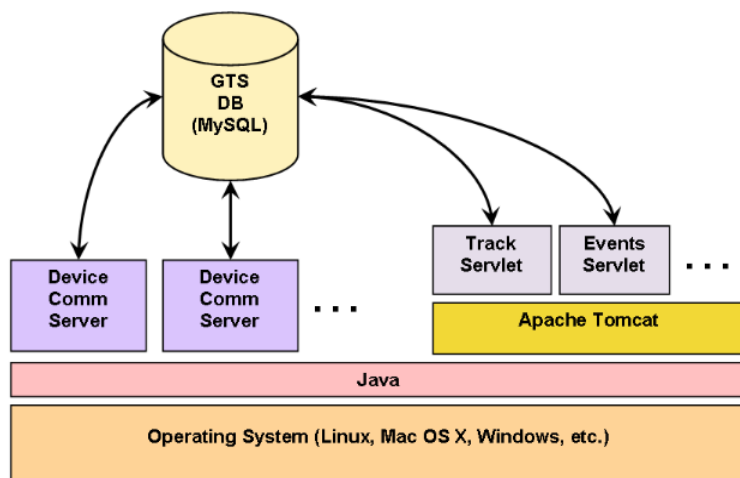


Рисунок 1. Програмна архітектура OpenGTS [7]

Traccar - система з відкритим вихідним кодом для GPS моніторингу різних об'єктів. На даний момент сервер підтримує більше 30 різних протоколів. Версії, починаючи з 1.0, включають вбудований HTTP-сервер і веб-інтерфейс для відстеження пристроїв. Однією з основних місій проекту є підтримка максимальної кількості пристроїв стеження. Traccar написаний на мові Java, що дає можливість запускати продукт практично на будь-яких ОС. Вихідні коди доступні в репозиторіях. Також на сайті [9] доступні інструкції по інсталяції та налаштування. Traccar - програмне забезпечення, яке розповсюджується під ліцензією Apache License 2.0.



За базу даних використовується вбудована H2 Database, інтерфейс створений на ExtJS і Google Maps API, HTTP-запити обробляє Jetty контейнер. Є можливість інтеграції з OpenGTS-системами.

Підводячи підсумки, можна сказати, що існує досить функціональне вільне програмне забезпечення для створення систем GPS-моніторингу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Л. В. Крупельницький, «Характеристики і структури багатоканальних АЦ-систем, що самокорегуються, для аналізу аудіо сигналів,» на V Міжнар. наук.-практ. конф. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації, Вінниця, 2016, с. 129-133.
- [2] Arkadiy Sedov, «Огляд сфер використання БПЛА в повсякденному житті», [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.50northspatial.org/ua/uavs-everyday-life/>
- [3] И. А. Липкин, Спутниковые навигационные системы. Москва: Россия: Вузовская книга, 2001, 86 с.
- [4] Е. М. Козловский, Искусство позиционирования. Москва, Россия: Вокруг света, 2006, 280 с.
- [5] О. І. Черняк, «Потокові методи і засоби повнофункціональної побітової арифметики зі зменшеними витратами обладнання,» дис. канд. техн. наук., фак-т інфор. техн. і комп. Інженер., Він. нац. техн. ун-т, Вінниця, 2013. - 20 с.
- [6] Developer's Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developers.google.com/apiclient-library/java/google-api-java-client/dev-guide>.
- [7] Java client library for Google Maps API Web Services [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/googlemaps/google-maps-services-java>. Дата звернення: 26.08.18.
- [8] SkyRiver [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://skyfleet.com.ua/>.
- [9] Система пошуку маршрутів громадського транспорту EasyWay [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eway.in.ua/>.
- [10] О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, О. І. Черняк, та В. В. Залізецький «Система дистанційної колективної самопідготовки,» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. №2(36), с. 15-20, 2016. ISSN 1999-9941, «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ», 2018, № 2 15
- [11] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, В. В. Залізецький «Програмне забезпечення для віддаленого виділення цілої і дробової частин чисел у кодах золоті пропорції,» на VI Міжнар. наук.-практ. конф. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації, Вінниця, 2017. – с. 163-166

*Наук. керівник – асистент, Козир О.В.*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

**«ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ  
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»**

15-16 травня 2019 р.  
м. Київ, Україна

**ЗБІРНИК ПРАЦЬ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Підписано до друку 08.05.2019 р. Формат 60x84 1/16.  
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 30.65. Тираж 100 прим.

ТОВ «Центр учбової літератури»  
вул. Лаврська, 20 м. Київ

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції ДК № 2458 від 30.03.2006 р.