

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ



*Інженерна Компанія*

**ТЕХНОПОЛІС**



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

# **"ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ"**

10-11 грудня 2019 р.

м. Київ, Україна

## **Збірник праць конференції**



КИЇВ 2019

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 136 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

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

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10/19 від 25.11.2019 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.  
Матеріали представлені в авторській редакції.

ISBN 978-611-01-1689-3

Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ”, 10-11 грудня 2019 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – 546 с.

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

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Гавриш Олег Анатолійович — д.т.н., проф., декан ФММ
3. Войтко Сергій Васильович — д.е.н., проф., зав. кафедри міжнародної економіки
4. Стефан Кирилов Картунов — д. інж. наук., проф., Технічний Університет Габрово, Болгарія
5. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф., зав. кафедри ООЕП
6. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри ПСОН
7. Гераїмчук Михайло Дем'янович — д.т.н., проф., зав. кафедри ПБ
8. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф., зав. кафедри ПСНК
9. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри НАЕПС
10. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
11. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф., зав. кафедри АЕД

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

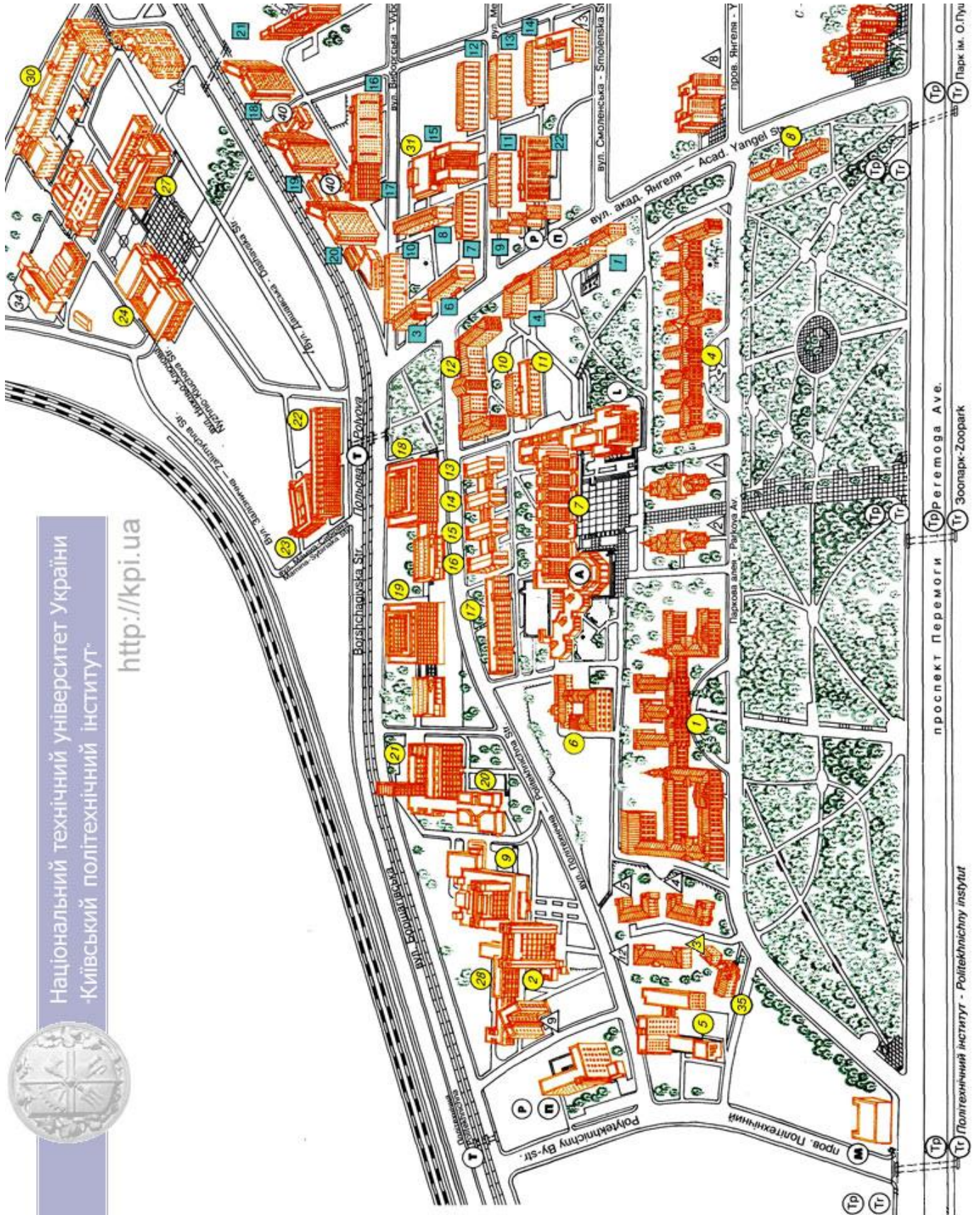
1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету
2. Цаприка М.О. — студент ПБФ, заст. голови комітету
3. Платов І.М. — студент ПБФ, секція №1
4. Басюк Г.П. — студентка ПБФ, секція №2
5. Третяк О.В. — студентка ПБФ, секція №3
6. Василюк В.В. — студент ПБФ, секція №4
7. Артемчук В.І. — студентка ПБФ, секція №6
7. Ванджура А.Р. — студентка ПБФ, секція №7
8. Проскуренко Д.М. — студент ПБФ, секція №8
9. Максимчук А.І. — студентка ФММ, секція №9
10. Булавко Н.О. — студент ПБФ, секція №10
11. Бурлака Д.А. — студентка ПБФ, секція №11





Національний технічний університет України  
-Київський політехнічний інститут

<http://kpi.ua>





## *Шановні учасники*

XV науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених  
«Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» !

Цього року ми проводимо вже П'ЯТНАДЦЯТУ науково-практичну конференцію, яка успішно з 2005 року відбувається за підтримки керівництва факультету менеджменту та маркетингу та приладобудівного факультету. Така спільна міжфакультетська конференція, окрім наукової складової, надає можливість ще розвинути інженерію та економічні знання студентів, аспірантів і молодих вчених з метою вдалої комерціалізації розроблених приладів як на національному, так і на міжнародних ринках.

Цілями цього заходу, окрім наукової складової, є обговорення актуальної проблематики приладобудування, дискусії навколо розроблення новітніх приладів, захисту прав на об'єкти інтелектуальної власності (на прилади), і, як зазначалося вище, можливостей успішної комерціалізації приладів і їх компонентів на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Отримання студентами компетенції з комерціалізації стартапів надає змогу студентам і аспірантам, як майбутнім висококваліфікованим фахівцям, пропонувати ідеї, успішно комерціалізувати ці ідеї у вигляді стартапів на вітчизняному та зовнішньому ринках високо-технологічної продукції. Тому й здійснюється в університеті викладання економічних дисциплін з врахуванням потреб майбутніх інженерів. Саме інженерія є однією з основ успішного розвитку країн на сучасному етапі економіки знань і в умовах плину Четвертої промислової революції (Індустрії 4.0). Так, саме інтелектуальна праця інженера створює інновацію, яка при її успішній комерційній реалізації на ринку формує майбутнє.

Ще декілька слів про цей науковий захід. Започаткувала цю конференцію Тетяна Володимирівна Левицька, старший викладач кафедри міжнародної економіки, яка у свій час навчалася на приладобудівному факультеті та, згодом, викладала тривалий час на цьому ж факультеті дисципліну «Економіка та організація виробництва».

Такі заходи надають можливість реалізувати той потенціал молоді та науковців, що базується на новітніх знаннях, які вони отримують у закладі вищої освіти. Беруть активну участь та здійснюють організаційну роботу завідувачі кафедр, викладачі, аспіранти та студенти обох факультетів.

Дякую Вам.

З повагою,

Сергій Васильович Войтко,  
доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри міжнародної економіки КПІ ім. І. Сікорського

## З М І С Т

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

<i>В.О. Аксініченко, ст. гр ПГ-81мп, к.т.н. Д.О. Півторак,</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА .....	18
<i>С.С. Афзель, студентка, гр. ПГ-91мп</i> ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ .....	22
<i>М.О. Березанська, гр. ПГ-91мп</i> ОГЛЯД ТА СУЧАСНИЙ СТАН ДАТЧИКІВ СЕРЦЕВОГО РИТМУ .....	26
<i>Д.С. Бідник, студент гр. ПГ-п81</i> ОГЛЯД ТА СТАН СУЧАСНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ .....	30
<i>Медведчук Ю.О., студент гр. ПГ-81мп, Сапегін О.М.</i> ДВОМАСОВИЙ МІКРОМЕХАНІЧНИЙ ГІРОСКОП .....	34
<i>О.М.Палій, студент гр. ПГ – 81 мп, Я.В.Чепік, студентка гр.ПГ – 91мп</i> ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЕКТУВАННІ СУЧАСНИХ ПРИЛАДІВ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ.....	38
<i>І.М. Платов, студент гр. ПГ-п71, О. М. Павловський, к.т.н., доцент</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОВИ FORTH НА СУЧАСНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРАХ.....	41
<i>А. В. Пономаренко, студент гр. ПГ-81мп, О. М. Павловський, доцент</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ НАПІВМОСТОВОГО ТИПУ .....	45
<i>Д.С. Прозор, студент гр. ПГ-61, к.т.н., Мураховський С.А.</i> РОБАСТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	50
<i>М.Т. Чепіль, студент гр. ПГ-п81, асистент Сапегін О.М.</i> ПРЦЕЗІЙНИЙ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ .....	53

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

<i>М.Д. Барановський, студент гр. ПО-82мп</i> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ТЕЛЕЦЕНТРИЧНИХ ОБ'ЄКТИВІВ .....	58
<i>Басюк Г. П., студентка гр. ПО-91мп</i> ПЕРЕВАГИ ІНТРАОПЕРАЦІЙНОЇ РЕФРАКТОМЕТРІЇ.....	62
<i>Д.Р. Братова, студент гр. ПО-82мп</i> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ФІЛЬТРАЦІЇ.....	65
<i>І.О. Вовчок, студент гр. ПО-82мп, О.І.Чікіда студент гр. ПО-82мп</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ДИФРАКЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ .....	69

<i>А. І. Доцик, студент гр. ПН-61-3, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.</i> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ПРИСТРОЇВ В УКРАЇНІ.....	72
<i>А.А. Книр, студент гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Тягур В. М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄСТИВІВ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР.....	76
<i>Ландік Б. В., студент гр. ПО-82мп</i> ДВОКАНАЛЬНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ .....	80
<i>В. П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.</i> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА .....	83
<i>Ю.М. Павлюк, студент гр. ПО-82мп, доц. Богатирьова Г.В</i> АВТОМАТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОШЕНОСТІ ПАПЕРУ .....	87
<i>Пашков Р.А., ст. гр. ПО-81мп, к.т.н. Микитенко В.І., к.ф.-м.н. Балахонова Н.О.</i> МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВІД ДАЛЬНОСТІ ЇХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РОЗРАХУНКОМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВІЗОРУ .....	90
<i>О.І.Чікіда студент гр. ПО-82мп, І.О. Вовчок, студент гр. ПО-82мп,</i> СУЧАСНИЙ СТАН РИНКУ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ .....	94

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

<i>О.І. Андрушко, студентка гр. ПБ-91мп, к.т.н, доц. Вислоух С.П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ ARENA .....	98
<i>Ю.О. Бабич, студент гр. ПБ-81мп</i> АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУГИ НА МОСТУ ТЕНЗОПЕРТВОРЮВАЧА НА ДЕТАЛІ І СИЛИ ЗАТИСКУ БОЛТА .....	102
<i>О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н. Барандич К.С.</i> КОНВЕЄРНА ЛІНІЯ ВИРОБНИЦТВА ЯК СПОСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	106
<i>Л.П. Давидюк, магістрант, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ ПРИ ЇЇ ОБРОБЛЕННІ .....	109
<i>Доценко О.К., студент гр. ПБ-81МП, к.т.н., Стельмах Н.В.</i> МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ .....	113
<i>Дроздюк В.А., Фица В.М., Юшков А.Г.</i> ЕФЕКТИВНА ІНФРАЧЕРВОНА ПАЯЛЬНА СТАНЦІЯ НА БАЗІ ТИПОВИХ МОДУЛІВ .....	117
<i>Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., к.т.н., доц. Шевченко В.В.</i> ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК.....	121
<i>A.S. Zatulenko, student grp. PB-91mp, O.O. Bakhmut, student grp. LA-91mp, O.G. Novakovskiyi, aspirant.</i> ACCURACY MEASURING OF DIRECT MICROMANIPULATION SYSTEMS WITH A PIEZOELECTRIC ENGINE.....	125



<i>Д.С. Іванов, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н. Барандич К.С., к.т.н., доц. Гладський М.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ .....	129
<i>В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В. В.</i> АДАПТИВНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ.....	133
<i>В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В. В., ас. Заєць С.С.</i> МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА .....	136
<i>К.О.Кулик, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ .....	140
<i>А.М. Лантух, магістр, ПБ-91мп, В.В. Шевченко, доцент, к.т.н</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ФРЕЗЕРНІЙ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИКОРИСТОВУЮЧИ ДАНІ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ .....	144
<i>І.В. Масненко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛІ ТИПУ КРОНШТЕЙН .....	147
<i>Мягкий А.М. , студент групи ПБ-81мп, Федорчук В.Л. студент групи ПБ-91мп</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ.....	151
<i>Д.В. Прихожа, магістрант гр. ПБ-81мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С., к.т.н. Рутковський А.В.</i> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЙОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ.....	155
<i>Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-61</i> ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ .....	159
<i>Я.О. Рижук, студент гр. ПБ-81мп, доц. Стельмах Н.В.</i> РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	163
<i>Сичевський В.С., студент групи ПБ-81мп.</i> АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ .....	166
<i>Смольніков Д.Р., магістрант, гр.ПБ-81мп</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОГО ПРОФІЛЮ НА ОБРОБЛЮЮЧИХ ЦЕНТРАХ .....	169
<i>О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-61, к.т.н, доц. Вислоух С.П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЖАРОСТІЙКОЇ СТАЛІ ЗАСОБАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ .....	172
<i>Д.Д. Сорочинський, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИЛАДОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	176
<i>Строкань Н.С., студентка гр. ПБ-81мп</i> РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЧАСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....	180
<i>А.В. Сувала, студент гр. ПБ-81мп</i> ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ .....	183

<i>О.В. Третьяк, студентка гр. ПБ-61</i> АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕРМОПЛАСТІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ .....	187
<i>В. Л. Федорчук, студент, гр. ПБ-91мп, к.т.н. доцент В. В. Шевченко</i> ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ .....	191
<i>Циба Т. Є., к.т.н., доцент, Шевченко В. В.</i> ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ .....	194
<i>Е.Я. Чонка, студентка, гр. ПБ-81мп, д.т.н., професор Антонюк В.С.</i> АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ВИГОТОВЛЕНИХ НА 3D-ПРИНТЕРІ.....	197
<i>В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н. доц. Вислоух С.П.</i> ПРО СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	201

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

<i>В.В. Брацлавський, студент гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Писарець А. В.</i> ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕПЮРИ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИТРАТОМІРА.....	206
<i>Т.В. Брацлавський, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., доц. Дубінець В.І.</i> СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМИ МІКРОАПАРАТАМИ.....	209
<i>О. М. Галузінський, студент гр. ПМ-81мп, старший викладач Зайцев В. М.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ВАГИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ .....	213
<i>М.І. Літовко, студентка гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Нікітін О.К.</i> ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ВАГИ ДЛЯ ВАГОВИХ РІВНЕМІРІВ.....	218
<i>Р.Р. Сніжко, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., доц. Киричук Ю.В.</i> РОЗУМНЕ ОСВІТЛЕННЯ .....	221
<i>О.І. Фасоля, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.</i> СМАРТ-ШОЛОМ ВЕЛОСИПЕДИСТА .....	224
<i>Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мп, ст. викл. Толочко Т.О.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФИКСАТОРА .....	228
<i>Ходячий В.В. аспірант гр. ПМ-81ф, к.т.н., доц. Нікітін О.К.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ТВЕРДИХ ТІЛ .....	232

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

<i>В.І. Артемчук, студентка гр. ПН-91мп, Б.І. Мединцев студент гр. ПН-81мп</i> КОНТРОЛЬ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ .....	238
---	-----

*Г. В. Дорожінська, аспірант*  
ЕФЕКТИВНІСТЬ ЧИСЕЛЬНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМУМУ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДБИТТЯ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЯВИЩА  
ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ ..... 241

*Б.І. Мединцев, студент гр. ПН-81мп, В.В. Богданов, студент гр. ПН-81мп*  
ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА  
ПРОДУКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАВОДІВ ..... 245

*М.Р. Мельник, студент гр. ПН-81мп, Н.В. Масся, студент гр. ПН-81мп*  
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА НА  
ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА..... 251

*В.В. Тризна, студент гр. ПН-81мп*  
ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ В  
СИСТЕМАХ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОНИТОРИНГУ ..... 255

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

*В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71*  
АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ОБРАТНОЇ СВ'ЯЗИ БІОНІЧЕСКИМИ  
ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ..... 260

*А. Р. Ванджура, студентка гр. ПК-71*  
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ В ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ..... 264

*М.О. Глущенко, студент гр. ПК-61*  
ЗАСТОСУВАННЯ САПР SOLIDWORKS ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ  
УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ..... 268

*Д. Є. Котлов, студент гр. ПК-71*  
КВАНТОВІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ..... 271

*Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-61*  
ПРИЛАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ..... 275

*Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71*  
ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО ЗД-ДРУКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ  
ЗАСТОСУВАННЯ..... 279

*Д.В. Петренко, студент гр. ПК-61*  
ПРИЛАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАГОТОВОК ІЗ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ..... 283

*Складчиков І.О., студент гр. ПК-71*  
ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ  
КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ ..... 286

*Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп, к.т.н., О. В. Муравйов*  
КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ  
БІНАРНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ..... 290

*К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71*  
ПЕРСПЕКТИВИ МЕТОДУ СПРЯМОВАНИХ ХВИЛЬ В ПРОЦЕСІ КОНТРОЛЮ  
ТРУБОПРОВОДІВ..... 294



А.Ю. Якимчук, студентка гр. ПК-61  
ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ ..... 298

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

О.В. Братанюк, студент гр. ПБз-82мп  
ОПТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ М'ЯКИХ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ..... 304

Булик М., студент гр. ПБ-82мп, Скицюк В., к.т.н., ст.н.с., ст.н.с., Клочко Т., к.т.н., ст.н.с., доцент  
МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ЗА  
ДОПОМОГОЮ МІКРОТВЕРДОМІРА М-20 ..... 307

К. А. Варданесян, студент гр. ПБ-82МП, асистент Вонсевич К.П.  
СИСТЕМА ЕЛЕКТРОМІОГРАФУ ДЛЯ БІОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОТЕЗУВАННЯ  
РУКИ ..... 310

О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, к.т.н., доцент В.В. Шевченко, к.т.н., старший викладач С.М.  
Матвієнко  
АПАРАТ МІКРОХВИЛЬОВОЇ РЕЗОНАНСНОЇ ТЕРАПІЇ ..... 314

О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент, С.М. Матвієнко, к.т.н., старший  
викладач  
СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН..... 318

Гетьман М.М., студент гр. ПБ-з82мп, доц. Стельмах Н.В.  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ШКІРИ ..... 322

Д. В. Горбань, студент гр. ПБ-82мп.  
ФОТОМЕТРІЯ ПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН  
ЕЛІПСОІДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ ..... 325

А.В. Горейко, студент гр. ПБ-82мп  
ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ  
ЗАСТОСОВУВАННЯ ОПТИЧНОЇ БІОМЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ..... 329

О.Т. Грузинська, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
ДИНАМІЧНІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ У РІЗНИХ  
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАНАХ ..... 332

Т.О.Гурова, студентка гр. ПБз-82мп, В.В.Шевченко, к.т.н., доцент  
КЕРУВАННЯ МАГНІТНО-ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ  
ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ..... 336

І.А. Данилюк, студент гр. ПБ-42мп., О. Г. Шмендель, гр. ПБ-82ф, М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент  
КОМПЛЕКС ЛАЗЕРОТЕРАПІЇ..... 340

Дорожук І. А., студент гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТИМУЛЯЦІЇ І ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ  
ТКАНИН ..... 344

І.П. Комісарова, студент гр. ПБ-з82мп  
АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ У ПРОТЕЗОВАНОМУ КОЛІННОМУ  
СУГЛОБІ..... 348

В.В. Копицик, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ В  
БІОСЕРЕДОВИЩІ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН ..... 351

<i>К.В. Корнієнко, студентка гр. ПБ-п72</i> РАДІОТЕРМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД ДІАГНОСТИКИ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ ..	355
<i>Малий О.А., Лесніков А.Г. студенти гр. ПБ-з92мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент, Яковенко І. О., асистент</i> ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПАРАМЕТРИ ГЛИБИНИ ПРОНИКНЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ .....	358
<i>В. І. Мартиненко, студент гр. БП-61</i> БИОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ .....	362
<i>Б.О. Марушевський, студент гр. ПБ-82мп, Н.В. Безугла к.т.н.</i> БИОМЕДИЧНИЙ СПЕКТРОФОТОМЕТР .....	367
<i>Є.В. Олійник, студент гр. ПБ-82мп</i> МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН .....	371
<i>Р.В. Пичак, студент гр. ПБ-з82мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕЛЕКТРОДИ ХІРУРГІЧНОГО СТЕПЛЕРА .....	374
<i>Т.І. Поліщук, студент гр. ПБ-82мп, М.Д. Макаров, студент гр. ПБ-82мп, І.В. Фетов, студент гр. ТП-61</i> ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ АПАРАТУ ДЛЯ СПОРТИВНОЇ МЕДИЦИНИ.....	378
<i>І.А. Прилипа, студентка гр. ПБ-з82мп, доц. Стельмах Н.В.</i> МЕТОД МОНІТОРИНГУ НЕЙРОМ'ЯЗОВОЇ БЛОКАДИ .....	381
<i>О. А. Притула, студент гр. ПБ-82мп, асистент Вонсевич К.П.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ М'ЯЗІВ МЕТОДОМ FORCE-МІОГРАФІЇ.....	385
<i>О.Д. Рудий, студент гр. БП-61</i> ОБРОБКА СИГНАЛУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ ДЛЯ БИОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДИНИ .....	389
<i>О.В.Руцька, студентка; М.Ф. Терещенко, к.т.н. доц.</i> КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА САНАЦІЇ РАН .....	394
<i>М.О. Турчина, студент гр. ПБз-82мп</i> БИОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЗАБОРУ ТА АНАЛІЗУ КРОВІ .....	398
<i>Р.Р. Хайретдінов, студент групи ПБ-з82, к.т.н., доц. С.П.Вислоух</i> ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В СТОМАТОЛОГІЇ.....	402
<i>Харевич А.С., аспірант гр. ПБ-82ф, Терещенко М. Ф. к.т.н., доцент</i> ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ВІДБИТОГО ПРОМЕНЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ГЛИБИНИ ПРОНИКНЕННЯ ЙОГО В БІОЛОГІЧНІ СТРУКТУРИ.....	406
<i>В.В. Цапенко, аспірант; М.Ф. Терещенко, к.т.н. доц.</i> БИОМЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ СТОПИ .....	410
<i>Ю.А. Юхименко, студент гр. ПБ-82, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.</i> МОДЕЛЮВАННЯ-3D ТА АДІТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАСНІЙ МЕДИЦИНІ ....	414

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

<i>С. В. Войтко д.е.н., проф.</i> ПРИЛАДОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ Й ПОШИРЕННЯ ЗАСАД ІНДУСТРІЇ 4.0 У 2019 РОЦІ.....	420
<i>Гафарова Л.М., Войтко С.В., д. е. нд, професор</i> ПРОСУВАННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0.....	424
<i>Д.В. Гнип, студентка гр. УЕ-91МП, ФММ, доц., В. М. Стефківський.</i> СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ АВТОРСЬКИХ ПРАВ СТАРТАПІВ.....	428
<i>А. І. Максимчук, студентка гр. УС-91мп, д.е.н., проф. Войтко С. В.</i> РОЗВИТОК МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИЛАДІВ ІНДУСТРІЇ 4.0.....	432
<i>Н.Р. Маркин, студент гр. ПМ-61</i> РАЗВИТИЕ УМНОГО ДОМА В УКРАИНЕ.....	437
<i>О. С. Покрас, аспірант</i> ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ В ЕКОЛОГІЧНОМУ АСПЕКТІ.....	440
<i>PhD, Associate Professor. Skorobogatova N. Ye.</i> EFFICIENCY OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION IN INDUSTRY 4.0.....	445

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

<i>К.О. Борбат, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОКАРДИОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	450
<i>Горковенко К. Г., студент гр. ВВ-81мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71, д.т.н., проф. Єременко В. С.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СИГНАЛІВ.....	454
<i>В.В. Калюжна, студентка гр. ПВ-91мп, Д.Ю. Мержиевська, к.т.н., доц. Павлишин М.М.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ СТАНУ ГРУНТІВ.....	457
<i>С.В. Кондратюк, студент гр. ПІ-81мп, д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В ЕКОЛОГІЧНОМУ ЗАХИСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	461
<i>О.В. Мельник, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст.викл. Морозова М.М.</i> МЕТОДИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ... 464	



<i>Д.Ю. Мержиєвська, студентка гр. ПВ-91мп, В.В.Калюжна, студентка гр. ПВ-91мп, к.т.н., доц. Павлишин М.М.</i>	
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНЦЕНТРАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ.....	468
<i>М.В. Некрасова, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст.викл. Морозова М.М.</i>	
ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ МЕТОД ТА ЗАСОБИ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ .....	471
<i>Panasenko M.P. student gr. VM-61, Mokiichuk V. M. Associate professor</i>	
SENSORS FOR MONITORING WATER QUALITY .....	475
<i>О. Є. Сухорукова, студентка гр.ПВ-91мп, д. т. н., проф. Єременко В. С.</i>	
СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ З ЄМНІСНИМИ СЕНСОРАМИ .....	479
<i>О. В Учкін, студент гр. ВВ-81мп, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.</i>	
СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ .....	483
<i>А. Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91МП, д.т.н., проф. Яремчук Н. А.</i>	
СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТЕНДЕНЦІЇ ВИБІРОК ВЕРБАЛЬНИХ ДАНИХ.....	487

## **СЕКЦІЯ 11. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

<i>Т.І. Антифеев, студент гр. ВА-81мп, Є.Т. Володарський д.т.н, професор</i>	
СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	492
<i>Войтюк А.К., студент гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.</i>	
ІМІТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ.....	495
<i>Ю.В. Іванченко, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.</i>	
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШУМУ В ПРИМІЩЕНІ .....	498
<i>Є.О. Кириленко, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К. Л.</i>	
ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИЧНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПИЛУ У ПОВІТРІ.....	502
<i>В.В.Куліченко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков</i>	
АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИМИ СПЛАЙНАМИ.....	506
<i>С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л.</i>	
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГРУДНОЇ КЛІТКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ЗА ЗМІНОЮ БІОІМПЕДАНСУ	510
<i>К.М. Мостепан, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.</i>	
ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИННО-СТРУЖКОВОЇ ПЛИТИ НВЧ РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ .....	514
<i>К.Д. Ніколаєва, студентка гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.</i>	
ТЕРМОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	518
<i>Панченко В.В. студент гр.ВА-81мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.</i>	
ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНИ НА БАЗІ СВУТЛОЧУТЛИВОЇ МАТРИЦІ .....	522

<i>М.С. Скрипковська, студентка гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНОГО КАЛІБРУВАННЯ ГІРОСКОПІЧНИХ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ.....	525
<i>В.О. Смірнов, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.</i> СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ .....	529
<i>О.В. Токаренко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.</i> СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ JAVA- ФРЕЙМВОРКІВ .....	532
<i>Є.Л. Шилін, студент гр. ВА-81МП, к.т.н. доцент Стаценко О.В.</i> ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ .....	535
<i>Ю.В. Штефура, аспірант, д.т.н., проф. Хімічева Г.І.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ГЛИБИНИ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	539
<i>О. І. Яценко, студентка гр. ВА-81мп</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОВІРКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ.....	543





## **Секція 1.**

# **Економіка та ефективність використання навігаційних приладів і систем**

**УДК 681.786**

*В.О. Аксініченко, ст. гр ПГ-81мп, к.т.н. Д.О. Півторак,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА**

**Анотація.** У даній роботі приведена математична модель волоконно-оптичного датчика деформацій. Промодельовано роботу волоконно-оптичного датчика на основі бреггівських решіток при впливі деформації та температури.

**Ключові слова:** датчик деформації, волоконно-оптичний датчик.

### **ВСТУП**

У процесі експлуатації інженерні і будівні споруди знаходяться під впливом природних або техногенних факторів, які можуть привести до виникнення мікротріщин або пластичних деформацій. Такі дефекти можуть привести до погіршення технічного стану або руйнування споруди. Моніторинг і діагностика поточного технічного стану об'єкта, а також прогнозування його зміни на сьогоднішній день являються найбільш ефективними способами попередження руйнування інженерних та будівних споруд.

Моніторинг і діагностика проводяться як на стадіях будівництва, капітального ремонту, реконструкції, так і на стадії експлуатації інженерних та будівних споруд. Завдяки своїм особливостям нечутливість до зовнішніх електромагнітних полів, вибухо- та пожежобезпечність, низькі оптичні втрати, висока корозійна стійкість, мала маса та розмір, низька вартість, висока міцність та гнучкість для здійснення моніторингу все частіше використовуються волоконно-оптичні датчики. По принципу дії ці вимірювальні перетворювачі діляться на шість типів: амплітудні, фазові, поляризаційні, частотні, спектральні та тунельні.

Із всіх різновидів волоконно-оптичних датчиків, придатних для виміру деформації, бреггівські датчики (частотні) мають найкращу швидкодію та є найбільш стійкими до зовнішніх впливів. Тому найбільш перспективними датчиками для вимірювання деформації є волоконно оптичні датчики на основі бреггівських решіток (ВОДОБР). В їх основу закладений принцип вузькополосного відбиття оптичного випромінення від періодичної структури показника переломлення, сформованою безпосередньо в фоточутливій серцевині оптичного волокна [1].

### **ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ДЕФОРМАЦІЇ ПО ВИХІДНОМУ СИГНАЛУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА**

Довжина хвилі оптичного випромінювання, відбитого бреггівськими решітками, залежить від періоду решітки та ефективного показника заломлення. Зміщення довжини хвилі Брегга в ту чи іншу сторону являється показником наявності деформації об'єкта в точці знаходження датчика і знаходиться за наступною формулою:

$$\Delta\lambda_{БР} = \lambda_{БР} \left( 1 - \frac{n_{enn}^2}{2} [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \right) \varepsilon_z + (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \Delta T, \quad (1)$$

Перший доданок формули (1) характеризує залежність зсуву довжини хвилі відбитого випромінювання від деформації [2], де  $p_{11}$  і  $p_{12}$  – коефіцієнти Поккельса в тензорі оптичних напруг,  $n_{\text{eff}}$  – ефективний показник заломлення,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона. Для типового оптичного волокна  $p_{11} = 0,113$ ,  $p_{12} = 0,252$ ,  $\nu = 0,16$ ,  $n_{\text{eff}} = 1,4682$  та  $\lambda_{\text{БР}} = 1500 \text{ нм}$ .

Другий доданок формули (1) відповідає залежності зміщення довжини хвилі від температури, де  $\alpha_{\Lambda}$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha_{\Lambda} = 0,55 \cdot 10^{-6}$  для плавленого кварцу),  $\alpha_n$  – термооптичний коефіцієнт ( $\alpha_n = 8,6 \cdot 10^{-6}$  для оптичного волокна з легованим германієм)[3].

Довжина хвилі випромінювання, відбитого від бреггівських датчиків, змінюється залежно від температури через теплове розширення оптичного волокна (подовжується період бреггівської решітки), так як відбувається зміна механічної довжини решітки, а також зміна показника заломлення волокна в залежності від температури (змінює оптичну довжину решітки)[2].

Для визначення відносної рівня деформації по вихідному сигналу волоконно-оптичного датчика на основі решіток Брега використовується програмний пакет MatLab.

Для дослідження характеристик датчика штучно задається деформація. Рівень деформації задається  $\varepsilon = 15 \cdot 10^{-4}$ .

При цьому вхідний сигнал, який генерується джерелом випромінювання подається на бреггівський датчик по оптоволоконному світоводу, сигнал являє собою світловий промінь [4] із такою спектральною характеристикою, як показано на рис.1. Даний сигнал піддається Гаусівському нормальному розподілу [1].

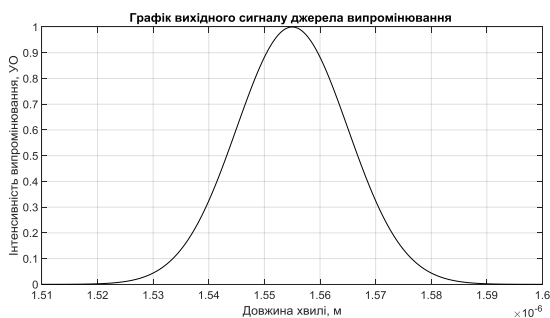


Рисунок 1. Модель вхідного сигналу

З врахуванням першого доданку формули (1) та з заданою  $\Delta T = 0$  при пропусканні сигналу джерела випромінювання через бреггівський ВОД частина спектру проходить, а інша частина сигналу, що відбивається та фіксується спектральним аналізатором (детектором). При деформації пік відбитого спектру зміщується відносно початкового значення при якому датчик не зазнавав впливу деформації.

На рис. 2 представлено залежність коефіцієнта відбиття від довжини хвилі при різних значеннях параметра деформації

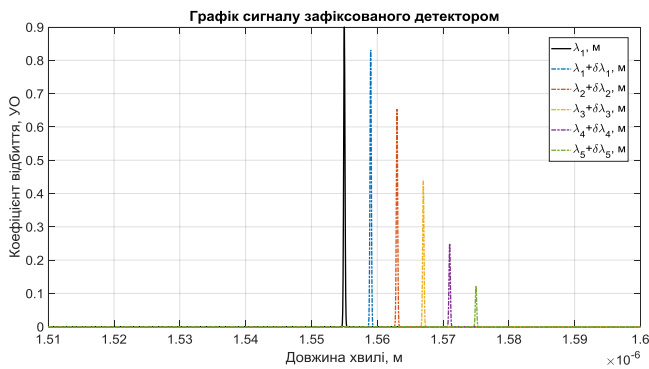


Рисунок 2. Графік відбитого сигналу випромінювача зафіксованого детектором

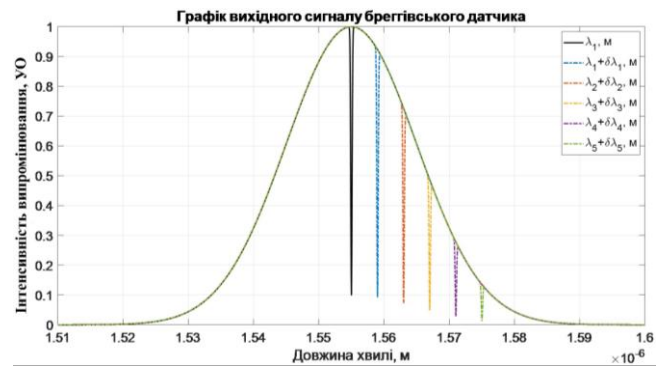


Рисунок 3. Модель вихідного сигналу

Спектр, який пройшов через волоконну бреггівську решітку характеризує собою різницю сигналів вхідного спектру, який зображений на рис.1 та відбитого спектру, який представлений на рис. 2. Графік представляє залежність коефіцієнта відбиття від довжини хвилі при різних значеннях параметру деформації. На рис.3 представлений вихідний сигнал волоконно-оптичного датчика на основі бреггівських решіток.

Згідно формули (1), зміна температури задається  $\Delta T = 24 \cdot 10^{-4}$ .

Модель вхідного сигналу представлена на рис. 1. Модель відбитого сигналу, який показує залежність коефіцієнта відбиття від довжини хвилі при різних значеннях деформації представлений на рис. 4 (а, б).

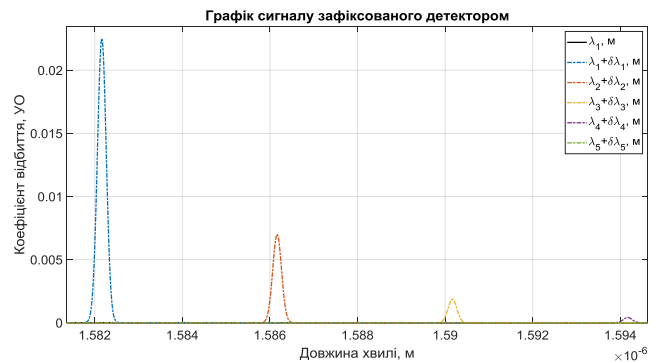
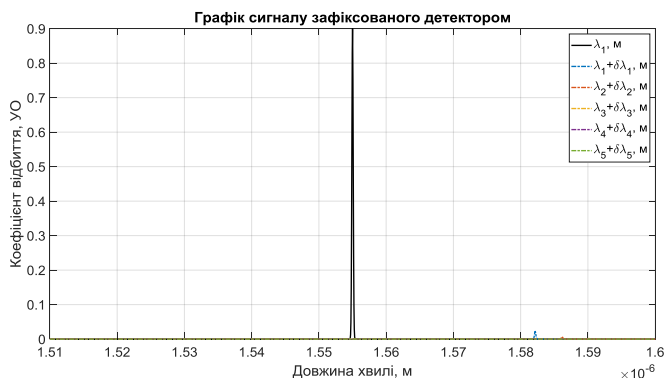


Рисунок 4. а) Графік відбитого сигналу випромінювача зафіксованого детектором; б) Масштабований графік відбитого сигналу випромінювача зафіксованого детектором

Модель вихідного сигналу зображена на рис.5, яка представляє різницю сигналу випромінювання та відбитого сигналу при деформації та впливі температури.

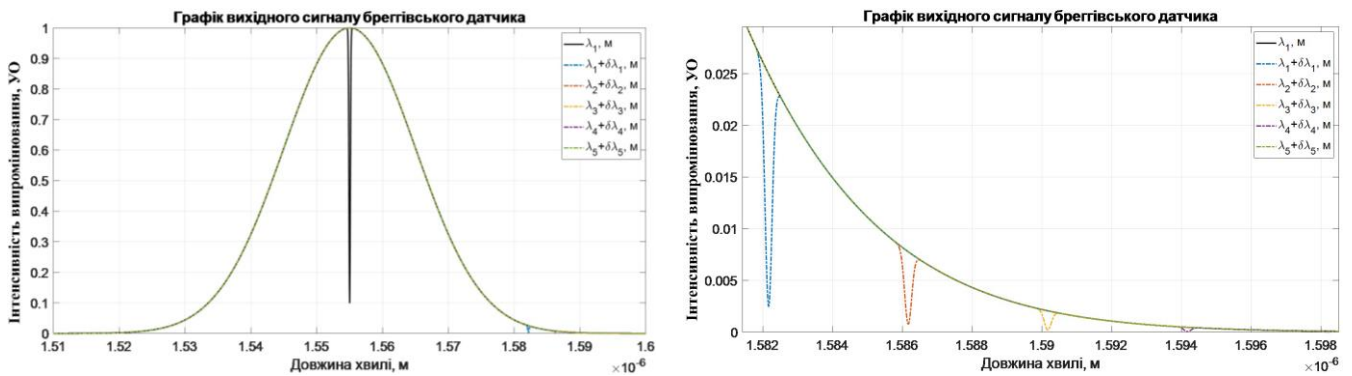


Рисунок 5. а) Графік вихідного сигналу ВОД;  
б) Масштабований графік вихідного сигналу ВОД

Таким чином, з графіків представлених на рис. 3 (без урахування температурної складової) та рис. 5 можна зазначити, що температурна складова збільшує зсув довжини хвилі на близько 0.02 мкм.

## ВИСНОВОК

В даній роботі проведено математичне моделювання поведінки волоконно-оптичного датчика на основі бреггівських решіток для випадків: з окремим урахуванням деформації та деформацією під впливом температурної складової. Отримані залежності показують, що температурна складова має значний вплив на зсув довжини хвилі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Пивторак Д.А. Определение уровня деформаций по выходному сигналу брегговского волоконно-оптического / Пивторак Д.А., Цыбульник С.А., Луцив Т.В. // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – №1, 110-114 С.
- [2] Васильев С. А. Волоконные решетки показателя преломления и их применение / С. А. Васильев, О. И. Медведков, И. Г. Королев, А. С. Божков, А. С. Курков, Е. М. Дианов // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085-1103.
- [3] Оптичні коефіцієнти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [cutt.ly/PeVYF1w](http://cutt.ly/PeVYF1w)
- [4] Иванов С.А. Сужение спектральной полосы излучения мощного лазерного диода объемной брегговской решеткой на фото-термо-рефрактивном стекле [Текст] / С.А. Иванов, Н.В. Никоноров, А.И. Игнатъев и др. // Физика и техника полупроводников. – 2016. – Том 50. – №6. – С. 834-838. [0]

УДК 681.200

*С.С. Афзель, студентка, гр. ПГ-91мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ.**

*Анотація.* В роботі було проведено огляд існуючих типів перетворювачів сонячної енергії, який показав, що вони поділяються на фотоелектричні перетворювачі, геліоелектростанції та сонячні колектори. Розглянуто їх принципи роботи та наведені переваги та недоліки до кожного типу. Наведено сучасні області застосування та перспективи використання.

*Ключові слова:* перетворювачі сонячної енергії, сонячна енергія, сонячні колектори, геліоелектростанції, фотоелектричні перетворювачі

### **ВСТУП**

Кожна людина знає, що ресурси нашої планети обмежені. Технологічний прогрес приголомшує своєю швидкістю та інноваціями, автоматизується все більше видів праці, наслідком чого є створення нових підприємств, заводів та фабрик, що призводить до збільшення використання електроенергії, що негативно відображається на екології. Ця ситуація призвела до пошуку альтернативних методів видобутку енергії.

Сонячна енергія – є найбільш ефективною та використовуваною альтернативною технологією відтворення енергії. Сонячне випромінювання перетворюється на електроенергію або тепло за допомогою перетворювачів сонячної енергії. Спектр використання сонячної енергії дуже широкий – від забезпечення електроенергією підприємств і виробництв, до оснащення опаленням житлових будинків.

Використання сонячної енергії є безпечним для довкілля, економічним та відносно простою у використанні та монтажу.

### **КЛАСИФІКАЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Перетворювачі сонячної енергії широко використовуються в якості альтернативних джерел енергії. Подібні системи уже довгий час використовуються у всьому світі у промислових цілях, але останнім часом вони все частіше використовуються у побуті, для опалення житлових будинків, підігріву води, для забезпечення електроенергії та ін. Перетворювачі сонячної енергії поділяються на наступні види: фотоелектричні, геліоелектростанції та сонячні колектори [1].

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) - реагують на електромагнітне випромінювання, що потрапляє на поверхню перетворювача. Коефіцієнт корисної дії - один з найважливіших параметрів фотоелемента, який використовуються в якості джерела електричної енергії. ККД буде тим більше, чим більша частина спектру світлового випромінювання буде приймати участь в генерації носіїв струму. На рис. 1 наведено принцип роботи фотоелектричного перетворювача [1].



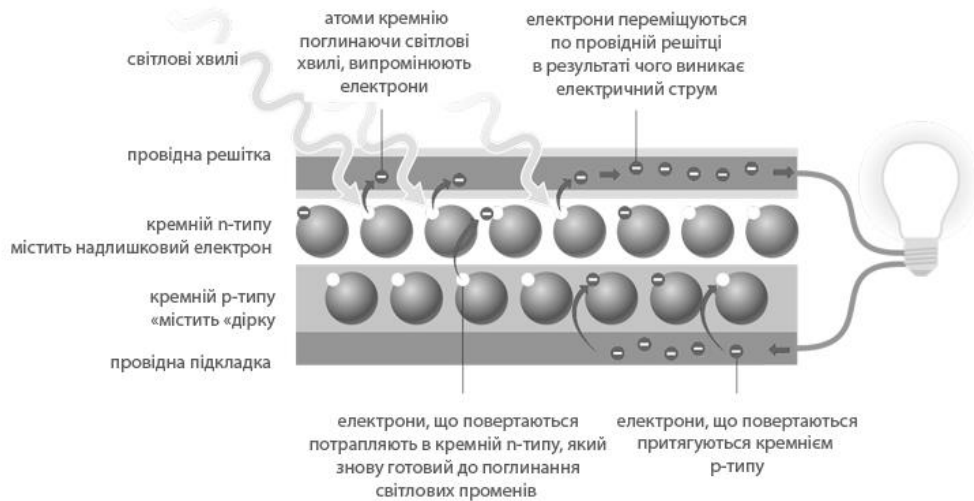


Рисунок 1. Принцип роботи фотоелектричного перетворювача

Напівпровідник пропускає світло, що потрапляє на його поверхню та поглинається в р-п області. Світло поглинаючи енергію у падаючих фотонів, генерує електро-дірчасті пари. При досягненні р-п переходу, за рахунок дифузії електро-дірчасті пари будуть розділені електричним полем переходу. Як результат на контактах виникає напруга, що сприяє замиканню зовнішньої мережі, яке провокує протікання електричного струму.

Перевагами фотоелементів є: висока надійність у тривалому часі використання; доступність матеріалів для виготовлення перетворювачів; сприятлива окупність; мінімальні витрати енергії та маси з точки зору управління; зручне технічне обслуговування [2].

До недоліків можна віднести: можливе відбиття сонячного випромінювання від поверхні перетворювача; проходження випромінювання через ФЕП без поглинання; розсіянням на теплових коливаннях решітки надлишкової енергії фотонів; порушення у зв'язку з внутрішнім опором перетворювача;

Геліоелектростанції (ГЕЕС) перетворюють сонячну енергію за допомогою приймачів двох видів: плоскі - поглинають сонячне випромінювання, що знаходяться перпендикулярно до площини (приймачі відстежують промені та повертають свою плоскість автоматично до їх напрямлення); концентруючі - сонячні промені концентруються в фокусі за допомогою дзеркальних сферичних поверхонь, де розташовані теплові елементи установки [3];

Управління системою геліоелектростанції здійснюється за допомогою ЕОМ. Як робоче тіло в тепловому двигуні зазвичай використовується водяна пара з температурою до 550 °С, повітря та інші гази - до 1000 °С, незакипаючі органічні рідини (в тому числі фреони) - до 100 °С, рідинно-металеві теплоносії - до 800 °С. Принцип роботи геліоелектростанції відображений на рис.2.

Коефіцієнт концентрації є основним енергетичним показником концентратора сонячного випромінювання. Він визначається, як відношення середньої щільності сконцентрованого випромінювання до щільності світлового потоку, що потрапляє на відбиваючу поверхню за умови точної орієнтації на Сонце.

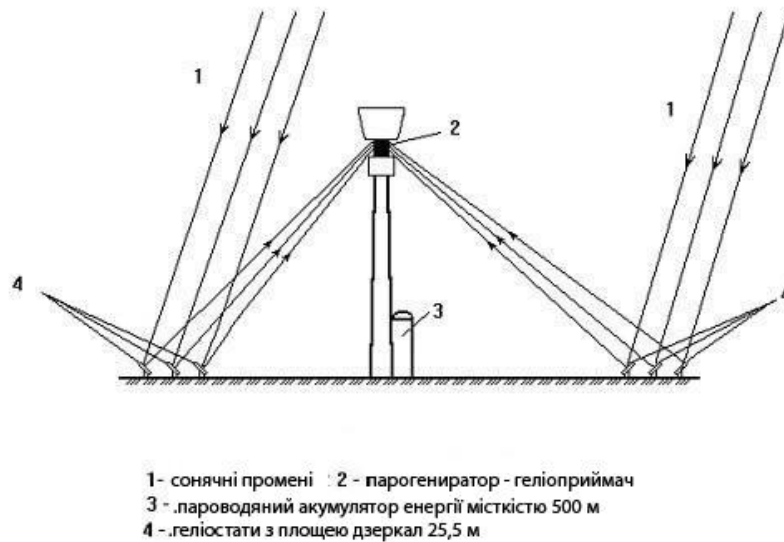


Рисунок 2. Принцип роботи геліоелектростанції

Переваги геліоелектростанцій: загальнодоступність; невичерпність; безпека для оточуючого середовища. До недоліків відносяться: залежність від погоди та часу доби; висока вартість конструкції; необхідність у періодичному очищенні відбиваючої поверхні від пилу; нагрівання атмосфери над геліоелектростанцією [4].

Сонячні колектори. Особливість сонячних колекторів полягає в тому, що поверхність, яка поглинає сонячні промені оброблена компонентами, які забезпечують максимальне сприйняття тепла, оскільки вони дуже вибагливі до теплового спектру сонячного потоку і проводять нагрів теплоносія. Принцип роботи сонячного колектора відображений на рис.3 [5].

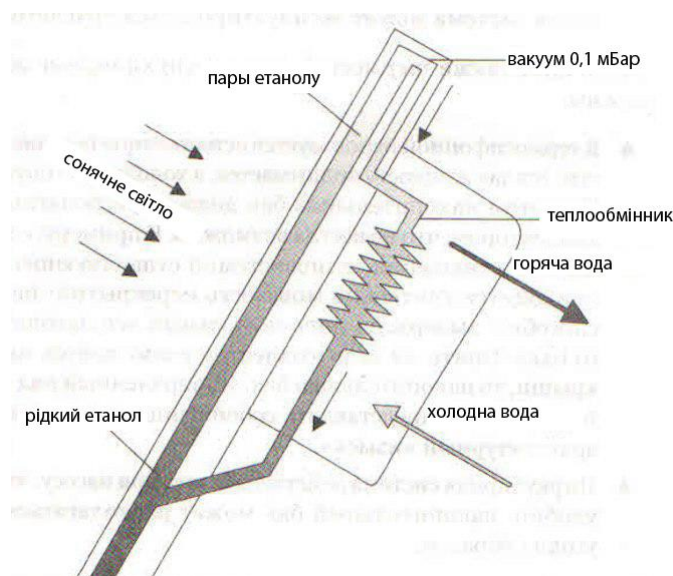


Рисунок 3. Принцип роботи сонячного колектора

Сонячні колектори поділяють на типи: вакуумні, плоскі, пристрій побутового колектора, сонячні колектори – концентратори та сонячні повітряні

колектори.

Вакуумні та побутові сонячні колектори використовуються для нагріву води і підтримки систем опалення, а основним застосуванням плоских є опалення приміщень. Повітряні колектори застосовують для сушки сільськогосподарської продукції, сонячні колектори - концентратори виробляють електроенергію.

Перевагами використання сонячних колекторів є: надзвичайна економічність; автономність; простота конструкції; висока ефективність; можливість використання на протязі цілого року; довгий строк експлуатації [6].

Недоліками сонячних колекторів є: в деяких типах може бути низький ККД або його залежність від температур; висока ціна деяких видів; можуть бути габаритними, мати великі розміри [7].

## **ВИСНОВКИ**

На сьогоднішні дані, що відображають характеристики розвитку сонячної енергетики з кожним роком стабільно збільшуються. Спостерігається, що все більше країн зорієнтовані на запровадження використання сонячної енергії у різноманітних сферах. Даний вид отримання енергії дуже актуальний, оскільки споживання енергії буде завжди, а традиційні методи її отримання негативно впливають на екологію.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://alteco.in.ua/technology/solar-energy>
- [2] Фотоелектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pochit.ru/fizika/32633/index.html>
- [3] Фотоелектрические преобразователи солнечной [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – [http://www.gigavat.com/ses\\_preobrazovateli\\_1.php](http://www.gigavat.com/ses_preobrazovateli_1.php)
- [4] Гелевая технология [Електронний ресурс]// Електронне текстове видання – 2016.– Режим доступу: <https://www.varta-automotive.ru/ru-ru/technology/gel-battery-technology>
- [5] Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // *Альтернативная энергетика и экология – 2018. – № (8-9) – с. 12-18.*
- [6] Солнечные батареи альтернативные источники энергии: Арсенид-галлиевые солнечные батареи. [Електронний ресурс]// Електронне текстове видання – 2018. - Режим доступу: <http://www.solar-battery.com.ua/arsenid-gallievyye-solnechnyye-batarei>
- [7] SunSaver MPPT. [Електронний ресурс] // Електронне текстове видання – 2017. – Режим доступу: <http://www.morningstarcorp.com/en/sunsavermpppt>

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

УДК 621.317

*М.О. Березанська, гр. ПГ-91мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОГЛЯД ТА СУЧАСНИЙ СТАН ДАТЧИКІВ СЕРЦЕВОГО РИТМУ**

**Анотація.** В даній статті був приведений огляд та сучасний стан датчиків серцевого ритму, де було визначено, що датчик серцевого ритму – це певний пристрій, що застосовується для моніторингу частоти серцевих скорочень для використання цих даних в нинішній час чи для подальших досліджень. Також представлені види цих датчиків по типу їх кріплення і по типу підключення.

**Ключові слова:** датчик серцевого ритму, пульсометр, датчик.

### **ВСТУП**

В наш час технології стрімко зростають, тому використання датчиків серцебиття знайшло застосування не лише в сфері медицини, а й в повсякденному житті. Наприклад, під час занять спортом необхідно контролювати свій пульс, для розуміння чи необхідно зменшити навантаження, чи навпаки збільшити. І на заміну звичайного підрахунку пульсу, на допомогу прийшли датчики вимірювання серцевого ритму, які значно спрощують цю задачу, а також економлять час.

Пульсометр – це пристрій, що застосовується для спостереження за частотою скорочень серця в реальному часі чи для запису показників для послідуєчих дослідів.

Даний датчик знайшов широке застосування серед людей які займаються спортом або просто тренуються [1].

Перші зразки даного пристрою складались з корпусу та двох електродів, які прикріплювалися до грудної клітки. Основним призначенням пульсометру був контроль пульсу.

В більш сучасних пульсометрах, окрім датчика серцевого ритму, для зручності використання містяться додаткові функції, такі як: годинник, секундомір, крокомір, календар та ін. [1].

### **ОГЛЯД ДАТЧИКІВ ВИМІРЮВАННЯ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ**

Існує багато різних класифікацій датчиків вимірювання серцевих скорочень:

- за методом вимірювання;
- за типом передачі сигналу;
- за способом підключення.

Основні способи вимірювання частоти серцевих скорочень поділяються на механічні, електричні і оптичні.

Механічний використовується в тонометрах, які фіксують частоту перепаду тиску, викликаних роботою серця [2].

Електричний метод використовується за рахунок того, що в процесі скорочення серцевих м'язів, виділяються мікро струми. Найбільше застосування знайдено для обладнання зняття електрокардіограми та в нагрудних датчиках вимірювання пульсу.

Ці два методи вимірювання серцевого ритму мають певні недоліки – це необхідність в тісному контакті з тілом. У випадку з механічним способом датчик безпосередньо повинен бути притиснутим до шкіри, де судини знаходяться не глибоко. А в випадку з електричним способом необхідно знаходитися якомога ближче до серця [3].

В основі роботи оптичного пульсометру, що застосовується в переносній електроніці, є технологія фотоплетизмографії. Даний датчик містить в собі світлодіоди, які випускають світло, і датчики, які реєструють рівень його відображення. Принцип його роботи полягає в тому, що в шкірі людини знаходиться велика кількість тонких капілярів, що наповнені кров'ю. Коли серце скорочується, то тиск підвищується і кров більш активно поширюється в судинах і це означає, що поглинається більше світла. Датчик це реєструє, і через певний проміжок часу проводиться підрахунок кількості таких сплесків за хвилину і таким чином визначається частота серцевого ритму [3].

В залежності від розташування датчики поділяються на нагрудні, влаштований та датчик пульсації крові.

1. Нагрудний датчик. Являється найбільш точним датчиком визначення пульсу. Даний датчик кріпиться до грудей за допомогою спеціального ремня, а також має автономне джерело живлення, що запускається при появі пульсу. Потім сигнал передається на певну відстань на приймач. Перевагами даного датчика є те, що він являється одним із найбільш точних при будь-якій погоді. До недоліків можна віднести незручність при постійному використанні [4].

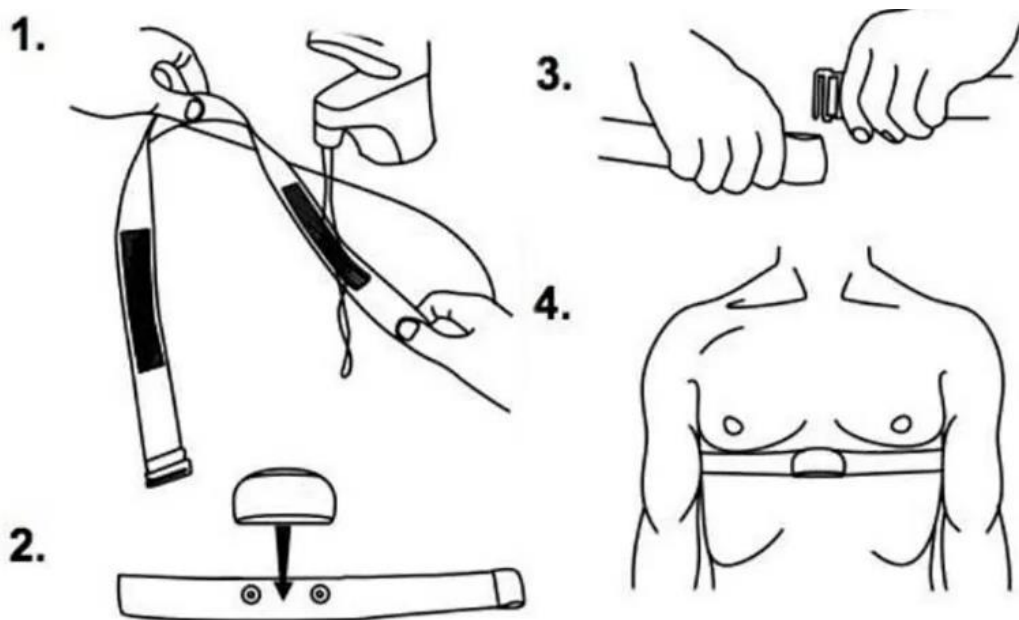


Рис.1. Кріплення нагрудного датчика [5].

2. Влаштований датчик. В нинішній час пульсометри без використання нагрудного датчика дозволяють визначати пульс за допомогою двох електродів на корпусі пульсометра, які прикладаються до тіла на декілька секунд. Дані прилади популярні серед користувачів через зручність і простоту використання, але вони не надають такої ж точності, як нагрудний датчик. Дані прилади з влаштованим вимірюванням бувають декількох типів: фітнес-браслет,

годинник або пульсометр-каблучка. Перевагами цих датчиків є простота у використанні, так як датчик знаходиться на внутрішній стороні пульсометра, для того щоб знаходитись в безпосередній близькості з тілом, до недоліків можна віднести, що на їх точність сильно впливає холод, або не чітка фіксація на тілі [6].

3. Датчик пульсації крові. Даний датчик кріпиться на мочку вуха чи на палець. Ритм серця визначається по пульсації крові в тканинах.

На мочку вуха. Вся інформація відображається на дисплеї пристрою, який без проблем можна носити в кармані. Перевагами датчика пульсації крові є те що він легкий і компактний, недоліками - перетискає мочку вуха або спадає, а також при холодній погоді можливе неточне відображення даних.

На палець. Кріпиться як прищіпка, або у вигляді рукавиці. До переваг можна віднести що, по мірі звикання не відчувається на руці, а до недоліків - не точні показання при холодній температурі.

Навушники-пульсометри. Побудовані з внутрішнім монітором серцебиття. Перевагами є – при використанні датчика даного типу можна суміщати приємне з корисним, тобто слухати музику та слідкувати за пульсом, а недоліки – заважають зосередитись [4,6].

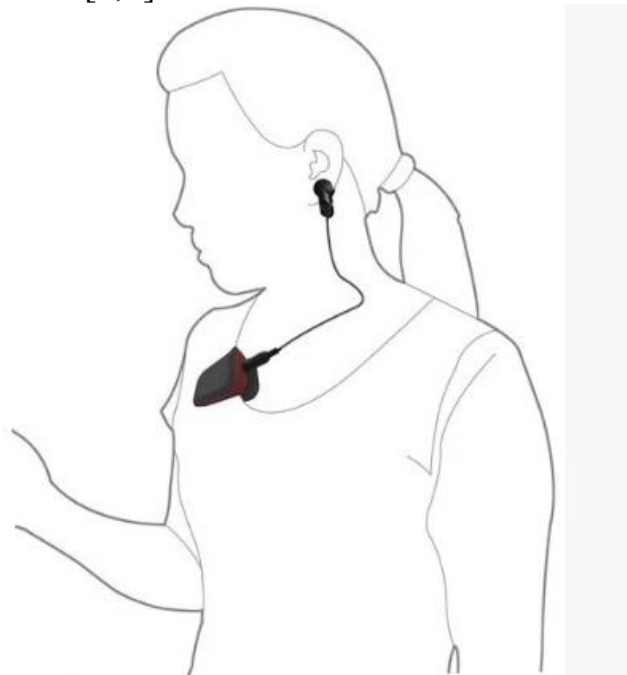


Рис.2. Датчик пульсації крові з кріпленням на мочку вуха [7].

В залежності від типу передачі сигналу датчики поділяються на аналогові та цифрові.

Аналоговий – підключається до певних пристроїв, наприклад до тренажерів або смартфонів. Після того, як сигнал починає зніматися, аналоговий пульсометр видає не закодоване повідомлення. Тому, якщо поряд працюють декілька аналогових пульсометрів, часто відбувається зчитування даних з чужих пульсометрів. А також може не працювати якщо знаходиться поблизу високовольтних ліній електропередачі.

Цифровий – не боїться перешкод і транслює більш точні показники [6].



За способом підключення датчиків поділяються на: дротові та бездротові датчики.

Дротовий датчик з'єднаний з приладом безпосередньо за допомогою дроту, дана конструкція є надійною тому, що захищена від перешкод.

Бездротовий датчик. В ньому дані передаються по радіоканалу як в аналоговому так і в цифровому вигляді. Певним недоліком є необхідність заміни елементів живлення, а також можливе порушення передачі сигналу в умовах радіоперешкод [8].

## **ВИСНОВКИ**

Використання датчиків серцевого ритму значно спрощує і пришвидшує визначення пульсу в різних умовах. В наш час вони знайшли широке застосування не лише в медичній сфері, а й серед спортсменів, для яких контроль серцебиття є невід'ємною частиною.

За рахунок того, що на сьогоднішній день є велика кількість всіляких типів та видів датчиків серцевого ритму, то у людей є можливість підібрати пульсометр під свої потреби.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Как выбрать пульсометр или монитор сердечного ритма для катания на велосипеде, беге, финесе [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.velootpusk.ru/velolife/equipment/187/>
- [2] Какой пульсометр выбрать [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://f.ua/articles/kak-vybrat-pulsometr.html>
- [3] Обзор фитнес-браслета Xiaomi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ixbt.com/mobile/xiaomi-mi-band-3-review.html>
- [4] Как выбрать пульсометр для бега? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://med-magazin.ua/articles/view/386/>
- [5] Эластичный нагрудный ремень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crosswoodchurch.com/products>
- [6] Как выбрать пульсометр GARMIN для тренировок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.garmin.ru/about/posts/kak-vybrat-pulsometr-garmin-dlya-trenirovok/>
- [7] Пульсометр HRM-2935 с датчиком на ухо [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://activ-ua.com/p132674083-pulsometr-hrm-2935.html>
- [8] Основы электрокардиографии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://compendium.com.ua/uk/clinical-guidelines-uk/cardiology-uk/section-5-uk/glava-1-osnovi-elektrokardiografii/>

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

УДК 621.43

Д.С. Бідник, студент гр. ПГ-п81  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОГЛЯД ТА СТАН СУЧАСНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

**Анотація.** В даній роботі розглянуті види сучасних вітрогенераторів їх класифікація, особливості та основні принципи їх роботи. Було проведено аналіз кожного виду вітрогенераторів та виявлені їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** вітрогенератор, вітряк, енергія, електроенергія, турбіна, лопаті, вітровий потік, генератор, ротор, потужність.

### ВСТУП

Люди використовують енергію вітру протягом багатьох тисяч років. Енергія вітру використовувалась у мореплавстві та у сільському господарстві. У 1887 році людство вперше використало вітер для виробництва електроенергії. Вітряну турбіну винайшов професор Джеймс Бліт у Шотландії [1]. За допомогою свого винаходу професор забезпечував свій будинок електроенергією. В наш час загальна встановлена потужність усіх вітрогенераторів склала 432 гігават, таким чином, сумарно перевершила потужність атомної енергетики. Вітрогенератори застосовуються на об'єктах різного призначення: приватні будинки і домогосподарства, підприємства, окремі споруди, які вимагають автономного енергопостачання. Їх встановлюють на відкритих підвищених територіях: поле, гори (пагорби), острів і навіть мілководдя. Однак у вітрогенераторів є свої мінуси, такі як: шум, дорожнеча транспортування, потребують періодичного обслуговування, небезпека для птахів. У 2014 році був представлений вітрогенератор нового типу без лопатей під назвою Vortex Bladeless, який має ряд переваг над традиційними вітрогенераторами [2].

### ОСНОВНІ ВИДИ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

Вітрогенератори прийнято розділяти на вертикальні і горизонтальні. Ці групи називаються так через розташування осі обертання крильчатки[3].



Рисунок 1. Горизонтальний тип вітрогенераторів[4]

Горизонтальні вітряки (рис. 1) мають більш високу ефективність, так як енергія потоку засвоюється ними набагато повніше. Недоліком цієї групи є необхідність налаштування на вітер, яка потребує наявності додаткового шарнірного зв'язку.

Потоки вітру обертають лопаті вітрогенератора: проходять через турбіну, призводить її в дію і вона починає обертатися. На валу турбіни виникає енергія, яка

буде пропорційна вітровому потоку. Чим сильніший вітер тим більше кількості енергії виникає. Далі енергія передається по валу ротора на мультиплікатор, який її генерує. Генератор перетворює механічну енергію в електричну.

Види горизонтальних вітрогенераторів[4]:

1. Однолопатеві та дволопатеві. Відрізняються високими руховими оборотами. Маса і габарити установки невеликі, що полегшує установку.
2. Трилопатеві. Можуть виробляти енергію до 7 мВт.
3. Багатолопатеві. Мають до 50 лопатей. Відрізняються великою інерцією.

Принцип роботи вертикальних вітрогенераторів полягає в тому, що вони перетворюють кінетичну енергію вітру в механічну. Конструкція складається з вітрової турбіни яка з'єднана з ротором (рис. 2), що працює в вертикальному положенні. В нижній частині конструкції розташований ротор і генератор. До центральної вісі, як з'єднана з ротором генератора приєднані лопаті вітряка. Генератор починає рухатися при обертанні лопатей гвинта і завдяки цьому з'являється можливість вироблення електроенергії [5].



Рисунок 2. Вертикальний тип вітрогенераторів [5]

Види вертикальних вітрогенераторів [5]:

1. Генератор з ротором Савоуніса. Складається з двох циліндрів (рис. 3). Перевагою є відсутність впливу вітру на швидкість обертання. Недоліком є те що він використовує силу вітру на 1/3 від всієї потужності.
2. Генератор з ротором Дар'є. Складається з двох або трьох лопатей (рис. 4). Перевагою є простота конструкції, легкий монтаж. Недоліком є високий шум, мала потужність роботи.
3. Ортогональний ротор. Складається з вертикальної вісі та лопатей (рис. 2). Перевагою низький шум та тривалий термін служби. Основним недоліком є розмір.



Рисунок 3. Ротор Савоуніса[5]



Рисунок 4. Ротор Дар'є[5]

### ВІТРОГЕНЕРАТОР VORTEX BLADELESS

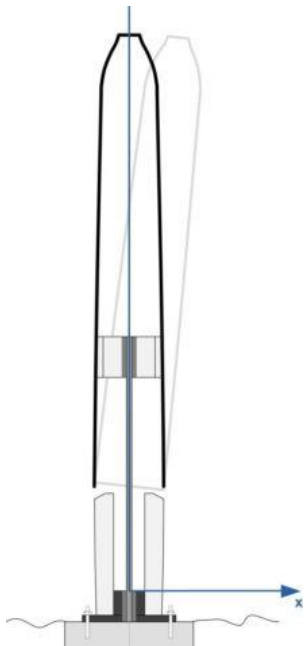


Рисунок 5. Вітрогенератор Vortex Bladeless[6]

Вітрогенератор Vortex Bladeless – це альтернативний та інноваційний спосіб використовувати енергію від вітру, з різними та захоплюючими характеристиками, що робить її революцією у виробництві енергії вітру[6].

Принцип роботи відрізняється від принципу роботи інших типів вітряків, які були розглянуті вище. Повітряні потоки створюють коливання, а генератор в середині перетворює механічні рухи в електроенергію. Ефективність таких турбін на 30% нижча ніж у звичайних, однак при тій же площі їх можна встановити набагато більше через відсутність тих самих лопатей, при цьому час роботи в них довше, так як не мають рухомих деталей та приводів, і не потребують періодичного обслуговування. Простий дизайн конструкції (рис. 5) дозволяє зекономити у двічі витрати на транспортування та встановлення. Принцип роботи Vortex Bladeless

полягає у розгойдуванні вертикального генератора невидимими вихорами повітря, що утворюються в формі ланцюжка позаду циліндричних об'єктів, що обдуваються газом або обтічною рідиною в поперечному напрямку. Явище утворення ланцюжків вихорів навколо обтічної рідини, що обдувається газом, вертикальної осі називається «доріжкою Кармана». Це явище лежить в основі унікального безлопатевого вітрогенератора.

Вихрові турбіни Vortex мають на меті бути «зеленішою» вітровою альтернативою. Це рішення для розподіленої генерації енергії їх можна ідеально розмістити біля будинку або над дахом.

Таблиця 1. Порівняння вітрогенераторів

<i>Тип</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
1. Вітряк Vortex Bladeless	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Компактність</li> <li>• Безшумність</li> <li>• Відсутність лопатей</li> <li>• Не потребують періодичного обслуговування</li> <li>• Більш екологічний</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ефективність на 30% нижче ніж у інших</li> </ul>
2. Однолопатеві\дволопатеві вітряки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Велика потужність</li> <li>• Невелика маса та габарити</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шум</li> <li>• Потребують періодичного обслуговування</li> <li>• Створюють небезпеку для птахів та кажанів</li> </ul>
3. Генератор з ротором Савоуніса	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Відсутність впливу вітру на обертання</li> <li>• Невеликий розмір</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мала потужність</li> </ul>
4. Генератор з ротором Дар'є	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота конструкції</li> <li>• Легкість монтажу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шум</li> <li>• Мала потужність</li> </ul>
5. Ортогональний ротор	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низький шум</li> <li>• Тривалість роботи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Розмір</li> </ul>

## ВИСНОВОК

Енергія вітру поновлювана й невичерпна. Вітроенергетична установка – технічна конструкція, яка перетворює енергію рухомих повітряних мас в електричну. Найбільшого поширення в світі набула конструкція вітрогенератора із трьома лопатями і горизонтальною віссю обертання, але ця конструкція не є ефективною і має ряд недоліків. На зміну традиційних вітряків з трьома лопатями та з горизонтальною віссю обертання, приходять нові вітрогенератори з новим принципом роботи такі як Vortex Bladeless. Вони є більш екологічними і економічними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Первые ветроэлектростанции – Режим доступа: [https://studwood.ru/1651443/tehnika/pervye\\_vetroelektrostantsii](https://studwood.ru/1651443/tehnika/pervye_vetroelektrostantsii)
- [2] Ветрогенератор Vortex Bladeless – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/energy/veter/62-besshumnyj-vertikalnyj-vetrogenerator-bez-lopastej-ot-vortex-bladeless-startap-ispanskikh-inzhenerov.html>
- [3] Наиболее эффективные виды ветрогенераторов — Режим доступа: <https://energo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>
- [4] Горизонтальный ветрогенератор, принцип работы, типы — Режим доступа: [http://ukrelektrik.com/publ/gorizontalnyj\\_vetrogenerator\\_tipy\\_osnovnye\\_osobnosti/1-1-0-1638](http://ukrelektrik.com/publ/gorizontalnyj_vetrogenerator_tipy_osnovnye_osobnosti/1-1-0-1638)
- [5] Вертикальный ветрогенератор – особенности конструкций разного типа и самостоятельное изготовление — Режим доступа: <https://elektrika.su/elektrooborudovanie/generatory/vertikalnyj-vetrogenerator-1796>
- [6] Bladeless Wind Energy — Режим доступа: <https://vortexbladeless.com/>

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

## УДК 621.45.017

Медведчук Ю.О., студент гр. ПГ-81мп, Сапегін О.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ДВОМАСОВИЙ МІКРОМЕХАНІЧНИЙ ГІРОСКОП

**Анотація.** У проведено розробку тривимірної конструкції мікромеханічного гіроскопа. Проведено імпорту отриманої 3D моделі приладу в систему MATLAB. Проведено моделювання роботи мікромеханічного гіроскопа в умовах вібрації та показано, що такий гіроскоп може бути датчиком як кутової швидкості так і прискорення.

**Ключові слова:** мікромеханічний гіроскоп, ММГ, вторинні коливання інерціальний вимірювальний модуль.

#### ВСТУП

В навігаційних системах та системах стабілізації і керування рухом основними датчиками первісної інформації про кутові та лінійні переміщення об'єкту є гіроскопічні прилади різних типів і акселерометри. З розвитком мікроелектронних технологій у наш час стало можливим використання їх для створення мініатюрних інерційних вимірювачів, що отримали назву мікромеханічних [1].

Діапазон застосування мікромеханічних інерційних датчиків надзвичайно широкий. Мікромеханічні датчики дозволяють створювати малогабаритні інерціальні навігаційні системи, інтегрувати їх із супутниковими навігаційними системами, та забезпечувати необхідну точність визначення положення та орієнтації різних рухомих об'єктів: літальних апаратів, морських об'єктів, наземних транспортних засобів [2]–[5].

#### ПРОГРАМНИЙ АЛГОРИТМ ММГ LL-ТИПУ

У роботі [6] наведено математичну модель одномасового мікромеханічного гіроскопа (ММГ) LL-типу

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2h_1\dot{x} + \left[ k_1^2 - (u_{Yc}^2 + u_{Zc}^2) \right] x + 2u_{Yc}\dot{z} + u_{Xc}u_{Zc}z &= q_1 \\ \ddot{z} + 2h_2\dot{z} + \left[ k_2^2 - (u_{Yc}^2 + u_{Xc}^2) \right] z - 2u_{Yc}\dot{x} - u_{Xc}u_{Zc}x &= q_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Можна відмітити, що перше рівняння системи (1) описує первинні коливання інерційної маси (ІМ), викликані системою збудження, а друге – вторинні коливання, що виникає внаслідок дії зовнішньої кутової швидкості. В подальшому припускається, що інерційні маси і пружні елементи двомасового гіроскопа виготовлені ідентичними, тоді його динаміка буде описуватись двома системами (1). В такому випадку амплітуда первинних коливань другої ІМ буде мати протилежний знак.

#### РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ММГ

ММГ найчастіше працюють в умовах високочастотних вібрацій, тому доцільно використовувати багатомасові чутливі елементи. За основу приймемо модель ММГ запропоновану в роботі [7]. На її основі було розроблено тривимірну модель двомасового ММГ LL-типу у середовищі SolidWorks. В конструкції застосовано додатковий пружний елемент, що пов'язує рухомі



рамки, за допомогою якого синхронізуються частоти коливань інерційних мас. Модель створена за приблизними розмірами чутливих елементів (рис.1).

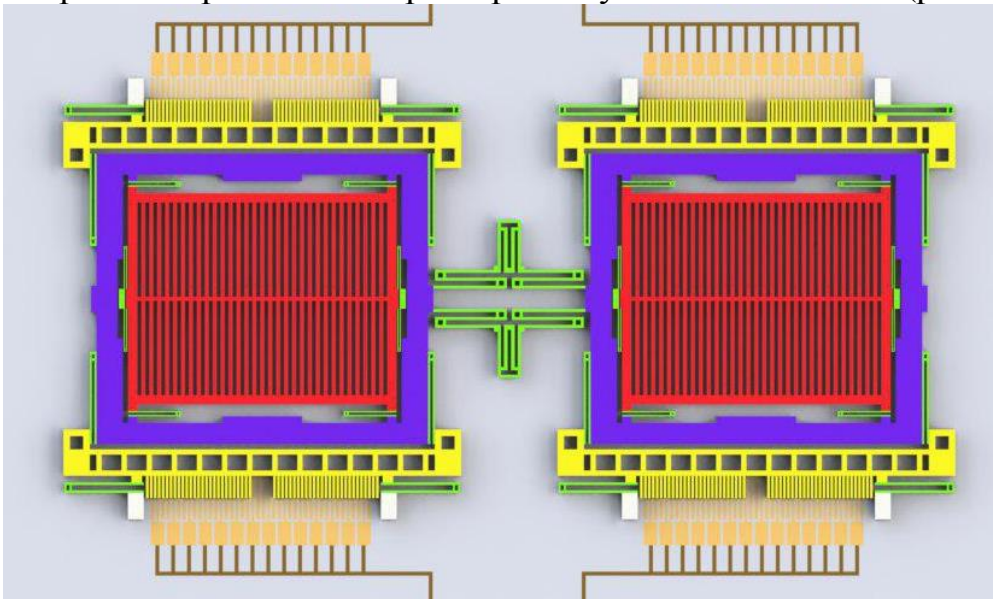


Рис. 1. 3D-макет гіроскопа

### ІМПОРТ 3D МОДЕЛІ В СИСТЕМУ MATLAB

Для наочності моделювання, імпортуємо створену у SolidWorks 3D модель гіроскопа до середовища Matlab, використовуючи Simscape Multibody Link Plug-In. За допомогою нього формується XML файл, що містить інформацію про тривимірні об'єкти, взаємозв'язки та прив'язки моделі гіроскопа. В результаті отримано програмну модель двомасового ММГ, що поєднує в собі можливість інтегрувати диференційні рівняння руху у Matlab–Simulink та одночасно спостерігати за рухом 3D моделі (рис.2).

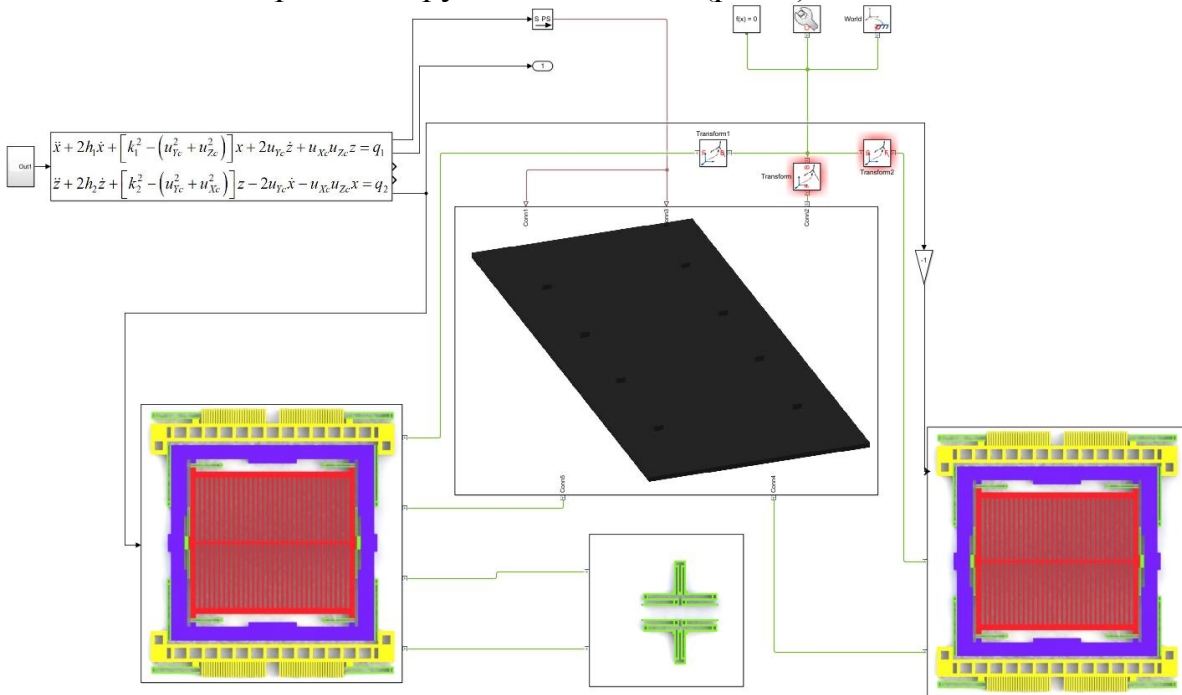


Рис. 2. Модель ММГ у Simulink

## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Створена модель дозволяє проводити різноманітні дослідження динаміки ММГ. Відповідно до роботи [7], вихідним сигналом ММГ є інформація про вторинні коливання ІМ. Його можна формувати за двома законами:  $Z1-Z2$  та  $Z1+Z2$ . Перший закон містить інформацію про кутову швидкість обертання основи, а другий – про лінійне прискорення.

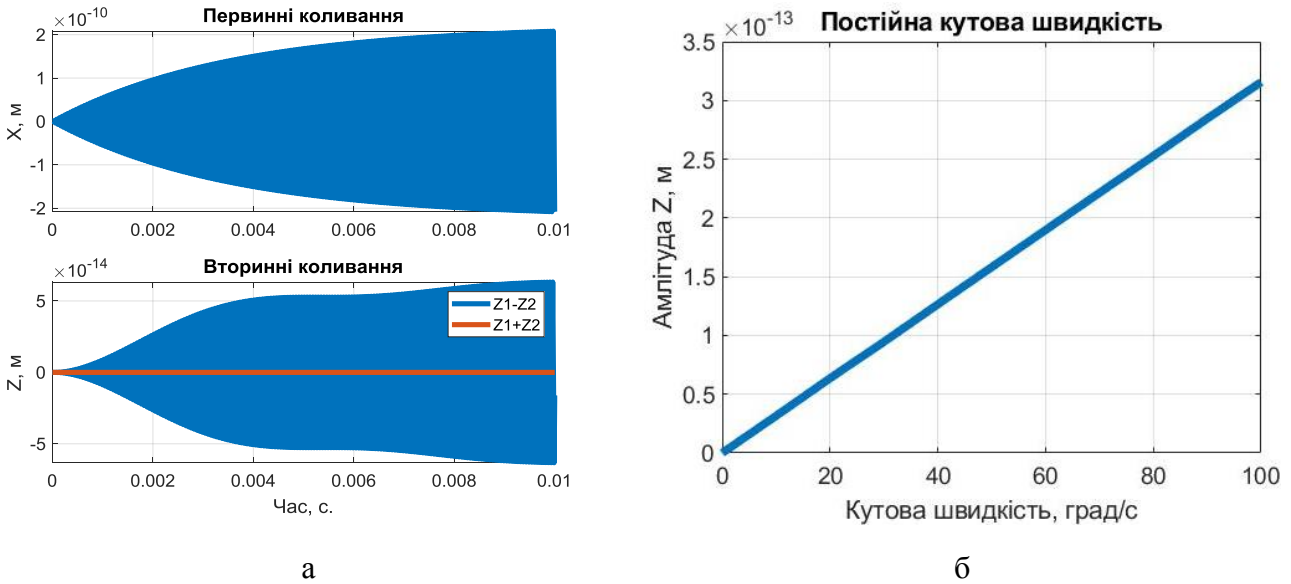


Рис.5. Двомасовий ММГ при постійній кутовій швидкості: *а* – коливання ІМ; *б*–залежність вторинних коливань від кутової швидкості

Результати моделювання, представлені на рис.5 *а* показують характер первинних та вторинних коливань ММГ при постійній кутовій швидкості. На рис.5 *б* представлена залежність величини амплітуди вторинних коливань ІМ при збільшенні кутової швидкості.

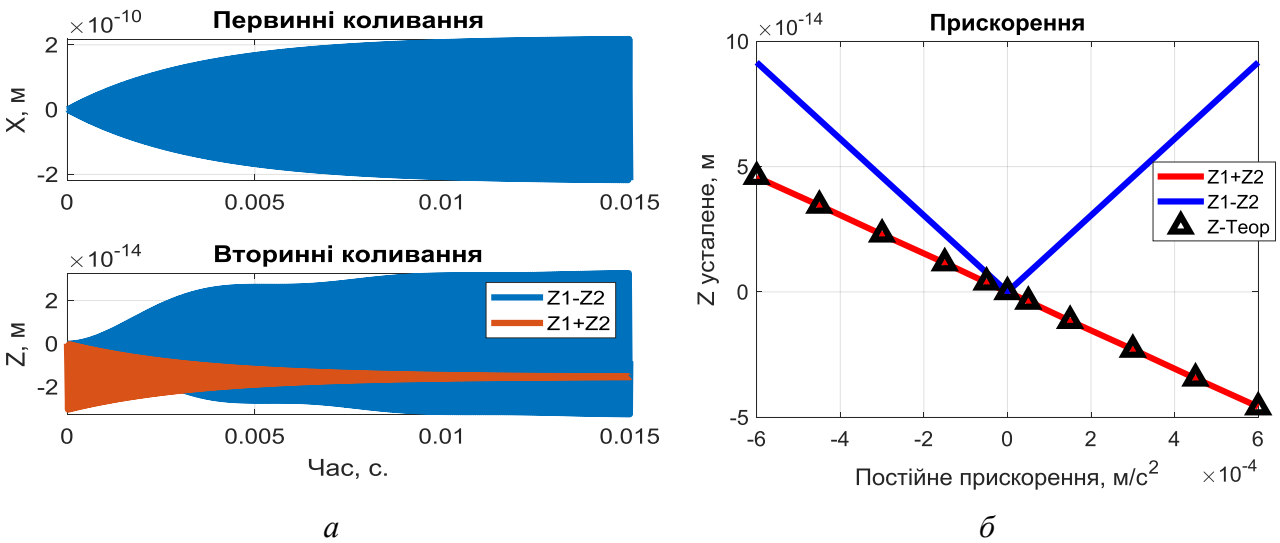


Рис.6. Двомасовий ММГ при постійному прискоренні: *а* – коливання ІМ; *б* – залежність вторинних коливань від прискорення

На рис.6 *а* показано, що використання закону  $Z1+Z2$  дозволяє побудувати на базі двомасового ММГ прилад для вимірювання прискорення, оскільки



амплітуда вторинних коливань пропорційна йому. З рис.6 видно, що амплітуда вторинних коливань ЧЕ зростає при збільшенні кутової швидкості основи, а встановлене значення коливань ЧЕ гіроскопа зміщується відносно початкового на величину  $Z_T = \frac{W_z}{k_2^2}$ . Результати моделювання співпадають з аналітично розрахованими.

## **ВИСНОВКИ**

В роботі досліджувався двомасовий мікромеханічний гіроскоп L-L типу. Під час програмного моделювання було проаналізовано адекватність моделі та розглянуто рух чутливого елемента гіроскопа при різному русі основи. В цілому моделювання показало збіжність результатів із описаними в літературі. Було встановлено, що використання двомасової схеми дозволяє повністю компенсувати вплив гармонічного прискорення на рух інерційних мас ММГ. Крім того використання таких диференціальних схем побудови ММГ дозволяє використовувати його як датчик прискорення.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В. Я. Распопов, *Микромеханические приборы. Учебное пособие.* М: Машиностроение, 2007.
- [2] С. С. Сысоева, “Тенденции рынка High-end МЭМС-датчиков инерции. Новые уровни характеристик и исполнения,” *Компоненты и технологии*, no. 6, pp. 40–46, 2014.
- [3] А. Н. Сапегин and М. В. Норенко, “Бесплатформенная инерциальная навигационная система на основе прецизионных микромеханических датчиков,” in *Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение»*, 2016, pp. 120–122.
- [4] G. T. Schmidt, “GPS Based Navigation Systems in Difficult Environments,” *Giroskopiya i Navig.*, vol. 27, no. 1, pp. 3–21, 2019.
- [5] V. M. N. Passaro, A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, “Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10, 2017.
- [6] Ю. Ф. Лазарев and П. М. Бондар, *Основи теорії чутливих елементів систем орієнтації*, 1st ed. Київ: НТУУ “КПІ,” 2011.
- [7] С. Л. Лакоза, “Інерціальна система оцінки параметрів руху людини,” *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*, 2017.

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

## УДК 629.7.054

*О.М.Палій, студент гр. ПГ – 81 мп, Я.В.Чепік, студентка гр.ПГ – 91мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЕКТУВАННІ СУЧАСНИХ ПРИЛАДІВ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ**

*Анотація.* У роботі розглянуті методи підвищення точності та розширення функціональних показників приладів систем орієнтації і навігації (ПСОН) при їх проектуванні з використанням сучасних інформаційних технологій. Представлені та описані загальна структура сучасних датчиків таких приладів, її складові частини та програмно - апаратні засоби, що використовуються при їх проектуванні. Показана функціональна взаємодія елементів таких засобів між собою, що сприяє підвищенню ефективності вимірювачів. Усе це реалізується в конкретних системних функціях, які активізуються в залежності від умов експлуатації приладу.

**Ключові слова:** прилади систем орієнтації і навігації, проектування, інформаційна база.

#### **ВСТУП**

Розвиток сучасних приладів систем орієнтації і навігації характеризується постійним підвищенням точності, надійності та розширенням їх функціональних можливостей. Головні проблеми, які виникають при проектуванні цих приладів, пов'язані з можливістю їх експлуатації в умовах інтенсивних теплових та вібраційних збурень при дії кутової та поступальної вібрації, наявності похибок в наслідок статичного та динамічного дебалансів, нерівножорсткості елементів підвісу тощо.

Останнім часом, у зв'язку з швидким розвитком науково – технічного прогресу, з'явилася також потреба в розширенні функціональних можливостей таких датчиків. Були розроблені нові датчики, в яких реалізовувано функції самодіагностики, самокалібрування, корекції функції перетворення, реконфігурації та інші нововведення.

У роботі проведено аналіз інформаційних методів проектування сучасних приладів систем орієнтації і навігації. Серед поширених методів розглядається метод, в якому використовується додаткова інформація про стан та рух чутливого елемента.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

У зв'язку з інтенсивним збільшенням кількості датчиків та розвитком комп'ютерних технологій розробкам сучасних методів і засобів підвищення ефективності приладів систем орієнтації і навігації в останні роки присвячено багато робіт [1-3]. Інтенсивний розвиток мікропроцесорів в частині швидкодії, розрядності та об'ємів пам'яті наряду з безперервним зниженням їх вартості привели до технічних можливостей розширювати клас задач, які вирішуються цими датчиками. У число основних завдань, що стоять перед розробниками сучасних приладів систем орієнтації і навігації, входять забезпечення високої точності приладів в реальних умовах експлуатації, розширення їх функціональних можливостей, реалізація функцій самокалібрування, температурної компенсації, діагностики стану тощо. В даній роботі проаналізовані сучасні інформаційні методи проектування датчиків систем орієнтації і навігації на базі накопичення наукових знань і поточних відомостей про стан вимірювачів.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Розробка методів проектування сучасних датчики систем орієнтації і навігації методами інформаційних технологій набуває дедалі більшого значення. Серед багатьох застосувань цих методів набуває поширення метод, оснований на накопиченні і використанні знань і поточних відомостей як про стан чутливого елемента датчика так і інформації про оточуюче середовище.

Модель взаємодії основних елементів такої функціональної структури можна представити у вигляді ряду основних і допоміжних підсистем [5].

До групи основних підсистем відносять:

- інформаційно – вимірювальна підсистема;
- підсистема цифрової обробки сигналу;
- інформаційно - довідкова підсистема;
- інформаційно – діагностична підсистема;
- інформаційно – розрахункова підсистема.

Допоміжні підсистеми можуть включати: інформаційно – аналітичну підсистему; інформаційні бази наукових знань, даних, прецедентів, моделей тощо.

Таке поділення на підсистеми умовне. В кожному окремому випадку це поділення може мати свою конфігурацію.

Інформаційно - вимірювальна підсистема має в своєму складі елементи, що забезпечують отримання основних інформаційних ресурсів датчиків. До її складу входять:

- первинні перетворювачі (інерційна маса, збурена інерційна маса ), які використовуються для формування сигналу, пропорційного вимірювальному параметру (прискоренню або кутовій швидкості) ;

- вторинні перетворювачі: прямі, що використовуються для вимірювання кутового або лінійного переміщення інерційної маси, та зворотні - для формування сигналу зворотного зв'язку; як правило такі перетворювачі у своєму складі мають блоки підсилення, фільтрації та масштабування;

- додаткові вимірювачі (температури, кутової та лінійної швидкості, прискорення, фази тощо), які використовуються, в першу чергу, для формування сигналів корекції та компенсації [3].

Інформаційно - довідкова підсистема містить інформацію довідкового характеру, а також інтегровані інформаційно - вимірювальні бази наукових знань, даних та прецедентів. Ця підсистема використовується, в першу чергу, для розрахунків сигналів за моделями (корекція функції перетворення, температурна компенсація, компенсація динамічної похибки, тощо ) [4].

Підсистема цифрової обробки сигналу перетворює аналогові сигнали в цифрові для подальшої використання в інформаційно – розрахунковій підсистемі.

Інформаційно –аналітична підсистема, одна з основних підсистем сучасних датчиків, здійснює на основі наукових досліджень комп'ютеризацію найбільш наукоємних процесів, дає змогу поповнювати і модифікувати інформаційно - вимірювальну базу знань, обґрунтовувати висновки щодо ефективності нововведень різного характеру.

В цій підсистемі, в першу чергу, доцільно використовувати результати

додаткових параметрів вимірювань, використовуючи інформаційну, функціональну, структурну, часову, алгоритмічну та інші види надлишковостей. Для отримання надлишкової інформації використовують, наприклад, датчики первинної інформації, які частково дублюють один одного. Ці датчики, як правило, мають різні фізичні принципи вимірювання. В цьому випадку часто похибки датчиків мають різні причини виникнення і можуть бути розділені по частотним діапазнам. При наявності інформаційної надлишковості використовують алгоритми комплексної обробки інформації, що дозволяє отримати максимальну вигоду при отриманні високої точності вимірювальної системи. При цьому часто виникає можливість мінімізувати динамічну складову похибки і підвищити точність оцінки параметрів руху об'єкту. Використання такої інформації в останній час стало традицією [6].

## **ВИСНОВКИ**

У роботі було проведено огляд сучасних датчиків систем орієнтації і навігації та методів їх проектування. Такі датчики, як правило, функціонують в складі мікропроцесорних систем. Показано, що використання датчиків систем орієнтації і навігації в сукупності з мікропроцесорною технікою дозволяє реалізувати нові ефективні алгоритми обробки вимірювальної інформації, дає змогу розширити функції датчиків до можливостей адаптування в навколишньому середовищі, організувати процес самокалібрування датчиків, відновлення втрачених функцій та прогнозування ступеня функціональної готовності.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Елисеєв Д.П. Исследование влияния линейных вибраций на ММГ RR – типа с учетом нелинейности емкостных датчиков/ Д.П. Елисеєв, А.С. Ковалев // М-лы XVI конф. молодых ученых «Навигация и управление движением». – 2014. – С. 406-412.
- [2] Елисеєв, Д. П. Обзор средств защиты инерциальных чувствительных элементов от инерционных воздействий // Материалы XIV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». – 2012. – С.464-470.
- [3] Елисеєв, Д. П. Методы повышения стойкости микромеханических гироскопов к механическим воздействиям / М. И. Евстифеев, Д. П. Елисеєв, И. Б. Челпанов // Гироскопия и навигация. – 2014. – №.4. – С.56-68.
- [4] Мироненко П.С. Модель погрешности осевого микромеханического акселерометра в условиях вибрации / П.С. Мироненко, В.В. Демьяненко, Т.В. Демьяненко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.-2014.- Вип.47(1).-С. 39-43.
- [5] Михайленко В.М. Аналіз сучасних інформаційних методів системи діагностики технічного стану будівель / В.М. Михайленко, О.О. Терентьев, Є.Є. Шабала // Управління розвитком складних систем.- 2017.- №29.- С.136-142.
- [6] Волков В.Л. Комплексная обработка информации в микромеханической системе/ В.Л. Волков, И.В. Жидкова, А.А. Жидков// Труды Нижегородского гос. техн. университета им. Р.Е. Алексеева.- 2014.-№4 (106).- С. 125-132.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Мироненко П.С.*

УДК 004.4'2

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОВИ FORTH НА СУЧАСНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРАХ

**Анотація.** Найбільш розповсюдженими засобами програмування мікроконтролерів є С та асемблер і, як кожен інструмент, вони мають свої недоліки. Програмування мовою С дозволяє швидко розробляти програмні продукти і надалі їх підтримувати, асемблер, в свою чергу, дозволяє найбільш повно розкрити можливості мікроконтролера, проте його складність не дає змогу швидко розробляти і підтримувати проекти. В роботі розглядається можливість використання мови програмування Forth, яка поєднує в собі переваги високорівневої розробки і низькорівневої швидкодії, для програмування сучасних мікроконтролерів сімейства ARM Cortex.

**Ключові слова:** STM32F3DISCOVERY, Forth, інтерпретатор, асемблер, відладочна плата, Mecrisp-Stellaris, ARM, мікроконтролер, ST-LINK, USB-TTL, PuTTY, Tera Term, конвертор.

### ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Історично склалося, що основними і найбільш популярними мовами програмування для мікроконтролерів є мова С і асемблер.

Мова С відноситься до мов високого рівня. Порівнюючи з асемблером, програми мовою С менш громіздкі, легші для порозуміння і відладки. С має величезну кількість різноманітних бібліотек готового коду для вирішення задач в самих різних сферах застосування мікроконтролерів.

Однак, тільки за допомогою асемблера можливо найбільш повно розкрити потенціал кожного мікроконтролера, тому що він забезпечує максимальну швидкодію і компактний код, що особливо важливо для контролерів з малим об'ємом пам'яті і невисокою тактовою частотою. Використання асемблера для написання складних проектів недоцільно, оскільки для цього необхідне глибоке знання архітектури та команд мікроконтролерів [1], що значно ускладнює його використання для навчання, відладки коду та подальшу його підтримку.

Рішенням, що об'єднує переваги високорівневої розробки та низькорівневої швидкодії, може бути використання мови програмування Forth.

Мову Forth розробив Чарльз Мур на початку 1970х років, яка згодом була перенесена на безліч платформ, в тому числі і ARM. Основою мови Forth є «словник» (в мові С це бібліотеки), в якому містяться «слова» (функції). Опис слів в словнику називають «статтею» [2].

Таким чином, мета даної роботи - огляд мови програмування Forth і її використання для написання програм для сучасних мікроконтролерів.

### ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості платформи для завантаження і виконання програм на Forth була використана відладочна плата STM32F3DISCOVERY [3], для якої існує Forth інтерпретатор Mecrisp-Stellaris [4]. Для прийому-передачі даних відладочна плата підключається до комп'ютера за допомогою USB-TTL перехідника. За замовчуванням Forth-інтерпретатор використовує USART1, який на відладочній платі STM32F3DISCOVERY виведений на ніжки PA9 (TX), PA10 (RX). Живлення плати здійснюється через USB ST-LINK роз'єм. Схема підключення показана на рис.1.

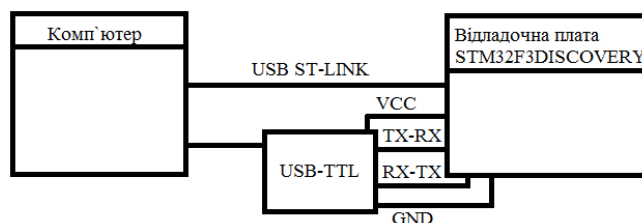


Рис.1 Схема підключення відладочної плати до комп'ютера

Для відправлення файлів Forth-інтерпретатору використаний Tera Term [5], так як він дає можливість відправляти файли без використання сторонніх програм, але у нього є недолік, що не дає повністю розкрити можливості Forth, а саме неповна підтримка відображення символів кирилиці, що не дає можливості коректно відображати слова, записані в словник на кирилиці (про це далі), тому для цих цілей був використаний термінал PuTTY [6] із швидкістю передачі 115200 Бод.

У словниці Forth Mecrisp-Stellaris реалізована велика кількість слів [7], які відразу можна використовувати, завантаживши інтерпретатор у пам'ять мікроконтролера. За замовчуванням всі, додані програмістом, слова записуються в оперативну пам'ять і після перезавантаження мікроконтролера, відповідно, стираються. Тому для збереження доданих слів у словнику, необхідно виконати команду «compiletoflash», результат роботи - поява слова «ok» у вікні терміналу (Рис.2)

```
Mecrisp-Stellaris 2.4.8 for STM32F303 by Matthias Koch
compiletoflash ok.
```

Рис.2 Результат роботи слова «compiletoflash».

Для додавання нового слова використовується запис виду:

: «Ім'я» «визначення»;

Всі символи і слова відокремлюються один від одного пропусками. Тепер розглянемо прості приклади використання словника Forth реалізації Mecrisp-Stellaris:

У словнику є слово «emit», яке виводить в термінал символ ASCII, код якого записується перед словом (Рис.3):

```
34 emit " ok.
```

Рис. 3. Результат роботи слова «emit»

Створимо для даної операції нове слово, використовуючи, описаний вище, алгоритм додавання нових слів (Рис.4):

```
: double_quotes 34 emit ;
double_quotes " ok.
```

Рис. 4. Визначення нового слова для виводу подвійних лапок

У мові Forth всі операції виконуються з використанням стека, виняток становлять слова, які не мають ніякого впливу на стек (наприклад, вищевказане слово "emit"). Для керування передачею аргументів стеку в Forth використовуються коментарі, які мають вигляд круглих дужок - "()" і виконують функції, безпосередньо, і коментарів, і керування. Якщо слово використовує аргументи, що знаходяться в стеку, то вони записуються ліворуч

від подвійного дефіса, при поверненні аргументів в стек - праворуч: ("Аргументи, що використовуються" - "агрумента, що повертаються"). Реалізуємо слово, яке виконує операцію складання (Рис. 5):

```
: sumofnums ( arg1 arg2 -- sum ) + ; ok.  
2 3 sumofnums . 5 ok.
```

Рис. 5. Визначення нового слова, що реалізує додавання.

Умовний оператор "if" має вигляд: "значення з яким порівнюється число" = if "слова, що виконуються" then "слова, що виконуються". Якщо умова істинна, то виконуються слова, що стоять після "if", інакше - слова, що стоять після "then". Визначимо слово, яке виконує операцію перевірки температури і якщо значення більше заданого, то виводиться попередження (Рис.6):

```
: temp_cmp ( temp -- ) 85 > if ." Warning! Max temperature " then ; ok.  
84 temp_cmp ok.  
85 temp_cmp ok.  
86 temp_cmp Warning! Max temperature ok.
```

Рис. 6. Визначення нового слова, що реалізує умовну перевірку

Цикл з лічильником в Forth має вигляд: "кінцеве значення" "початкове значення" do "повторювана операція" loop. Реалізуємо слово, що виводить в циклі слово "ARM Cortex" (Рис. 7):

```
: my_loop 3 0 do cr ." ARMCortex " loop ; ok.  
my_loop  
ARMCortex  
ARMCortex  
ARMCortex ok.
```

Рис. 7. Визначення нового слова, що виводить строку.

Раніше всі створені слова були визначалися англійськими літерами. На відміну від мови C, а також багатьох інших, в Forth слова можна визначати російською та українською мовами. Визначимо слово українською мовою (Рис. 8):

```
: додавання ( ? -- ? ) + ; ok.  
2 3 додавання . 5 ok.
```

Рис. 8. Визначення нового слова українською мовою.

Також є можливість передавати інтерпретатору Forth файл з командами або описом слів. Для демонстрації цієї можливості всі наступні операції проведемо в Tera Term терміналі. Після запуску програми обираємо віртуальний COM порт, до якого підключений USB-TTL конвертор. Далі меню «Налаштування» «COM-порт» виставляємо швидкість «115200» Бод і затримку на передачу строки «50мс». Затримка потрібна для того, щоб інтерпретатор Forth встиг обробити кожен рядок у переданому файлі. Створимо текстовий файл, що містить наступне (Рис. 9):

```
: hello ." Mecrisp-Stellaris " ;  
hello
```

Рис. 9. Вміст файла, що передається.

Далі меню «Файл» «Передати файл» обираємо файл і натискаємо «Відкрити». У вікні терміналу з'явиться (рис. 10 а), натискаємо Enter - виконається, раніше визначене слово «hello» (рис. 10 б):

```
: hello ." Mecrisp-Stellaris " ; ok.  
hello
```

а

```
: hello ." Mecrisp-Stellaris " ; ok.  
hello Mecrisp-Stellaris ok.
```

б

Рис.10. Результат завантаження файла.

## ВИСНОВОК

У даній роботі була розглянута можливість програмування мовою Forth реалізації Mecrisp-Stellaris ARM мікроконтролера з використанням відладочної плати STM32F3DISCOVERY. Після проведення дослідження отримані результати показали, що використання мови Forth при програмуванні мікроконтролерів значно розширює можливості програміста завдяки гнучкості мови, безлічі готових реалізованих слів (в роботі розглядалися лише деякі з них) і при цьому малого розміру інтерпретатора, можливості визначати слова, не тільки англійськими літерами, на відміну від багатьох мов програмування, в тому числі С та асемблера, а і кирилицею. Стекова передача параметрів, модульність і безмежна розширюваність - все це робить його зручним засобом, що поєднує низькорівневу швидкодію і високорівневу швидкість розробки програмних продуктів, для програмування сучасних мікроконтролерів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] STM32F303xB STM32F303xC. – Режим доступа: [www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303vc.pdf](http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303vc.pdf) - вільний.
- [2] The Evolution of Forth. — Режим доступа: [www.forth.com/resources/forth-programming-language/](http://www.forth.com/resources/forth-programming-language/) — вільний.
- [3] Переваги використання відладочних плат STM32F3DISCOVERY у навчальному процесі на кафедрі ПСОН / І. М. Платов // Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації та керування: збірник статей XI науково-практичної конференції студентів та аспірантів "ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ", 15-16 травня 2018 р., м. Київ, ПБФ, ПСОН, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво "Центр учбової літератури". - 2018. - С. 49-52.
- [4] Mecrisp. - Режим доступа: <http://mecrisp.sourceforge.net/> - вільний.
- [5] Tera Term Home Page. - Режим доступа: <http://ttssh2.osdn.jp/> - вільний.
- [6] Download PuTTY. - Режим доступа: <https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/latest.html/> - вільний.
- [7] Glossary. - Режим доступа: <http://mecrisp.sourceforge.net/glossary.htm> - вільний.



УДК 621.373.54

А. В. Пономаренко, студент гр. ПГ-81мп, О. М. Павловський, доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ НАПІВМОСТОВОГО ТИПУ

**Анотація:** У статті розглянуто сфери застосування, переваги та недоліки основних технологій перетворювачів напруги, що дозволить підвищити експлуатаційні характеристики розроблюваного пристрою. Наведено головні вимоги для досягнення стабільності вторинного джерела живлення, що є невід'ємною складовою сучасних перетворювачів. Продемонстровано вплив зміни частоти роботи імпульсного блоку живлення на його ККД, що підтверджено експериментально. Висвітлено основні проблеми, що виникають при керуванні зміною частоти. Сформульовано напрямки роботи над проблемами.

**Ключові слова:** лінійний стабілізатор (ЛС), direct current (DC), alternating current, (AC), вторинний блок живлення (ВБЖ), імпульсне джерело живлення (ІДЖ), компенсація зворотного зв'язку, коефіцієнт корисної дії (ККД), широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).

### ВСТУП

З плином часу застосування та впровадження напівпровідникових приладів в різноманітних областях техніки збільшується з кожним роком. Така елементна база дозволила суттєво підвищити техніко-економічні характеристики пристроїв, розширити функціональні можливості і як наслідок, знизити споживання електроенергії, підвищити відмовостійкість та екологічність.

Більшість сучасних пристроїв, гаджетів та електронних блоків, містять в своїй структурі вторинний блок живлення (ВБЖ). Головне призначення ВБЖ – перетворення одного виду електричної енергії в інший або зміні її параметрів, зазвичай енергії, що надходить з мережі змінного струму, в енергію, придатну для живлення вузлів пристрою (постійний струм відносно низької напруги). ВБЖ – це життєво важливий компонент будь-якого електронного пристрою, що захищає пристрій при різноманітних нештатних ситуаціях (неякісна напруга живлення, її короткочасне перевищення, імпульсні шуми, зовнішні електромагнітні діяння, тощо). Тому для організації чіткої і стабільної роботи системи в цілому блок живлення має володіти:

- достатньою кількістю систем захисту та відповідною організацією її між собою;
- належним рівнем якості елементної бази;
- продуманим дизайном розміщення компонентів і доріжок друкованої плати;
- ретельною системою контролю та регуляції вихідної напруги.

Також необхідно мати уявлення про обмеженість його можливостей і їх причини, про потенційні проблеми, які можуть виникнути в ході експлуатації і способах їх вирішення.

### ОГЛЯД РОБІТ, ЩО БУЛИ ПРОВЕДЕНІ ЗА СУМІЖНИМИ ТЕМАМИ

В статті [1] проведено порівняльний аналіз статичних втрат в напівпровідникових ключах традиційного імпульсного джерела живлення (ІДЖ) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і квазірезонансного з перемиканням ключового елемента при нульових значеннях струму.

У роботі [2] пропонується метод широтно-імпульсного регулювання мостовим перетворювачем напруги постійного струму, напруга живлення якого змінюється в широкому діапазоні, заснований на зміні частоти комутації транзисторів мостового інвертора, реалізований у вигляді пропорційно-інтегрального регулятора з можливістю регулювання параметрів. Розроблений метод дозволяє поліпшити динамічні характеристики системи і обмежити максимальний струм, комутований транзисторами. Спроектований закон управління дозволяє отримати бажану стабілізацію напруги на навантаженні.

В статті [3] запропоновано схемні рішення по модернізації комп'ютерного блока живлення АТХ-350 для використання його в якості лабораторного з можливістю безступінчастого регулювання струму та напруги. Розроблені універсальні підходи з модернізації схеми керування були використані для практичної реалізації лабораторного блока живлення, характеристики якого відповідають заданим вимогам.

### ОГЛЯД ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ АС/DC, DC/DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

За принципом роботи ВБЖ можна поділити на наступні три основні групи, відображені в таблиці 1:

1. Лінійні стабілізатори (ЛС);
2. ІДЖ з ШІМ (PWM – pulse-width modulation);
3. Резонансна та квазірезонансна технологія імпульсних джерел живлення з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Таблиця 1. Порівняння чотирьох технологій джерел живлення [4]

<i>Показник</i>	<i>Лінійний стабілізатор</i>	<i>Імпульсний стабілізатор з ШІМ</i>	<i>Імпульсний стабілізатор з резонансним переходом</i>	<i>Квазірезонансний імпульсний стабілізатор</i>
Вартість	Низька	Висока	Висока	Дуже висока
Маса	Висока	Невелика	Невелика	Невелика
RF-шум	Відсутній	Високий	Середній	Середній
ККД	35-50%	70-85%	78-92%	78-92%
Декілька виходів	Ні	Так	Так	Так
Приблизний час розробки	1 тиждень	8 людино-місяців	10 людино-місяців	10 людино-місяців

1. ЛС використовуються переважно в стаціонарному обладнанні, в якому виділення тепла і невисокий ККД не грають вирішальної ролі на відміну від низької вартості і коротких термінів розробки. ЛС не мають гальванічної розв'язки від мережі живлення, тому, з міркувань безпеки, використовуються лише в системах живлення з низькою напругою (не більше 40 VDC). На виході ЛС рівень напруги завжди нижчий за їхню вхідну напругу. Частина вхідної напруги ЛС гасить на собі до необхідного вихідного рівня. Як результат: велике розсіювання теплової енергії, низький рівень ККД – 35-50%.

2. ІДЖ з ШІМ значно ефективніші та гнучкіші у використанні, ніж ЛС. Вони зазвичай використовуються в переносних виробках, в авіації і автомобілебудуванні, в невеликих вимірювальних приладах, автономних пристроях і особливо в тих додатках, в яких потрібні високий ККД і кілька вихідних напруг. Їхня вага значно менша ЛС, оскільки вимагають меншого тепловідведення для тих же вихідних параметрів. Однак, дані джерела живлення більш дорогі і вимагають більше часу на їх розробку.

3. Резонансна та квазірезонансна технологія ІДЖ з високим ККД. Цей варіант знайшов своє місце в додатках, від яких також потрібні мінімальна вага і найменші розміри, і, що найважливіше, знижений рівень випромінюваного шуму (перешкод). Зазвичай такі джерела живлення використовуються в обладнанні повітряних суден, електроніці космічних кораблів, легкому ручному обладнанні і модулях. Недоліком цієї технології джерел живлення є те, що на їх проектування йде найбільше часу, а їх вартість зазвичай перевищує вартість двох розглянутих вище технологій.

## ПРАКТИЧНА ПЕРЕВІРКА ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВТРАТ ПРИ ЗМІНІ ЧАСТОТИ РОБОТИ ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Основна ідея даного методу полягає в підвищенні коефіцієнту корисної дії ІДЖ шляхом зменшення основної робочої частоти при низькому вихідному навантаженні. Це дозволить зменшити кількість перемикачів силових ключів за одиницю часу, що, в свою чергу, зменшить кількість енергії, витрачену на перемикання (динамічні втрати).

За основу взято комп'ютерний блок живлення ISO450-PP, у якого: вхідний силовий каскад напівмостового типу (half-bridge), керуюча мікросхема TL494, узгоджувальний (передпідсилювальний) каскад виконаний із застосуванням трансформатора розв'язки. Реалізовано можливість зміни частоти роботи ІДЖ шляхом зміни опору потенціометра, що підключається до вбудованого регульованого пилоподібного генератора. Частота генератора TL494 залежить тільки від двох зовнішніх елементів – R і C.

В результаті тестів було отримано дані, на основі яких побудовано наступний графік (рис. 1):

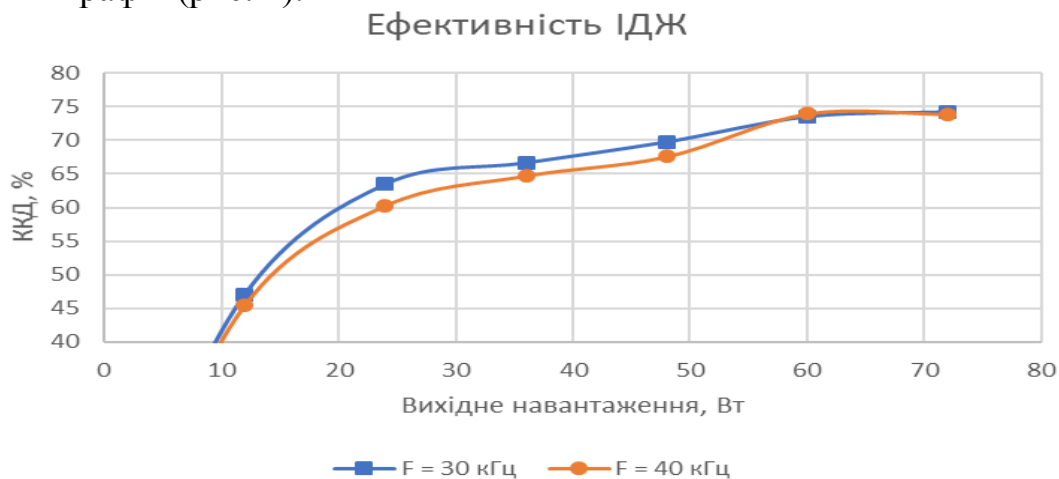


Рисунок 1. ККД при частотах 30 і 40 кГц

На графіку зображено дві криві, що показують ККД ІДЖ при роботі на частотах 30 і 40 кГц, при вхідній змінній напрузі 220 В та вихідній 24 В постійного струму. На ділянці вихідного навантаження в діапазоні 20-50 Вт на графіку  $F=30$  кГц, можна спостерігати незначне підвищення ККД, близько 3%. При подальшому збільшенні навантаження різниця ККД непомітна.

ІДЖ завжди використовують системи негативного зворотного зв'язку із замкнутим циклом для досягнення цілей проектування щодо регулювання виходу, динамічного відпрацювання навантаження та стійкості системи [5].

Перехід транзистора з вимкненого стану у ввімкнений і навпаки відбувається не миттєво, а протягом певного для кожного типу транзистора часу. Інерційність перехідних процесів обумовлена інерційністю процесів зміни концентрації носіїв електричних зарядів в структурі транзистора і наявністю в ній внутрішніх (власних) ємностей [6].

Однак, даний метод породжує наступні проблеми:

- Параметри силового трансформатора (кількість витків, габарити магнітопроводу, його матеріал) залишаються незмінними. Це суттєво звужує діапазон зміни частоти. Адже при зменшенні частоти магнітний потік трансформатора, при протіканні через нього струму, збільшується. Величина магнітного потоку магнітопроводу має кінцеве значення, після перевищення якого магнітопровід входить в насичення і опір первинної обмотки (на яку навантажений вхідний силовий каскад), набуває активного характеру. В даній ситуації це приведе до неминучого виходу з ладу силових ключів через перевищення їхнього номінального струму.

- Ланцюги корекції зворотного зв'язку вимагають ретельного розрахунку в системі (рис. 2) [5]:

$G_1(s)$ : підсилювача помилки системи компенсації;

$G_2(s)$ : широтно-імпульсного модулятора та силового каскаду;

$H_e(s)$ : вихідного LC-фільтру.

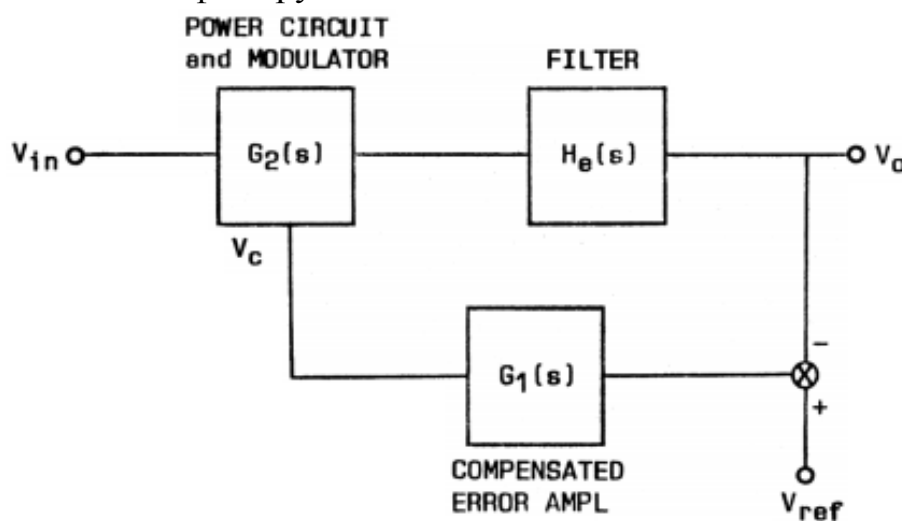


Рисунок 2. Блок-схема контуру управління.

При зміні частоти змінюються параметри індуктивності моткових виробів, що в свою чергу, змінює показники стійкості системи в цілому. Це також обмежує діапазон регулювання частоти роботи перетворювача.

## **ВИСНОВКИ**

У статті розглянуто сфери застосування, переваги та недоліки основних технологій перетворювачів. Наведено головні вимоги для досягнення стабільності вторинного джерела живлення. Запропоновано метод підвищення ефективності ІДЖ при малих вихідних навантаженнях. Продемонстровано результати експериментальної частини (рис. 1), де зображено збільшення ККД на рівні 3% в діапазоні вихідного навантаження 10-60 Вт.

Висвітлено основні проблеми, що виникають при керуванні зміною частоти. Негативні аспекти, які необхідно розглянути детальніше:

- допустимі режими навантаження силового трансформатора при відході від його розрахункової частоти;
- адаптивне налаштування параметрів ланцюга компенсації зворотного зв'язку в залежності від частоти роботи ІДЖ.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Горяшин Н. Н. Оценка статических потерь мощности в квазирезонансном преобразователе напряжения / Н. Н. Горяшин, А. А. Соломатова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2011. – С. 13-19.
- [2] Александрова С.А. Синтез закона управления мостового преобразователя напряжения с мягким переключением на основе изменения частоты коммутации транзисторов / С.А. Александрова, А.П. Баев, Н.А. Николаев, О.В. Слита // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. Т. 18. № 4. – С. 700-703.
- [3] О. Д. Майданський. Імпульсний лабораторний блок живлення на базі мікросхеми TL494 із стабілізацією струму та напруги. / О. Д. Майданський Д. П. Проценко // Вінницький національний технічний університет. 2018.
- [4] Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: "МК-Пресс", 2007. – С. 17 – 18.
- [5] Closing the feedback loop [Електроний ресурс] / Texas Instruments Incorporated — Lloyd H. Dixon. — Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ml/slup068/slup068.pdf> — 2001 p.
- [6] Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. // 2-е изд., стереотипное. – М. Издательский дом МЭИ, 2009. – С. 53.

## УДК 681.513.5

*Д.С. Прозор, студент гр. ПГ-61, к.т.н., Мураховський С.А.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОБАСТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

**Анотація.** У статті розглянуті основні положення та поняття робастних систем керування, їх утворення та використання у сучасних навігаційних системах. Представлені головні характеристики, що описують робастний принцип роботи. Розкрито питання використання робастних методів керування в системах із збуренням.

**Ключові слова:** робастність, робастні системи керування, регулятор.

### ВСТУП

Еволюція систем управління різними об'єктами і технологічними процесами йде по шляху врахування випадкових збурень, а також збільшення числа параметрів, що регулюються та контролюються, покращення технічних засобів автоматизації.

Інтеграція можливих моделей та схем в детерміновану систему управління передбачає отримання інформації про взаємодії, що також зв'язано з придбанням відповідних технічних засобів, вимірювання та обробки інформації та практичної реалізації цих схем для організації управління. У результаті такого «розширення» систем керування сприяє появі додаткових затрат на її комплектацію, монтаж та експлуатацію, що в результаті приводить до збільшення вартості продукції. Таким чином, збільшення затрат на оновлення систем керування може привести до парадоксу зниження ефективності виробництва від їх функціоналу. Через це важливо визначити не лише раціональний перелік параметрів, що будуть контролюватися, але й обрати алгоритм та схеми, які дозволять мінімізувати затрати на інформаційне забезпечення, організацію та функціонування систем керування [1].

В більшості системи даного типу будуть функціонувати в умовах невизначеності без надходження повної інформації про деякі параметри, які використовуються в керуванні та в зміні статичних характеристик. Системи, що базуються на даних принципах відносяться до класу робастних систем, що походить від англійського слова *robust*, яке являється аналогом могутий, дужий сильний та міцний.

### РОЗВИТОК РОБАСТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

До кінця 20 століття основні теоретичні задачі, зв'язані з реалізацією принципово нових систем автоматичного управління з відмовостійким характером та оптимальними параметрами. Коли почалося дослідження оптимальних дискретних систем став зручним розвиток адаптивних систем. Починаючи з 70-х років в результаті пошуку способів підвищення інваріантності систем до змін параметрів з'явилися роботи в області синтезу робастних і інтервальних систем. тримав найбільший розвиток на межі століть і представлені роботами Бобцова А. А., Никифорова В. О., і Шашіхіна В. Н., але вони все одно мали досить обмежені можливості з точки зору забезпечення відмовостійкості ці методи залишаються пасивними.

До початку ХХІ століття розвиток технічних засобів автоматизації дозволяє проводити великі обсяги обчислень і аналізу в режимі реального часу та стають можливими пасивні методи забезпечення інваріантності до змін в системі. Такий активний розвиток почався з появи методів, структур і алгоритмів адаптивного управління в працях В. Н. Антонова, І. Ю. Тюкіна, В. О. Никифорова, А. Л. Фрадкова, а також багатьох інших вчених, наприклад, Я. З. Ципкіна, А. А. Красовського, В. А. Якубовича, В. Н. Фоміна, В. Ю. Рутківського, В. В. Солодовникова, Р. М. Юсупова та ін, а також в роботах багатьох зарубіжних дослідників[2]. У 1990-х роках дискретні системи знову привели увагу дослідників проблем керування, оскільки постала проблема робастності, через це й були побудовані графічні критерії робастної стійкості таких систем та методи синтезу робастних регуляторів для них [3]. У зв'язку з значним підвищенням продуктивності обчислювальних засобів і підвищенню популярності нейромережевих методів з початку ХХІ століття розвиваються ідеї і методи побудови систем з багатошаровими нейронними мережами, які виконують функцію адаптивного регулятора[2].

## **ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОБАСТНОГО КЕРУВАННЯ**

Метою робастного керування являється проектування регулятора, який би задовольняв критерії системи із зовнішнім збуренням. Таке керування може об'єднувати в собі якості класичного, нечіткого та адаптивного.

Проектування робастної системи полягає у створенні регулятора за певною технологією:

- $H_\infty$ -синтез – технологія, за якою можна працювати як з стійкістю, так і з чутливістю системи. Замкнутий контур регулятора завжди стійкий. Даний метод потребує великої уваги до точності підбору параметрів об'єкта управління.
- $H_2$ -синтез – синтез, що має схожі характеристики з  $H_\infty$ , але до цього ми отримуємо точне формулювання передатної функції контролера, проте в результаті виконання великої кількості ітерацій відбуваються великі затрати розрахункові затрати.
- LQG-синтез – лінійно-квадратичне гаусівське управління. Набір математичних методів для синтезу систем з від'ємним зворотнім зв'язком. Синтез відбувається методом мінімізації зворотнього квадратичного функціоналу. Такий тип не гарантує запас стійкості, потребує точної моделі об'єкта і в той час виконує велику кількість ітерацій [4].
- LQR-синтез – лінійно-квадратичний регулятор. Класичне рішення опирається на вирішення матричного рівняння Ріккати, на основі якого і знаходиться матриця коефіцієнтів регулятора. Цей синтез забезпечує робастну стійкість та використовує безінерціальний регулятор. Недоліками цього типу є необхідність зворотнього зв'язку на всьому векторі стану та точна модель об'єкта [5].

- $\mu$ -синтез – синтез, виконання якого зводиться до почергової мінімізації верхньої границі для  $\mu$  по регулятору і мінімізації цієї границі при знайденому регуляторі. При цьому не гарантується що максимальний робастний регулятор буде знайдений. Такий синтез працює з широким класом невизначеностей, але має великий порядок контролера [6].

## ВИСНОВОК

У роботі проведено дослідження виникнення, причини розвитку та розглянуто класифікацію робастних систем керування. Зроблено порівняльний аналіз переваг різних типів робастних систем.

У подальшому дослідження можуть бути спрямовані на розробку робастних систем керування в приладах орієнтації та навігації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Лазарев В.Л. Робастные системы управления в пищевой промышленности: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – 150 с.
- [2] История развития теории автоматического управления: от автоматики до отказоустойчивого управления / Александр Сеница. — Режим доступа: [www.URL: https://digiratory.ru/837](http://www.URL: https://digiratory.ru/837) — 15.06.2018 г.
- [3] Поляк Б. Т. Развитие теории автоматического управления // – 2009. – №3.1.
- [4] Бахилина И. М., Степанов С. А. Синтез грубых линейных квадратичных гауссовских регуляторов // *Автоматика и телемеханика*. — 1998. — № 7. — С.96-106.
- [5] Хлебников М.В., Щербаков П.С., Честнов В.Н. Задача линейно-квадратичного управления: Новое решение // *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва*. – 2015. – № 12. – с. 65–66 .
- [6] Поляк Б. Т. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.

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



**УДК 631.451**

*М.Т. Чепіль, студент гр. ПГ-п81, асистент Сапегін О.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ПРИЦЕЗІЙНИЙ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ**

**Анотація.** У роботі розглядається проблема точного вимірювання абсолютної лінійної швидкості об'єкту доплерівським вимірювачем. Система побудована з використанням недорогих чутливих елементів на основі мікроконтролера Arduino.

**Ключові слова:** швидкість, час, Arduino, Matlab.

### **ВСТУП**

Для керування рухомими об'єктами необхідно вирішувати задачі орієнтації та навігації. Ці складні системи об'єднують інформацію із різноманітних інерціальних вимірювачів та зовнішніх джерел. Вимірювання лінійної швидкості руху має настільки ж велике значення, як і визначання поточної орієнтації об'єкту. Розрахунок лінійної швидкості шляхом інтегрування сигналів акселерометрів інерціального вимірювального модуля може вносити додаткову похибку. Доцільно використовувати інтегровані системи, що можуть надавати інформацію про лінійну швидкість, проте будуть працювати на інших фізичних принципах. До них вимірювачів можна віднести доплерівські вимірювачі [1].

Пропонується система вимірювання лінійної швидкості на основі доплерівського датчика та мікроконтролера Arduino. Програмне забезпечення для системи створено у середовищі Matlab.

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 [4].

### **1. ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ**

Вимірювання лінійної швидкості на борту об'єкта можна організувати різними засобами та з використанням приладів, що ґрунтуються на різних фізичних пристроях. До них можна віднести повітряні вимірювачі, вимірювачі повітряного тиску, гідродинамічні лаги, інтеграл сигналів акселерометрів навігаційної системи, інформація з супутникових навігаційних та радіолокаційних систем та доплерівські вимірювачі [3]. Суттєвим недоліком деяких систем є вимірювання не абсолютної лінійної швидкості, а її величини відносно середовища. В деяких випадках це недопустимо. Актуальним є використання доплерівських вимірювачів лінійної швидкості. Використання сучасних технологій твердотільної електроніки дозволило створити датчики у компактному корпусі. Це дозволяє створювати малогабаритні системи для дуже широкого спектру використань. Вони прості, точні, малогабаритні та

споживають мало енергії. Чутливий елемент доплерівського датчика швидкості представлено на Рисунку 1.

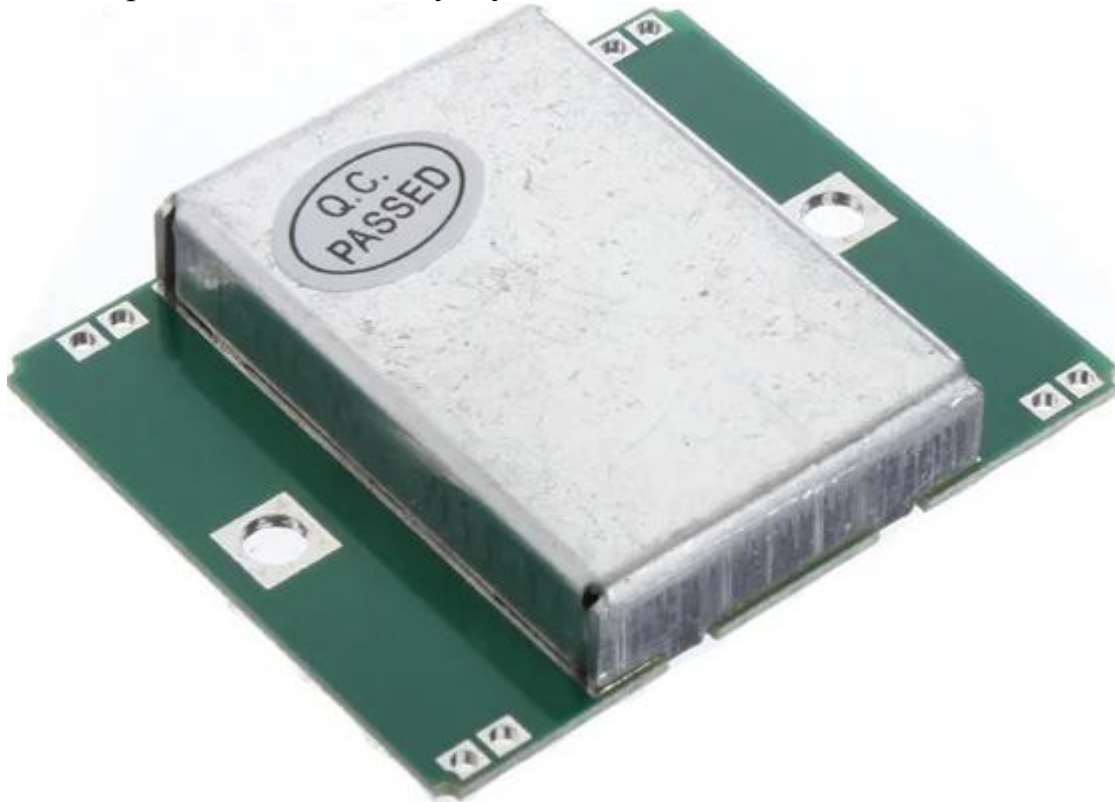


Рисунок 1. Доплерівський датчик швидкості

## 2. ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ВИМІРЮВАЧ

Доплерівський датчик — загальна назва технічних засобів вимірювання лінійної швидкості, що використовують ефект Доплера. Ефект Доплера дозволяє вимірювати швидкість не тільки твердих об'єктів, але і газоподібних, рідких і сипучих середовищ. Деякі типи доплерівських вимірювачів також призначені для визначення довжини або переміщення рухомих об'єктів за допомогою вбудованих засобів вимірювання часових інтервалів.

Принцип дії заснований на використанні доплерівського ефекту, згідно з яким частота отриманого сигналу, що відбивається від мішені, може відрізнитися від частоти випромінюваних сигналів і ця різниця залежить від співвідношення швидкостей об'єктів один відносно одного.

За характером випромінювання доплерівські сигнали мають відповідно три види:

- радіохвилі (доплерівські радари);
- лазерні, інакше оптичні (доплерівські ЛІДАРи);
- акустичні (крім гідроакустичні), в іншому випадку звукові, ультразвукові (доплерівські сонари).

За характером сигнал може бути як імпульсним, так і безперервним опроміненням [1-3].

Допплерівське вимірювання потоку рідких і газоподібних середовищ функціонує шляхом відбиття випромінювання від мікрочасток, зважених у цих середовищах.

Допплерівські вимірювальні системи використовуються для різних цілей у багатьох галузях виробництва, транспорту, медицини, наукових і науково-практичних досліджень, а також у військовій справі.

### **3. СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ АВТОМОБІЛЯ**

На основі доплерівського ультразвукового датчика можна побудувати систему, що буде вимірювати абсолютну лінійну швидкість руху автомобіля та розраховувати параметри його руху:

- поточну лінійну швидкість;
- час розгону до заданої швидкості;
- будувати інтерактивні графіки швидкості та прискорення.

Використання саме доплерівського вимірювача продиктоване його масо-габаритними параметрами, зручністю використання та швидкодією. Готова система буде встановлена у корпус, виготовлений за технологією тривимірного друку та встановлена на автомобіль. Система працює в інерціальному режимі і не потребує складного підключення до вузлів автомобіля. Живлення здійснюється вбудованим акумулятором, або від бортової мережі.

### **ВИСНОВОК**

У якості основного датчика лінійної швидкості об'єкту обрано ультразвуковий доплерівський датчик руху. Через свою портативність він дозволить побудувати компактну систему на основі мікроконтролера Arduino.

Цей підхід буде використаний при проектуванні приладу для вимірювання лінійної швидкості та фіксуванні результату часу за який пройшов автомобіль досягнувши розгону 0-100 км/год та 100-200 км/год.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Доплеровский змеритель. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Доплеровский\\_измеритель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Доплеровский_измеритель)
- [2] Измерение средней скорости движения тела определение ускорения движения тела. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/430/2615.php>
- [3] Датчики измерения скорости полета. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/942822/>
- [4] Строкач Г.Ю. Кутомір на основі акселерометру ADXL-335 / Г.Ю. Строкач, О.М. Сапегін // Збірник праць XII науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15–16 травня 2019р. – К.: ПБФ, КПІ імені Ігоря Сікорського, 2019. – С. 46-48.



**Секція 2.**

**Економіка виробництва і  
використання оптичних та оптико-  
електронних приладів і систем**

УДК 535.317.25

*М.Д. Барановський, студент гр. ПО-82мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ТЕЛЕЦЕНТРИЧНИХ ОБ'ЄКТИВІВ**

*Анотація.* В даній статті аналізується можливість впровадження оптичних систем телецентричних об'єктивів на ринок України, проведено аналіз конкуренції на ринку. Особлива увага приділена сильним та слабким характеристикам ідеї проекту та факторам конкурентоспроможності та приведені можливості та загрози, які виникають при впровадженні проекту.

**Ключові слова:** оптичні системи телецентричних об'єктивів, фактори конкурентоспроможності, аналіз ринку.

### **ВСТУП**

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. 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 [1]. 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. Але у наш час ще не було розглянуто рентабельність впровадження таких систем на підприємства та чи можливе досягнення високою вигоди з їх впровадження на світовий ринок.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Зростання обчислювальної потужності процесорів, розвиток програмних засобів обробки зображень, а також підвищення роздільної здатності та чутливості цифрових камер сприяють широкому поширенню оптичних систем телецентричних об'єктивів для промислового та дослідницького застосування. Зацікавленні у використанні телецентричної оптики виробники електроніки, підприємства машинобудування, виробники друкованих плат та підприємства у галузі метрології.

Спочатку потрібно зібрати інформацію про існуючих на ринку конкурентів, про динаміку цього ринку та дізнатись середню норму рентабельності у галузі. Виходячи з цього можливо буде оцінити рентабельність виготовлення приладу а також зрозуміємо чи є привабливим для входження ринок, далі вже можливим буде проаналізувати попит.

Обсяг реалізації оптичної продукції з кожним роком зростає, та станом на 2018й рік за даними Державної служби статистики України складає 6 млрд. грн, а відсоток рентабельності в галузі становить 34%. Станом на листопад 2019 р.

[2] середній банківський відсоток на вкладення становить 14%, а це означає, що середня норма рентабельності вища в 2 рази за середній банківський відсоток. Отже виникає сенс в інвестуванні у даний проект.

Наступним, не менш важливим етапом, є визначення основних конкурентів, що існують на даний момент на ринку. Серед усіх головних розробників та виробників телецентричних оптичних систем, на території України офіційно жоден не представлений. І якщо враховувати лише державний ринок, в який можливе входження продукту, можна спрогнозувати легке входження на ринок.

На міжнародному рівні існує досить висока конкуренція і усі основні гравці на ринку існують вже давно та мають свою цільову аудиторію. Прямими конкурентами є компанії «Edmund optics», «Tamron» та «Computar». Політикою поведінки на ринку цих компаній є захват якнайбільшої аудиторії та постачання об'єктів великими партіями на замовлення великих промислових компаній.

Цільовою аудиторією на яку націлений продукт є підприємства у галузі метрології та компанії що займаються контролем друкованих плат для електронних приладів. Головними їх вимогами до виробника є висока точність вимірювання, якнайменша похибка при вимірюваннях та маленька передня робоча відстань, повинен бути патент на розробку, прилад має бути сертифікований відповідно до стандартів, які діють на території споживача.[3]

Щоб зробити вибір стратегії поведінки на ринку треба проаналізувати сильні та слабкі характеристики ідеї проекту, що наведені у таблиці 1. [4]

Таблиця 1. Визначення сильних та слабких характеристик ідей проекту

№ n/n	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				Висновок
		Мій проект	Edmund optics	Tamron	Computar	
1.	Технологічність	600\$	950\$	900\$	975\$	Перевага над усіма конкурентами
2.	Надійність	10 років	10 років	5 років	8 років	Перевага над більшістю конкурентів
3.	Ергономічність	Зручна конструкція, простий дизайн	Незручна конструкція, простий дизайн	Зручна конструкція	Зручна конструкція	Перевага над одним конкурентом
4.	Екологічність	Не впливає на середовище	Не впливає на середовище	Не впливає на середовище	Не впливає на середовище	Усі конкуренти рівні
5.	Економічність (інвестиції)	+	+	-	+	Перевага над одним конкурентом
6.	Технічна підтримка	Кожен рік	Кожен рік	Кожні 2 роки	Кожні 2 роки	Перевага над більшістю конкурентів
7.	Торгова марка	Невідома	Відома	Відома	Відома	Недолік перед усіма конкурентами



Аналіз сильних та слабких характеристик ідей проекту демонструє, що мій продукт має ряд сильних та слабких характеристик у порівнянні з основними конкурентами. Згідно з цією таблицею можливістю для виходу на ринок буде використання сильних характеристик як основних ідей для реалізації продукту.

Також необхідно обґрунтувати фактори конкурентоспроможності, що наведено у таблиці 2. [4]

Таблиця 2. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Потреби споживачів	Потреби споживачів обумовлюють необхідність розробки проектів
2	Ціна та собівартість	Співвідношення рівня ціни з цінами основних конкурентів, система диференціації цін в залежності від політики конкурентів
3	Результативність	Завжди досягається кінцевий результат
4	Маркетинговий потенціал	Можливе створення імені на внутрішньому ринку з подальшими рекомендаціями на світовому ринку
5.	Простота експлуатації	Метод простий у використанні та не потребує високої кваліфікації користувачів

Проаналізувавши фактори конкурентоспроможності ми бачимо, що проект буде конкурентоспроможним на внутрішньому ринку та із плином часу може стати конкурентним на міжнародному ринку.

Також потрібно проаналізувати фактори можливостей і загроз на ринку. Відповідно до рекомендацій було сформовано SWOT-аналіз проекту, що наведено у таблиці 3. [4]

Таблиця 3. SWOT-аналіз проекту

<p><u>Сильні сторони:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Технічна підтримка</li> <li>• Надійність</li> <li>• Економічність(інвестиції)</li> </ul>	<p><u>Слабкі сторони:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологічність</li> <li>• Відомість торгівельної марки</li> </ul>
<p><u>Можливості:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Створення найбільш досконалого приладу</li> <li>• Збільшення рівня стабільності країни в світі</li> <li>• Поява компаній, що цікавляться інноваційними проектами</li> <li>• Отримання пільги в процедурі оподаткування на державному рівні</li> <li>• Монополія на технічну підтримку в Україні</li> </ul>	<p><u>Загрози:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Конкуренти можуть створити новий підхід або метод</li> <li>• Складна реалізація на міжнародній арені</li> <li>• Неможливість проведення процедури оцінки відповідності в інших країнах</li> <li>• З урахуванням ціни покупці можуть не купувати товар</li> <li>• Конкуренти можуть знизити ціни з метою залучення нових клієнтів</li> </ul>

## **ВИСНОВКИ**

Галузь оптичного проектування добре розвинена та методи оптимізації розрахунків займають у ній велику роль. Проект має багато сильних сторін та буде конкурентоспроможним на внутрішньому ринку України. Але основними загрозами для проекту є те, що існує велика кількість потужних конкурентів і проект не здобуде широку популярність на міжнародному ринку, а також те, що велика кількість споживачів мають контракти на закупівлю товару у великих об'ємах.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Телецентрическая оптика: повышение точности оптических измерений / Control engineering Россия. Режим доступа: [https://controlengrussia.com/kip-i-avtomatizatsiya-izmerenij/opto\\_engineering/](https://controlengrussia.com/kip-i-avtomatizatsiya-izmerenij/opto_engineering/) — 23.10.2016г.
- [2] Міністерство фінансів України. Депозити в банках України. – Режим доступу: <https://mof.gov.ua/uk/zviti-po-derzhavnih-bankah-fin> – 02.11.2019 р.
- [3] Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. Глава VI. Ограничение пучков лучей в оптических системах // Теория оптических систем / Т. В. Абивова. — М.: «Машиностроение», 1992. – С. 92 – 102. – 448 с. – 2300 экз. — ISBN 5-217-01995-6.
- [4] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Сокурєнко В.М.*

УДК 617.741-077.21

*Басюк Г. П., студентка гр. ПО-91мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЕРЕВАГИ ІНТРАОПЕРАЦІЙНОЇ РЕФРАКТОМЕТРІЇ

**Анотація.** Розглянуто переваги інтраопераційної рефрактометрії афакічного ока. Інтраопераційний рефрактометр призначений для більш точного розрахунку оптичної сили ІОЛ афакічного ока під час операції на катаракту.

**Ключові слова:** оптико-електронні системи, ІОЛ, інтраопераційна рефрактометрія, катаракта, ORA.

### ВСТУП

Рефрактометрія є широко використовуваним методом визначення рефракційної помилки в очах пацієнтів, яка дозволяє хірургу підтвердити або переглянути вибір оптичної сили ІОЛ, який отримали за допомогою передопераційної біометрії. Серед всіх відомих високотехнологічних засобів біометрії ока інтраопераційна рефрактометрія є інновацією, яка, як вважають, може дозволити відправляти майже всіх пацієнтів додому з рефракційною післяопераційною помилкою менш ніж 0.5D [1,2].

### ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

В даній роботі на прикладі інтраопераційного рефрактометра Optiwave Refractive Analysis (ORA) (WaveTec) компанії Alcon розглянемо переваги інтраопераційної рефрактометрії.

Ціль створення рефрактометра полягала в тому, щоб розробити біометричний інструмент, який не потребував би виміру осьової довжини або кератометрії для отримання надійного вимірювання рефракції [2]. Інтраопераційний рефрактометр може змінити підхід до лікування пацієнтів. На відміну від традиційних aberометрів, ORA був розроблений спеціально для використання в операційній під час операції по видаленню катаракти. Система дозволяє в реальному часі аналізувати рефракцію, астигматизм і потрібну оптичну силу кришталіка під час операції, для своєчасного внесення зміни в результати доопераційної біометрії ока, поки пацієнт знаходиться на операційному столі [1].

Встановлений на операційному мікроскопі, ORA використовує інфрачервоне світло і інтерферометрію Talbot-Moiré, яка оптимізована під афакічний стан ока, щоб зробити уточнюючу оцінку оптичної сили штучного кришталіка. Це потребує здійснювати біля 40 вимірів за хвилину. Система послідовно відображає результати сканування, потім об'єднує і аналізує дані з центру, щоб визначити оптимальну оптичну силу ІОЛ, потрібну для ока пацієнта [2].

Ясно, що необхідно ще додатково вимірювати і враховувати астигматизм задньої частини рогівки або за допомогою формул, які теоретично враховують астигматизм задньої частини рогівки, або шляхом прямого чи непрямого вимірювання. Ряд приладів на основі методу Шаймпфлюга мають можливість вимірювання астигматизму задньої частини рогівки, але не всім хірургам є доступною ця технологія [3]. Кох і його колеги повідомили, що якщо не

виявляти за допомогою звичайної біометрії задній астигматизм, це може викликати непередбачувану помилку рефракції після операції по видаленню катаракти. У своєму досліді на 715 очах у 435 пацієнтів вказані дослідники виявили, що астигматизм задньої частини рогівки в середньому складає  $-0.3D$  [2].

ORA дозволяє вимірювати афакічну рефракцію всієї оптичної системи ока, що дозволяє враховувати всі джерела астигматизму, включаючи задню поверхню рогівки [3].

Метод ітраопераційної рефрактометрії зменшує степінь невизначеності, що стосується астигматизму. Тепер при застосуванні ORA можна під час операції обертати ІОЛ до тих пір, поки рефрактометр не покаже, що ви мінімізували астигматизм. Дуже простим і неінвазивним способом можна досягти чудових результатів без зміни хірургічного режиму. Це дозволяє суттєво зменшити помилку післяопераційної рефракції ока, як частіш за все складає  $0.75D$ , а в деяких випадках 1 і навіть  $2 D$ , [2].

Передбачуваність результатів рефракції особливо важлива для пацієнтів, які доплачують за пресбіопічну або торичну ІОЛ. Окрім цього, пацієнти покладають великі надії на візуальні результати. За словами хірургів-рефракціоністів, їх змінені рогівки часто перешкоджають звичайній біометрії.

Опитування офтальмологів, які регулярно використовують систему ORA, проведеному Шарифом Махдаві ( фірма якого SM2 Strategic в Плезантоні, штат Каліфорнія, консультує з питань медичного устаткування), показали, що негативні результати з 10 відсотків знизились до 5.3 відстока, хоча це ще підтвердити багатьма клінічними випробуваннями [2].

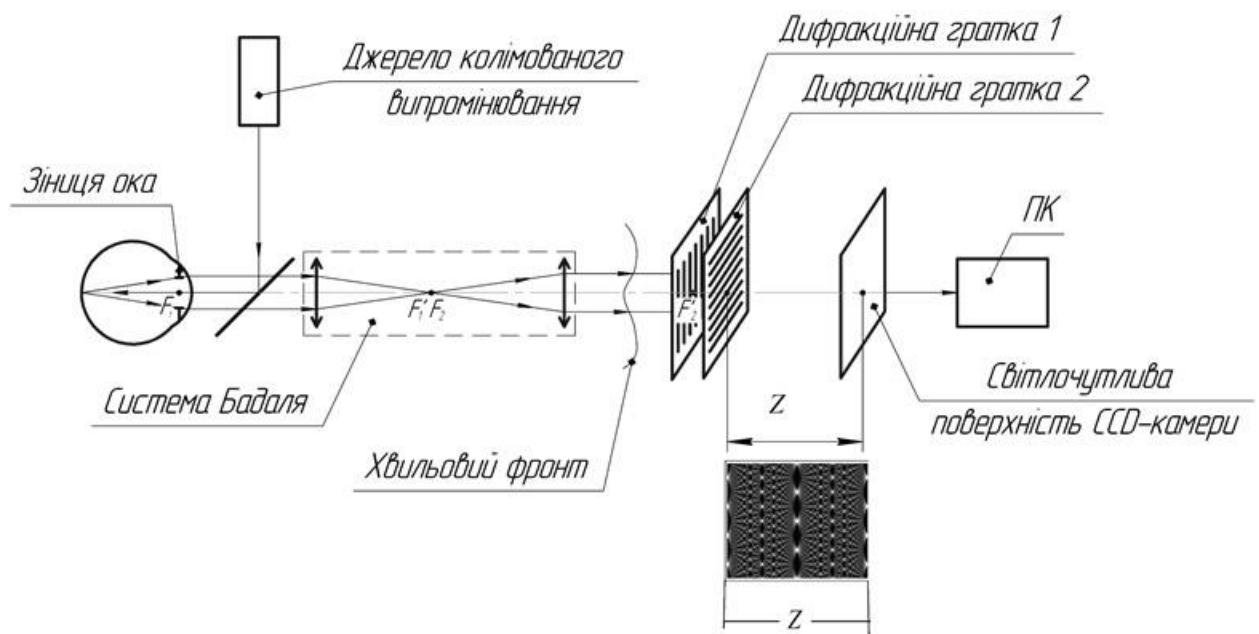


Рисунок 1.7 Функціональна схема аерометра ORA

За останні десятиліття доктор Янчулев та інші дослідники опублікували і представили результати декількох клінічних досліджень інтраопераційної рефрактометрії під час операції по видаленню катаракти. Є повідомлення про операції на 248 очах, у яких після раніш здійсненої корекції аметропії за

допомогою технології LASIK або PRK залишалася короткозорість. Результати показали, що у цих пацієнтів застосування інтраопераційної рефрактометрії призвело до значно кращих запланованих показників післяопераційної рефракції, ніж при використанні результатів звичайної передопераційної біометрії ока [2].

Отримання приопераційних рефрактометричних даних в режимі реального часу дозволяє діяти негайно, покращуючи візуальні результати і зменшуючи кількість післяопераційних невдач. Додатковий операційний час, який витрачається на інтраопераційну рефрактометрію, все ж компенсується отриманням більш позитивних результатів імплантації ІОЛ.

## **ВИСНОВКИ**

Розрахунок потужності ІОЛ в очах на основі результатів доопераційної біометрії ока далеко не завжди буває точним, що може приводити до небажаних і недопустимих післяопераційних рефракційних помилок. Помилки доопераційної біометрії, такі як неточні вимірювання кривизни рогівки, похибки вимірювання глибини передньої камери та осьової дожини ока, похибки у припускаємому розташуванні ІОЛ, можуть призводити до великих помилок при застосуванні будь яких із чотирьох поколінь відомих алгоритмів розрахунку потрібної оптичної сили ІОЛ [5].

Інтраопераційна рефрактометрія дає більш точну планову післяопераційну рефракцію ока у порівнянні з результатами, які дає доопераційна біометрія [4].

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] FARRELL “TOBY” TYSON, MD The Advantages of Intraoperative Aberrometry// REFRACTIVE SURGERY | APR 2011. Режим доступу: <https://crstodayeurope.com/articles/2011-apr/the-advantages-of-intraoperative-aberrrometry>
- [2] Linda Roach. Intraoperative Wavefront Aberrometry: Wave of the Future? Режим доступу: <https://www.aao.org/eyenet/article/intraoperative-wavefront-aberrrometry-wave-of-future>
- [3] Quentin B. Allen. Is intraoperative aberrometry an essential tool in cataract surgery? 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>
- [4] Leigh Spielberg. INTRAOPERATIVE ABERROMETRY. Режим доступу: <https://www.eurotimes.org/intraoperative-aberrrometry/>
- [5] Eric D. Donnenfeld, MD. INTRAOPERATIVE ABERROMETRY IN POST-LASIK CATARACT SURGERY EYES// REFRACTIVE SURGERY | APR 2011. Режим доступу: <https://crstodayeurope.com/articles/2011-apr/the-advantages-of-intraoperative-aberrrometry/>

*Наук. керівник – проф. Чиж І.Г.*

УДК 535.818

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

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ФІЛЬТРАЦІЇ

**Анотація.** Дана стаття аналізує можливість впровадження у використання методу фільтрації оптичної інформації. Проведено аналіз можливостей та загроз для виходу продукту на ринок.

**Ключові слова:** оптика, фільтрація оптичної інформації, вейвлет-перетворення, аналіз впровадження.

### ВСТУП

На даний період часу розвиток оптичної галузі, а саме розробка нових та вдосконалення існуючих методів обробки інформації, відбувається дуже швидко. Існуючі на цей час технології передачі інформації не є досконалими, а об'єм різноманітної інформації, що потребує передачі, лише збільшується. Саме тому актуальною залишається проблема збільшення швидкості передачі інформації шляхом використання різних оптичних методів обробки та фільтрації інформації. [1] Однією з задач оптичної обробки інформації є пришвидшення процесів обробки та фільтрації оптичної інформації. На сьогоднішній день виявлено [2], що оптична обробка інформації може бути набагато швидшою, аніж цифрова обробка, але чи буде це доречно при існуючому рівні технологій? Це питання ще досі не було розглянуте. Ця стаття ставить собі за мету провести аналіз груп потенційних клієнтів, конкурентоспроможності та огляд сильних та слабких сторін нових методів обробки оптичної інформації.

### МАТЕРАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вейвлет-перетворення – це спосіб представлення сигналу шляхом розкладу його по набору функцій («вейвлетів»), що є масштабованими та зміщеними копіями деякої вихідної функції [3]. Вейвлет-перетворення широко використовується для кодування та ущільнення даних, обробки багатомасштабних сигналів та виділення «прихованих» ознак сигналів. При реалізації оптичного вейвлет-перетворення засобами когерентної оптики існує проблема формування спектральних вікон потрібної структури у частотній площині когерентно-оптичного процесора; при голографічній реалізації - у площині реєстрації голограми [4]. Дивлячись на це, можна приблизно сформулювати ідею проекту та напрямки його застосування (табл.1).

Таблиця 1. Опис ідеї проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Прискорення обробки оптичної інформації	Телекомунікації	Прискорення розрахунків
	Наука	Збільшення швидкості
	Інформаційні технології	обробки інформації

Відповідно, основними користувачами такого методу фільтрації оптичної інформації можуть бути великі центри обробки даних, науковці, що займаються

розробкою квантових процесорів. Основними напрямками застосування можливі такі, як передача інформації, кодування інформації, криптографія, розробка оптичного пінцету. Використання такого методу фільтрації оптичної інформації може давати такі переваги користувачу, як збільшення швидкості передачі інформації, розширення можливостей кодування інформації, збільшення якості зображення.

Можливі конкуренти проекту не представлені в Україні, але на міжнародному рівні може бути конкуренція через велику розповсюдженість схожих методів обробки. На даний момент вже відомо, що оптичні методи обробки більш швидкодійні, багатофункціональніші, але їх фізична реалізація має великі габарити та високу ціну, тобто займатися розробкою оптичних методів обробки інформації на основі вейвлет-перетворення можуть лише великі корпорації або наукові установи, які й будуть їх використовувати[2]. Аналіз конкуренції у галузі наведено у таблиці 2 [5], висновок з неї демонструє, що існують інші компанії, які займаються розробкою оптичних методів обробки інформації, які є набагато більшими, тобто одним з варіантів подальшого розвитку та виходу на ринок є приєднання до більшої та впливовішої компанії.

Таблиця 2. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
Висновки	IBM, Google, Rigetti Computing.	Внутрішні наукові центри різних країн.	Мають більшу визнаність, більш різноманітні продукти.	Бажають меншу вартість, більшу якість, широкі можливості застосування.	Дешевша якість.
	На ринку України немає прямих конкурентів, які мали би сертифікацію для розповсюдження свого продукту в Україні.	Можливість виходу на ринок є, але потенційні конкуренти поки що не можуть увійти на ринок через сертифікації	Не диктують умов, оскільки вони не присутні на ринку.	Умови швидкості та якості обробки інформації	Є обмеження для роботи на ринку через існування товарів замінників



Після цього необхідно провести SWOT-аналіз (складання матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Troubles) проекту) і за допомогою [5] була сформована таблиця 3

Таблиця 3. SWOT-аналіз проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вартість.</li> <li>2. Підтримка продукції.</li> <li>3. Висока якість.</li> </ol>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Довіра споживачів</li> <li>2. Необхідність інвестицій.</li> </ol>
<p><b>Можливості:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява компаній, що цікавляться інноваційними проектами.</li> <li>2. Створення найбільш досконалого по можливостям продукту.</li> <li>3. Отримання пільг в процедурі сертифікації на державному рівні.</li> <li>4. Підвищення рівня стабільності країни в світі.</li> </ol>	<p><b>Загрози:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Новий метод, що не набув великої популярності у світі.</li> <li>2. Складності у виході на міжнародний ринок.</li> <li>3. Дуже велика вартість технології в порівнянні зі стандартними.</li> <li>4. Складності у проведенні оцінки відповідності в інших країнах.</li> </ol>

З таблиці SWOT-аналізу видно, що фактори конкурентоспроможності проекту суттєві та матимуть великий позитивний внесок при впровадженні нового методу фільтрації оптичної інформації. Основною перевагою та головним досягненням буде висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем. На це є декілька причин, такі як: висока якість за рахунок автоматизації виробництва продукту, досконаліший ніж у конкурентів алгоритм математичного моделювання при невеликій ціні продукту. Також можливе застосування в декількох сегментах, що, в свою чергу, дозволяє охопити більший ринок збуту.

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній час оптичні методи обробки інформації знаходяться на стадії розробки і тому споживачі надають перевагу відомим, простішим та більш дешевим методам обробки, хоча вони й мають недоліки в якості та швидкості обробки інформації.

Основні загрози для майбутнього проекту пов'язані з тим, що зараз проект невідомий і не може здобути великої популярності на міжнародному ринку, але на ринку існує не багато компаній що займаються розробкою продукції даного

типу, оскільки ринок є специфічним. Цільовими групами обрано дослідницькі компанії, компанії що займаються передачею інформації, що потребують стратегії диференціації, що дозволить за рахунок детального аналізу запитів, поведінки покупців шукати нових споживачів, та забирати існуючих у конкурентів. Перспективність ринку та його ненасиченість дає надію на постійний попит та зростання його в майбутньому.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Бобер, О. Ю. Математичне моделювання та фізична реалізація оптичних сингулярностей : магістерська дис. : 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка / Бобер Олександр Юрійович. – Київ, 2018. – 130 с.
- [2] 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.
- [3] Zhang Y., Li Y., Kanterakis E., Katz A., Lu X.J., Folimieri R., Cavaris N.P. Optical realization of wavelet transform for a one-dimensional signal // *Optics Letters.* - 1992. - V.17, №3. - P.210-212.
- [4] Alexeyev S. N., Volyar A., Yavorsky M. A. Fiber optical vortices // *Lasers, Optics and Electro-Optics Research Trends.* – 2007. – С. 131-223.
- [5] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

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

**УДК 535.42**

*І.О. Вовчок, студент гр. ПО-82мп, О.І. Чікіда студент гр. ПО-82мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ПЕРСПЕКТИВНІ ДИФРАКЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**Анотація.** В даній статті розглянуто науково-технічні та економічні аспекти використання дифракційної оптики в сучасному приладобудуванні.

**Ключові слова:** дифракційні оптичні елементи, технології виготовлення дифракційних лінз

### **ВСТУП**

Протягом двох останніх десятиріч дифракційна оптика опинилася в центрі уваги науковців як один із напрямків розвитку прикладної оптики. Станом на сьогоднішній день отримані результати наукових досліджень в умовах якісного росту технологій та обчислювальної техніки отримують не лише теоретичні, а й практичні реалізації, що дозволяють активно впроваджувати їх у виробництво, а також просувати нові бізнес-ідеї на їх основі.

Дифракційні оптичні елементи (ДОЕ) мають великий потенціал для вдосконалення широкого спектру оптичних систем, починаючи від систем спектроскопії та освітлення і закінчуючи інструментами візуалізації [1,2]. У системах візуалізації використання ДОЕ дозволяє отримати характеристики системи, не доступні при проектуванні класичними геометричними методами. Наприклад, характерні дисперсійні характеристики ДОЕ, порівняно із рефракційними елементами, пропонують більше ступенів свободи в конструкції лінз і дозволяють вигідне поєднання дифракційних та рефракційних елементів для формування гібридних систем (рис. 1). Рішення на їх основі забезпечують не лише оптимальну роботу, а й мають конкурентну компактність та легкість. Різноманіття форм профілів ДОЕ дозволяють створювати також багатофокусні лінзи для отримання зображення об'єктів, розміщених на різних відстанях, в одну площину.

### **МЕТА РОБОТИ**

Незважаючи на всі перераховані переваги використання ДОЕ в приладобудуванні, їх використання в комерційних системах все ще досить обмежене. Причини помірною поширення ДОЕ в бізнесі будуть з'ясовані в даній статті на основі аналізу науково-технічних та економічних аспектів, які мають взаємний вплив.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

З науково-технічної точки зору головною проблемою, що постає перед дослідниками слід вважати необхідність суворого контролю за кожним кроком проектування приладу. Ризик відмови системи може залежати від відсутності або недосконалості одного з кроків. До них відносяться, зокрема, оптична конструкція системи, широкий спектр методів виготовлення ДОЕ, тестування елементів та інтеграцію системи в прилад, де кожен крок суттєво відрізняється від процесів, застосованих у суто рефракційних системах.

Успішна оптична конструкція складної системи часто пов'язана з досвідом відповідального інженера. Завдяки абсолютно іншим властивостям дифракційних лінз (ДЛ) порівняно з рефракційними лінзами, наприклад, їх від'ємній дисперсії, властивостям мультифокальності чи залежності від довжини хвилі, змін у оптичній конструкції не уникнути, що іноді призводить до помилок або до повного виходу з ладу системи, що відповідно збільшує час розробки. Крім законів геометричної оптики розробник гібридної системи також має мати вагому базу знань з теорії дифракції та повинен бути досвідчений у використанні дифракційних методів проектування.

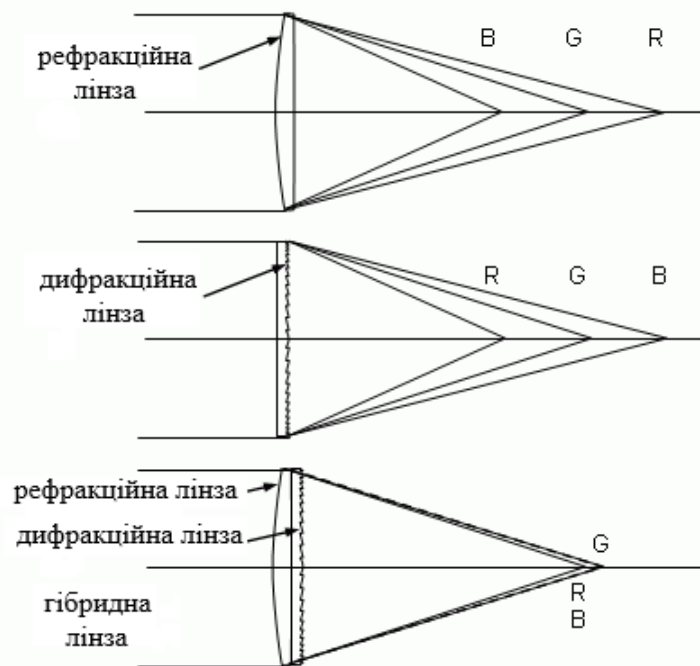


Рисунок 1. Відмінності між фокусуванням поліхроматичного світла різними видами лінз (R – червона складова світла, G – зелена складова, B – синя складова)

Технології виготовлення ДЛ в основному поділяються на три категорії: процес освоєння технології, виготовлення інструментів для тиражування, і сам процес тиражування. Для кожної з цих категорій розроблений цілий спектр технологій. Наприклад, для процесу освоєння або для виготовлення обмеженої кількості високоякісних елементів використовуються такі технології, як алмазне точіння, прямий запис лазерним променем, запис електронним променем, літографія, лазерна абляція. Для тиражування можливі наступні технології: лиття під тиском, гаряче тиснення, ультрафіолетове чи точне формування скла. Кожна з цих технологій має певні переваги, але також має свої обмеження, так що вони застосовні лише для конкретних завдань, однак універсальної технології поки немає. Слід зауважити, що впровадження декількох різних технологій є дорогим та трудомістким, тому це часто економічно не виправдано. З початку створення ДОЕ, та впровадження гібридної – дифракційно-рефракційної концепції та пов'язані з цим технології повинні конкурувати з усталеними системними концепціями з налагодженими і

затвердженими технологіями, в яких кожна деталь має оптимізуватись роками та десятиліттями.

Гібридна концепція та пов'язані з цим необхідні виробничі процеси повинні подолати всі ці перешкоди. Однак лише поступове вдосконалення усталених технологій виготовлення набагато простіше та потребує менших витрат часу і коштів, ніж впровадження повністю нових технологій.

Наразі ДЛ широко використовуються у багатьох галузях науки, техніки та медицині, чим довели свою функціональну незамінність, а це означає, що використання ДЛ потенційно дозволяє покращити продуктивність системи, яка не може бути реалізована традиційними підходами. Більше того, вартість одного нового елемента системи, як правило, повинна знаходитися в тому ж ціновому діапазоні, що й елемент, який замінюється. Замовники часто не готові платити за новий товар значно більше, ніж за попередній. При впровадженні нових технологічних підходів, наприклад, використанні дифракційної оптики для формування зображень [3], можливість демонстрації продукту часто обмежується кількома зразками, тож про необхідність у масовому виробництві ДЛ поки мова не йде. Водночас, в офтальмології ДЛ використовують уже багато років як інтраокулярні лінзи для заміни природнього кристалика ока, їх виробництво добре налагоджене і приносить виробникам мільйонні прибутки. Отже, впровадження нових технологій потребує великих грошових затрат, проте має великий потенціал. Необхідні інвестиції в нові технології виготовлення ДЛ, оскільки створення окремо взятих одиничних зразків економічно не вигідно.

## **ВИСНОВКИ**

Вихід на ринок нових інноваційних технологій можна вважати успішним тоді, коли попит на них уже не може бути задоволений класичними підходами. Нові технології, що базуються на дифракційній оптиці, стрімко розвиваються двома шляхами – підвищенням ефективності ДЛ та конкретним застосуванням в зображуючі системах, таких як фотооб'єктиви, об'єктиви мікроскопів та невеликі камери. Тому найближчим часом розвиватимуться дифракційні технології та зростатиме кількість реальних продуктів на основі ДЛ.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Brunner R. Transferring diffractive optics from research to commercial applications: Part I – progress in the patent landscape / R. Brunner // *Adv. Opt. Techn.*, 2013. – Vol.5-6, No.2. – P.351-359.
- [2] Минин И.В. Конформная дифракционная квазиоптика: от миллиметровых волн до фокусировки ударных волн / И.В. Минин, О.В. Минин // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2012. – №2. – С.257-261.
- [3] Скиданов Р.В. Изображающие системы на основе гармонических линз с кольцевой апертурой / Р.В. Скиданов, А.А. Морозов, С.В. Грачевская // *Мир Голографии*, 2017. – Том 3, № 1. – С.48-49.
- [4] Kress B. C. Applied digital optics: from micro-optic to nanophotonics / B. C. Kress, P. Meurgeis. – Chippingham: Wiley, 2009. – 638 p.

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Васильковська І.О.*

**УДК 338.984**

*А. І. Доцик, студент гр. ПН-61-3, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.  
КРІ ім. Ігоря Сікорського*

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ПРИСТРОЇВ В УКРАЇНІ**

*Анотація.* У даній статі аналізується можливість виготовлення тепловізійних пристроїв на підприємствах України, проведено аналіз конкуренції на ринку. Особлива увага приділена слабким і сильним сторонам українських потужностей та проведено взаємозв'язок з можливостями та загрозами, що мають місце при виготовленні.

**Ключові слова:** аналіз ринку, тепловізор, аналіз конкуренції

### **ВСТУП**

У 1922 році шотландський інженер Джон Логанді почав розробляти телевізійне обладнання і через три роки побачив різні образи чоловіка. У грудні 1936 року продемонстрували перший телевізор, придатний для практичного використання. У квітні 1939 року представив перший телевізор для широкого продажу. Він розділив телевізор на чотири версії - повністю надійний і наділений темпераментом, який мав 5-дюймовий екран і був відомий як RCT-5. Усі моделі виготовлені вручну від компанії Walt Callen.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є дослідити можливості виготовлення тепловізійних пристроїв в Україні, як з частковою закупівлею необхідних деталей, так і з повною можливістю виготовлення всіх необхідних. Данне дослідження надасть нам інформацію щодо рентабельності та перспектив виготовлення таких приладів у нашій країні.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Тепловізори відмінно зарекомендували себе при пошуку перегрітих частин електроустановок, а також при виявленні витоків тепла в будівельних конструкціях. Вони також застосовуються для контролю стану об'єктів і технологічних процесів в різних галузях промисловості, прийняті на озброєння в багатьох арміях світу, а також використовуються при проведенні наукових досліджень.

Тепловізійні пристрої також застосовуються у таких областях як: енергетика та енергоаудит, машинобудування, будівництво, нафтова і хімічна промисловість, транспорт і т.д. За допомогою тепловізора можна оперативно визначити передумови виникнення і наявність дефектів в нафто- і газопроводах, в теплотрасах, водопроводах і електричних з'єднаннях. Своєчасне виявлення за допомогою тепловізора температурних аномалій, що відбивають невидимі небезпечні процеси навколо нас, дозволить вжити заходів для усунення причин можливих аварій на підприємствах.

Використання тепловізорів може запобігти поломкам обладнання для електростанцій, обмежувальних систем різного призначення, машин, електричних машин. Вони надають можливість контролювати теплообмінник у

житлових будинках, надавати в режимі реального часу інформацію щодо температури вікон, дверей, стін.

## СКІЛЬКИ КОШТУЄ ТЕПЛОВІЗОР?

Тепловізор є досить дорогим приладом і його ціна може коливатись від 1 тис. доларів до 100 тис. і це пояснюється складною технологією виробництва. Найдорожчі елементи - мікроболометричні матриці [1] і оптика, що виготовляється з германію. Чим більше розміри ІК-детектора і об'єктива, тим вище ціна тепловізора. У дорогих приладах встановлена матриця з роздільною здатністю 640x480 пікселів і об'єктив з допустимою відстанню 100 мм. На вартість впливають також клас тепловізора та наявність додаткових функцій. Вимірювальні пристрої коштують дорожче оглядових. У лінійці FLIR і FLUKE є порівняно недорогі побутові тепловізори. Інші виробники (наприклад, ATN) більше орієнтовані на преміум-клас.

FLIR - найбільший у світі виробник тепловізорів та теплових датчиків. Назва означає «перспективні інфрачервоні системи візуалізації» (“forward-looking infrared imaging systems”). Компанія була заснована в США в 1978 році і виробляє цивільні та військові тепловізійні камери.

FLIR охоплює шість різних галузей бізнесу, включаючи: спостереження, військові, промислові, науково-дослідні та дослідницькі розробки та тестування та перевірку. До найпопулярніших тепловізорів відносяться тепловізори наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Найпопулярніші тепловізори

Назва	Формат ІЧ детектора	Температурна чутливість	Діапазон температур	Кут поля зору	Діагональ екрану	Ціна
Тепловізор для смартфонів і планшетів						
Flir ONE	80 × 60	<0,15°C	-20°C...120°C	50° × 38°	-	8000-9000грн
Точковий тепловізор-пірометр						
Flir TG130	80 × 60	<0,15°C	-10°C...150°C	55° × 43°	1,8 дюйма	8000грн
Портативний тепловізор						
Flir C3	80 × 60	<0,10°C	-10°C...150°C	41° × 31°	3 дюйма	27000-28000грн

Вартість тепловізора безпосередньо залежить від функціоналу і можливостей кожного приладу, але в будь-якому випадку залишається досить високою. Як правило, якість і деталізація термограм прямо пов'язане з вартістю тепловізора, проте дешевий прилад не завжди показує погані результати.

Вартість тепловізора безпосередньо залежить від розміру матриці. Тепловізори верхнього цінового діапазону з високоякісними болометричними матрицями зазвичай оснащуються кольоровими РК-дисплеями великого розміру, нерідко - сенсорними, що також впливає на загальну вартість приладу.

Ціна тепловізора визначається перш за все роздільною здатністю матриці. І це пов'язано з тим, що виробництво мікроболометричних матриць - це досить дорогий складний високотехнологічний процес, освоєний лише декількома світовими виробниками. Більш того, чим більше розмір матриці, тим істотно більше її вартість.

Другим найважливішим компонентом вартості тепловізора є його оптика [2]. На відміну від звичайних камер, тепловізійні лінзи робляться не зі звичайного оптичного скла, а з дорогого германію, який передає тільки інфрачервоні хвилі. Найдорожчі об'єктиви - це ті, які мають найменший кут просторового розділення, що складається з набору великих лінз германію. Повний набір тепловізора зі змінним набором об'єктивів додатково збільшує вартість тепловізора.

І нарешті, третім головним компонентом ціноутворення для таких пристроїв є його програмне забезпечення і функціональність. Як правило, всі професійні тепловізори поставляються з програмою для обробки і аналізу термограмм, а особливо вдосконалені моделі мають вбудовані вдосконалені вимірювальні та аналітичні функції, що дозволяють дистанційне керування, бездротової обмін даними тощо.

### ПЕРШИЙ ВІТЧИЗНЯНИЙ ТЕПЛОВІЗОР

Прототипом для створення першого українського тепловізора став приціл канадської компанії GSCI, а саме TWS-3050, який коштує близько 12тис. доларів, а вартість його українського аналога всього 4900 доларів. Інша перевага полягає в тому, що цей тепловий приціл має невеликі розміри і його легко встановлювати на необхідне устаткування, оскільки він має меншу вагу при використанні, ніж інші подібні приціли. Порівняльний аналіз функціоналу українського ТепловізорUA та його канадського аналога TWS-3050 наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз ТепловізорUA та TWS-3050

<i>Технічні характеристики</i>	<i>Функціонал</i>	<i>ТепловізорUA336</i>	<i>GSCI TWS-3050</i>
Сенсор	Частота, Гц	9	25
	Кількість пікс	336x256	284x288
	Крок детекторів, мкм	17	25
	Модуль	VOxFPA	aSi FPA
	Спектральний діапазон чутливості, мкм	Від 8 до 12	Від 8 до 12
	Температура чутливості, мК	<50	<60
	Принцип калібрування	Механічний затвор	
Об'єктив	Фокусна відстань	44мм/F/1	50мм/F/1
	Оптичне збільшення	2	2
	Цифрове збільшення	2X, 4X	2X, 4X
	Кут поля зору, градус	8,1x6,2	12x9
	Крок вивірки на 100м, см	2,2	
	Дистанція виявлення, м	1500	
	Дистанція розпізнавання, м	600	



Окуляр	Віддалення вихідної зіниці, мм	50	27
	Діоптричне корегування, дптр	Від -3 до +3	Від -6 до +2
Живлення	Тип елементів живлення	4xAA	2xCR123
	Напруга джерела живлення, В	Від 4 до 14	
Дисплей	Тип дисплею	AMOLED	AMOLED
	Розширення, піксель	800x600	800x600
Параметри	Габаритні розміри, мм.	170x65x60	210x90x65
	Вага, гр.	700	800
	Діапазон робочих температур	Від -30 до -50	Від -20
	Час безперервної роботи	8 годин, акумулятор AA. / 11 годин, батарея Li AA	До 5 годин

## ВИСНОВОК

Основним проблемою є те, що наразі в Україні не виготовляються тепловізори і при виході на ринок ми не матимемо довіри споживача. На даний момент Україна може забезпечити неповний виробничий процес для пристроїв у цьому напрямку. У зв'язку з тим, що інфрачервоні датчики є складними у виготовленні і одними з найдорожчих елементів, то для виготовлення тепловізорів доведеться закуповувати їх у інших країнах. Ми можемо забезпечити повний процес виготовлення оптичних деталей та програмного забезпечення, що матиме значно нищу ціну ніж у конкурентів і не поступатиметься якістю.

Сильною стороною даного виробництва є нижча ціна, порівняно з іншими виробниками. Також можливість виходу на світовий ринок виробництва тепловізійних пристроїв може зацікавити іноземних інвесторів не лише для цього напрямку, а і для інших сумісних напрямків виготовлення складових елементів тепловізорів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Оптимізація параметрів об'єктива і мікроболометричної матриці тепловізора / В. Г. Колобродов. Режим доступу - <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/14679>
- [2] Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереженняЖ Підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт – К.: НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, 2007.
- [3] Тепловізори у сучасному обслуговуванні виробництва. FLIR E4. Режим доступу - <https://etalonpribor.com.ua/teplovizori-v-cuchasnomu-obclugovuvanni-virobnictva-flir-e4.html>
- [4] Інфрачервона термографія. Основи. Техніка, Використанняю / Л. З. Госсорг

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

### УДК 621.384.3

*А.А. Кнур, студент гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Тягур В. М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄТИВІВ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР

**Анотація.** Інтенсивний розвиток і вдосконалення приймачів інфрачервоного випромінювання створило нові вимоги до оптичних систем тепловізійних приладів та систем, реалізація яких в комплексі з сучасними приймачами інфрачервоного випромінювання і електронною системою обробки є необхідною умовою підвищення діяльності виявлення і розпізнавання об'єктів при обмеженому конструктивному обсязі тепловізійного приладу. Розглянуто методи розрахунку основних параметрів об'єтивів для тепловізійних камер з мікроболометричною матрицею, їх зв'язок з параметрами матриці. Наведені характеристики основних матеріалів для лінз далекого ІЧ-діапазону. Розглянуто функції інфрачервоного об'єктива, характеристики приймачів випромінювання.

**Ключові слова:** об'єтив, мікроболометрична матриця, інфрачервоне випромінювання.

### ВСТУП

Важливу роль в оптоелектронному приладобудуванні займають тепловізійні системи (ТС), або тепловізори, призначені для спостереження та контролю за тепловими полями шляхом перетворення їх у видимий аналог. Тепловізійні системи ефективно працюють в спектральній області з довжинами хвиль 8...14 мкм та 3...5 мкм. Перевагу віддають діапазону 8...14 мкм, в якому відбувається найбільш інтенсивне випромінювання світлової енергії від об'єктів, які знаходяться при атмосферній температурі або близькій до неї. Крім того, у цьому спектральному діапазоні знаходиться широке вікно прозорості атмосфери, яке пропускає інфрачервоне випромінювання з мінімальними втратами. У зв'язку з цим ТС мають здатність працювати цілодобово [1].

### МАТЕРІАЛИ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ОПТИКИ

Для виробництва оптичних деталей, що будуть використовуватися в тепловізійних приладах, головна увага приділяється матеріалам, які повинні забезпечувати високе пропускання оптичної системи. Необхідно враховувати: умови роботи, розраховані габаритні характеристики об'єктива і характеристики приймачів випромінювання, умову формування зображень (середня температура фону, дисперсія температури фону, мінімальна і максимальна температура об'єкта) [2]. Матеріали лінз, що працюють в інфрачервоній області спектра, можна поділити на чотири групи: кристалічні напівпровідники, кристали, несилікатне скло, оптичні пластмаси. По спектральному діапазону можна виділити: середньохвильове та довгохвильове інфрачервоне випромінювання. Лінзи для тепловізорів в яких робочий спектральний діапазон становить від 3 до 5 мкм, виготовляють з кремнію. Довгохвильові тепловізори мають робочий спектральний діапазон від 8 до 14 мкм. Лінзові об'єктиви довгохвильових тепловізорів виготовляють з германію, досить рідкісного елемента. Перевагу віддають діапазону 8...14 мкм, в якому відбувається найбільш інтенсивне випромінювання світлової енергії від об'єктів, які знаходяться при атмосферній температурі або близькою до неї [2].

## ІНФРАЧЕРВОНІЙ ОБ'ЄКТИВ

Одним з основних елементів тепловізійних приладів (ТПВП) є інфрачервоний об'єктив, призначений для формування зображення об'єктів та фонів у площині приймача випромінювання в заданому спектральному діапазоні. У порівнянні з об'єктивами для інших приладів вони мають деякі особливості [3].

По-перше, це робочий спектральний діапазон  $\Delta\lambda=8-14$  мкм, який вимагає застосування для лінз спеціальних матеріалів, прозорих в цій області спектра [4].

По-друге, для більшої концентрації енергії кола розсіювання на площадці фотоприймального пристрою необхідно зменшувати дифракційне коло розсіювання, яке має визначальне значення для таких систем [4]. Виконання цієї умови вимагає збільшення світлосили об'єктивів до відносного отвору 1:1 і вище.

По-третє, масове використання в ТПВП в якості приймачів випромінювання не охолоджуваних болометричних матриць з великим числом пікселів призводить до збільшення поля зору об'єктивів [4].

По-четверте, ТПВП часто експлуатуються в складних умовах навколишнього середовища. В першу чергу це відноситься до температурного діапазону, який згідно з вимогами може досягати  $\pm 60^\circ$ . Виходячи з цього, одним із важливих завдань при проектуванні об'єктивів для ТПВП є завдання збереження їх основних характеристик при коливаннях температури [4].

Найбільш важливим параметром матеріалів, що використовуються для виготовлення інфрачервоних об'єктивів, є показник заломлення  $n$  та його залежність від довжини хвилі та температури. Цей параметр разом з геометричними розмірами лінзи визначає її фокусну відстань за формулою лінзи:

$$\frac{1}{f_0'} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(1-n)^2}{nr_1 r_2} d \quad (1)$$

де  $r_1, r_2$  – радіуси поверхонь з урахуванням знака;  $f_0'$  – фокусна відстань;  $d$  – товщина лінзи [1].

## ФОТОПРИЙМАЧІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ

Протягом десятиліть основним фотоприймальними пристроями для тепловізійної техніки були фотоприймачі на основі поєднання кадмій - ртуть - телур HgCdTe. Вони вимагали значного охолодження, але володіли високою виявною здатністю. Робоча температура цих приймачів досягає 78-120 K, що близько до точки кипіння рідкого азоту. Для утримання декількох сотень фоточутливих елементів, з яких складається сучасний фотоприймальний пристрій, при такій низькій температурі необхідно помістити їх в посудину Дьюара. Особливістю посудини Дьюара є велика відстань від площини фоточутливих елементів до холодної апертурної діафрагми і до вхідного вікна посудини. Це призводить, щоб уникнути збільшення габаритів посудини

Дьюара, до зменшення відносного отвору фотоприймального пристрою, що визначається діаметром холодної апертурної діафрагми, до величини 1:2 і менше. Ці конструктивні особливості фотоприймального пристрою вимагають поєднання вихідної зіниці оптичної системи з холодною діафрагмою і недопущення виньєтуванням світлового потоку оптичними елементами. Недотримання цих вимог призводить до зростання внутрішніх шумів від власного теплового випромінювання елементами конструкції оптичної системи. Ще однією особливістю фотоприймальних пристроїв на основі HgCdTe є те, що накопичення заряду відбувається на ємності, розташованій під фоточутливим елементом, тому максимально допустимий час накопичення обмежена розмірами цієї ємності і становить близько  $20 \times 10^{-6}$  сек. Створення таких приймачів випромінювання є високотехнологічним завданням, тому в даний час на ринку представлена продукція тільки декількох компаній. Як матеріал для чутливої площадки використовується оксид ванадію (Vox) або аморфний кремній ( $\alpha$ -Si). Сучасні болометричні матриці мають великий формат, а розмір пікселя наблизився до можливого дифракційному межі об'єктивів для далекого інфрачервоного діапазону (ІЧ-діапазону). У таблиці 1 наведені параметри основних мікроболометричних матричних приймачів.

Таблиця 1. Характеристики мікроболометричних матричних приймачів

<i>Виробник</i>	<i>Модель</i>	<i>Матеріал</i>	<i>Формат a×b, пікселів</i>	<i>Размер пікселя p, мкм</i>	<i>NETD, mK</i>
ULIS	UL 03 041	$\alpha$ -Si	384×288	35	60
	UL 03 162	$\alpha$ -Si	384×288	25	100
	UL 03 191	$\alpha$ -Si	384×288	25	40
	UL 04 171	$\alpha$ -Si	640×480	25	50
	UL 04 322	$\alpha$ -Si	640×480	17	55
	UL 05 251	$\alpha$ -Si	1024×768	17	60
DRS Technologies (USA)	U3510	Vox	320×240	25	40
	U3600	Vox	320×240	17	40
	U6010	Vox	640×480	25	40
	U6160	Vox	640×480	17	50
Raytheon (USA)	SB 246	Vox	640×480	25	50
	SB 400	Vox	640×480	17	50
FLIR (USA)	TAU	Vox	320×256	25	50
	TAU 2	Vox	640×512	17	50
SCD (Israel)	BIRD 640	Vox	640×480	25	50
	BIRD 640	Vox	640×480	17	50

## ВИСНОВОК

Високий показник заломлення і низька дисперсія германію дозволяють розробляти об'єктиви тільки з одного матеріалу з близьким до дифракційної межі якістю зображення. Негативними властивостями таких об'єктивів є велика залежність якості зображення від температури навколишнього середовища.

Використання матричного приймача з меншим розміром пікселя дозволяє збільшити максимальну дальність спостереження і збільшити контрастність зображення.

Для розрахунку об'єктива необхідно підібрати матеріали, оптичні сили і відстань між лінзами, вирішуючи систему рівнянь умови масштабу, виправлення хроматизму положення і атермалізації.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Колобродов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): підруч. / Колобродов В.Г., Шустер Н – К.:, 1999. – 340 с.
- [2] Михеев С.В. Основы инфракрасной техники.: підруч. / С.В. Михеев – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.
- [3] Лапо Л.М., Совз И.Е., Сокольский М.Н. Светосильные объективы для тепловизионных приборов // Оптический журнал. – 2009. – Т.76. – №10. – С. 5-10.
- [4] Хитрик А.С., Быков М.П., Утенков Б.И. Тепловизоры на основе неохлаждаемой болометрической матрицы // Оптический журнал. – 2009. – Т.76. – №10. – С. 34-36

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Тягур В. М.*

УДК 621.384

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

## **ДВОКАНАЛЬНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

**Анотація.** На прикладі типових вхідних блоків оптико-електронних систем спостереження вирішується задача вибору економічно вигідного схемотехнічного вхідного блоку оптичної системи.

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

### **ВСТУП**

Дистанційне спостереження в умовах низької освітленості, або повної відсутності освітленості є одним з найважливіших напрямків оптико-електронного приладобудування. У зв'язку з цим вважається за доцільне створення багатоканальних оптико-електронних систем (БК ОЕС) здатних працювати відразу в декількох спектральних діапазонах, що складаються з окремих каналів на базі відомих типів оптико-електронних систем (ОЕС) і інших приладів таким чином, щоб недоліки одних каналів компенсувалися б перевагами інших. В оптико-електронних системах спостереження (ОЕСС) таким чином збільшується рівень дешифрування візуальної картини, що пред'являється оператору для аналізу [1].

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

У даній роботі на прикладах типових вхідних блоків БК ОЕС вирішується задача вибору економічно вигідного схемотехнічного рішення вхідного блоку оптичної системи.

### **ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ**

Розглянемо БК ОЕС, які працюють в декількох спектральних діапазонах та об'єднаних за конструктивним принципом. 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. БК ОЕС може бути змонтована в декількох корпусах, але встановлюється на єдиному носії [2].

З Рис.1 видно, що конструктивно об'єктиви бувають лінзовими (Рис.1 а,б,г), дзеркальними (Рис.1 в) та дзеркально-лінзовими (Рис.1 в).

Лінзові об'єктиви поділяють на декілька типів, приміром, двухлінзові, триплети, телеоб'єктиви, ширококутові, світлосильні об'єктиви тощо. У зв'язку втратами випромінювання в матеріалах оптичної системи з одного боку, та з високими вимогами до якості зображення з іншого боку, лінзові об'єктиви, що використовуються в оптико-електронних системах спостереження, намагаються зробити з мінімальною кількістю лінз [3]. Для абераційної корекції використовують асферичні поверхні лінз, що дорогі у виробництві.

До переваг лінзових систем можна віднести технологічну простоту конструкції, значні можливості абераційної корекції, великі поля, можливість

сполучення функції першого компонента й захисного скла, мале він'єтування по полю зору.

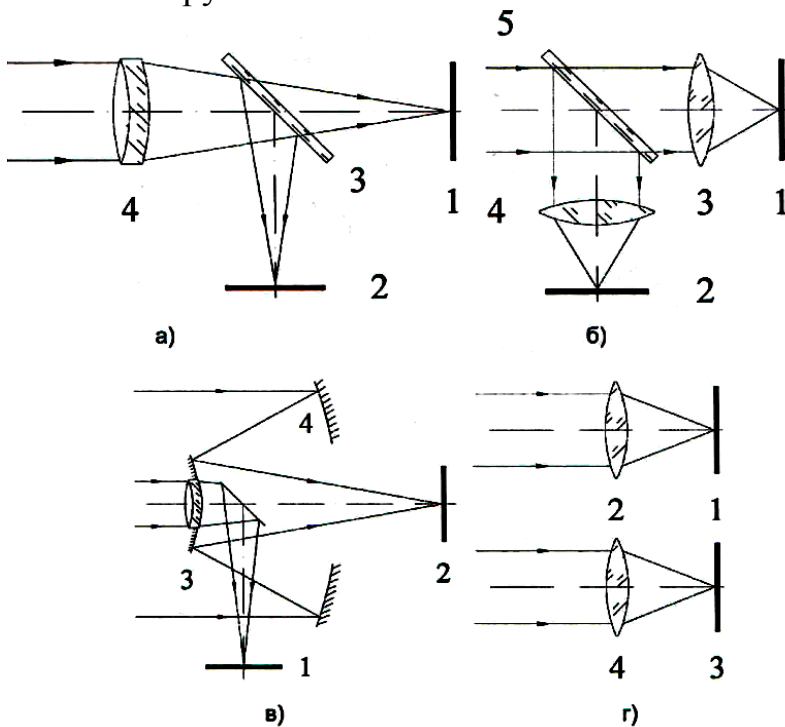


Рисунок 1. Типові схеми входних блоків ДК ОЕС [6]

- 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 – зіставний двоспектральний об'єктив; г) 1,3 – площини каналів ПВ; 2,4 – вузькоспектральні об'єктиви каналів.

До недоліків лінзовиз систем можна віднести асферичні поверхні лінз, що є не дешевими у виробництві, великі поздовжні габарити, порівняно великіхроматичні аберації, велике селективне поглинання в ряді ділянок оптичного спектра.

Згадані вище недоліки відсутні в дзеркальних системах, основними перевагами яких є можливість роботи в широкому спектральному діапазоні з малими втратами потоку, відсутність хроматизму, невеликі поздовжні габарити [5], що приводить до зменшення економічних затрат на виготовлення та зменшення маси ОЕСС.

До недоліків дзеркальних систем можна віднести незначні поля зору, значне він'єтування по полю зору, екранування частини випромінювання, що знижує функцію передачі модуляції (ФПМ) і труднощі боротьби із прямими засвічуваннями. Поліпшення абераційних якостей дзеркальних об'єктивів обмежується малою кількістю корекційних параметрів і нерідко досягається впровадженням дзеркальних асферичних поверхонь в оптичну систему [4].

Дзеркально-лінзові системи усувають деякі недоліки дзеркальних систем, такі як досягнення значних кутів поля зору та більших відносних отворів. Дзеркально-лінзові оптичні системи, або катадіоптричні системи - це різновид

Найменшу відстань від заднього фокуса до першого компонента мають телеоб'єктиви. Конструктивно вони складаються з першого позитивного компонента і другого негативного компонента, розташованого на певній відстані від першого. Кожен компонент складається з кількох лінз. Важливим конструкторським рішенням телеоб'єктиву є винесення головної площини на деяку відстань перед першим компонентом, результатом чого є зменшення від заднього фокуса до першого компонента в (1,3 – 1,8) рази відносно його фокусної відстані.

оптичних систем, які містять в якості оптичних елементів як дзеркала (катоптрику), так і лінзи. Дзеркально-лінзові системи застосовуються, коли для корекції аберацій двозеркальної системи з технологічної та економічної точок зору вигідніше використовувати не асферичні поверхні, а вводити в об'єктив корекційні лінзи, одна з яких виконує функцію захисного скла. У цих системах один елемент служить для зниження аберацій, що створюються дзеркальною системою [5]. Найбільш поширені дзеркально-лінзові системи Шмідта-Кассегрена і Максутова-Кассегрена.

Згідно з законами оптики, відхилення форми поверхні від розрахункової повинна знаходитися в межах від 0,02 мкм до 1 мкм, а шорсткість поверхні дзеркала повинна бути не гірше  $\lambda / 8$ , де  $\lambda$  - довжина хвилі. Таким чином, головною складністю виготовлення дзеркала є необхідність дуже точно дотримуватися кривизни поверхні [5]. Виготовляти сферичне дзеркало технологічно значно простіше, ніж параболічне і гіперболічне, які використовуються в телескопах-рефлекторах.

Відмінності між варіантами оптичних елементів БК ОЕС визначаються конкретними вимогами їх призначення.

Найкращим економічно вигідним схемотехнічним рішенням є схема вхідного блоку з дзеркально-лінзовою оптичною системою (Рис. 1 в).

## ВИСНОВКИ

Двоспектральні системи, об'єднавши переваги декількох спектральних діапазонів, дозволяють бачити при яскравому освітленні та в повній темряві перемикаючись на необхідний діапазон спектру. В результаті проведеного огляду типових рішень було визначено метод суміщення каналів, з найкращим економічним та схемотехнічним рішенням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Виртуальные испытания систем технического зрения / Е. В. Грицкевич, Д. А. Скворцов, П. О. Гептнер, О. Ю. Проценко. // Весник СГУГиТ. – 2012. – С. 114–121.
- [2] 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.
- [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] Колобродов В. Г. Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження / В. Г. Колобродов, В. І. Микитенко, Є. Г. Балінський. – Київ: НТУУ "КПІ", 2017. – 198 с.
- [5] Система Кассегрена [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: [https://astronomy.ru/wiki/Система\\_Кассегрена](https://astronomy.ru/wiki/Система_Кассегрена).

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



**УДК 338.984**

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

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА**

**Анотація.** В даній статі аналізується можливість впровадження приладу «Цифровий когерентний оптичний спектроаналізатор» на ринок України, проведено аналіз конкуренції на ринку. Особлива увага приділена слабким і сильним сторонам проекту та проведено взаємозв'язок з можливостями і загрозами, які мають місце при впровадженні проекту.

**Ключові слова:** цифровий когерентний оптичний спектроаналізатор, аналіз конкуренції, аналіз ринку.

### **ВСТУП**

Ринок в сфері інформаційних технологій не стоїть на місці. Запуск нових систем для досягнення кращого результату в будь-якій сфері відбувається наразі досить швидко, проте доцільним є введення систем, які б не втрачали своєї актуальності протягом великого проміжку часу. Наразі досить вагомим проблемою є підвищення швидкості обробки великих масивів інформації. За рахунок аналітичної роботи [1] було виявлено, що оптична обробка інформації в майбутньому може стати гідною заміною цифровій, але на сьогодні все ж таки краще використовувати альтернативу у вигляді поєднання двох методів обробки. Проте питання, наскільки зараз впровадження таких систем є рентабельним для підприємств і чи можливе впровадження на світовий ринок з високою вигідністю не було розглянуто раніше. Метою статті є проведення аналізу попиту, формування вимог для потенційних груп клієнтів, аналіз конкурентоспроможності, сильних та слабких сторін при випуску на ринок цифрового когерентного оптичного спектроаналізатора.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Цифровим когерентним оптичним спектроаналізатором (ЦКОС) [2] називають прилад для обробки оптичної інформації з подальшою комп'ютерною обробкою, робота якого базується на рівнянні дифракції Френеля. Завдяки такому приладу значно підвищується як швидкість обробки, так і об'єм оброблюваних даних. Основними споживачами, що матимуть зацікавленість в даному типі приладів, можуть бути наступні: центри обробки даних, виробники серверного обладнання, хостинг-компанії та науковці, що працюють з великими масивами даних.

Для того, щоб проаналізувати попит, необхідно оцінити рентабельність виготовлення такого приладу і чи є ринок привабливим для входження. Для цього необхідно оцінити існуючих на ринку конкурентів, динаміку ринку та середню норму рентабельності в галузі.

Станом на 2015 р. і наступні прогнози [3] темпи зростання витрат на системи обробки інформації значно перевищують щорічні темпи зростання ВВП в багатьох світових країнах. Відповідно до довідкової інформації з Державної служби статистики України, середня норма рентабельності в галузі становить 60%. Станом на листопад 2019 р. [4] банківський відсоток на вкладення становить 10-17%, що є значно меншим за середню норму

рентабельності в галузі, а саме в 3,5-6 рази. Оскільки значення середньої рентабельності є вищим, виникає сенс інвестування в даний проект.

Окрім цього, важливим етапом є визначення основних конкурентів на ринку. З проведеної аналітичної роботи було визначено, що конкурентів, які б використовували даний вид обробки інформації, і які були б офіційно представлені на території України немає, оскільки аналоги користуються попитом в країнах з більш розвиненими інформаційними технологіями. Тому, якщо враховувати лише державний ринок, в який можливе входження продукту, цілком ймовірно легке входження на ринок.

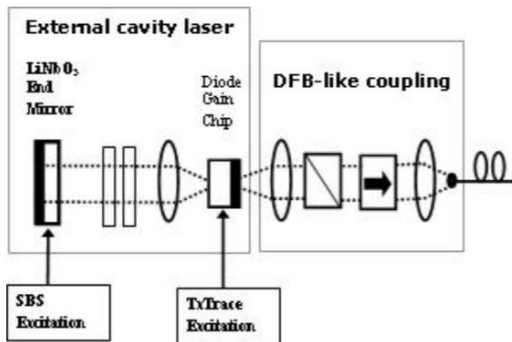


Рисунок 1. Функціональна схема Intel Silicon Photonics Link [5]

тів, все ж таки, є не так обробка, як швидка передача інформації, проте використовується схожа технологія з тією, що використовується в (рис. 2). Окрім цього існують розробки в міжнародно відомій компанії Cisco, проте поки що офіційно вони не були представлені.

Цільовою аудиторією, на яку націлено даний прилад є компанії, які працюють з великими масивами даних і потребують їх швидкої обробки. Головними їх потребами є висока швидкість передачі і обробки інформації, велика ємність сигналу, продукт має працювати без участі оператора, прилад має бути сертифікований відповідно до стандартів, які діють на території споживача, повинен бути патент на розробку.

Для того, щоб правильно обрати вибір стратегії поведіння на ринку необхідно проаналізувати конкуренцію на ринку, що наведено в таблиці 1 [7].

Проте на міжнародному рівні конкуренція все ж таки існує, хоч і не висока, оскільки технологія знаходиться на експериментальному рівні, а перевага поки що віддається більш дешевому аналогу – цифровій обробці інформації. Прямим конкурентом є компанія Intel, що випустила два продукти під назвами «Light Peak» та «Silicon Photonics Link». Основною метою

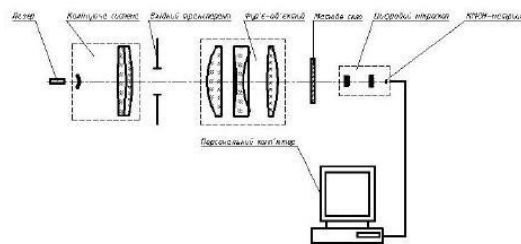


Рисунок 2. Функціональна схема розробленого ЦКОС

цих продук

(рис. 1) ЦКОС

Таблиця 1. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною)
1. Олігополістична конкуренція	Дві компанії на ринку, які розподілили ринок між собою і задовольняють кожен свій сегмент ринку	При участі на галузевих виставках можливе залучення своєї частини ринку за рахунок того, що

		створюються нові компанії, яким було б цікаве використання даного продукту
2. Світовий рівень конкурентної боротьби	Оскільки продукт задовольняє потреби вузької галузі, боротьба ведеться між міжнародними компаніями	Збут через міжнародні інтернет-магазини, участь в міжнародних тендерах
3. Внутрішньогалузева ознака	Задовольняє потреби вузької галузі	Вузька реклама на обрані компанії
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між модифікаціями одного й того ж товару	Вдосконалення продукції, написання наукових статей по темі вдосконалення продукту, проведення наукових робіт, моніторинг нових ідей в цій сфері
5. Неціновий характер конкурентних переваг	Продукт удосконалюється шляхом залучення іноземних вчених та нових методів проектування	Вдосконалення продукції, написання наукових статей по темі вдосконалення продукту, проведення наукових робіт, моніторинг нових ідей в цій сфері
6. Марочна інтенсивність	Більші продажі у компанії Intel, оскільки існує довіра до бренду від споживачів, також існує співпраця з компанією Apple	Розглядається можливість приєднання до відомого бренду з можливістю роботи під їх брендування

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку демонструє те, що існують три компанії, що виробляють схожі аналоги приладу і зайняли ринок збуту, при цьому можна відокремити одну, яка має більші продажі, в порівнянні з іншими. Проте відомо, що вартість таких приладів є висока, а наша технологія може здешевити вартість. З огляду на таблицю 1, можливою дією для входу на ринок є приєднання до більш впливової компанії.

Також необхідно проаналізувати фактори можливостей і загроз на ринку. Відповідно до рекомендацій [7] було сформовано SWOT-аналіз проекту (табл. 2).

Таблиця 2. SWOT-аналіз проекту

<b>Сильні сторони:</b>	<b>Слабкі сторони:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>4. Ціна на 30% нижче ніж у найближчого конкуренту.</li> <li>5. Зручне та просте керування, що супроводжується відео інструкціями у комплекті.</li> <li>6. Менші габаритні розміри продукту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3. Необхідне значне інвестування для старту, близько 500 тис \$.</li> <li>4. Невідома у світовій спільноті, не визнана торгова марка.</li> </ul>
<b>Можливості:</b>	<b>Загрози:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>5. Поява міжнародних інвесторів, зацікавлених у подальшому розвитку проекту.</li> <li>6. За рахунок вдосконалень, створення найякіснішого продукту на ринку.</li> <li>7. Збільшення попиту на товари, які використовують технології даного типу.</li> <li>8. Зростання кількості партнерів для співпраці, спрощення процедури розповсюдження продукту на світовому ринку.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5. Новий метод, ще не сильно набувший популярності у світі, вчасності і в Україні.</li> <li>6. Недостатня ергономічність програми.</li> <li>7. Важкість виходу на міжнародний ринок.</li> <li>8. Більша вартість технології в порівнянні з альтернативними.</li> <li>9. Неможливість проведення процедури оцінки відповідності в інших країнах.</li> </ul>

## ВИСНОВКИ

Основні фактори загроз пов'язані з тим, що проект є маловідомим і не здобуде популярності на міжнародному ринку. На сьогодні оптичні методи обробки інформації знаходяться в стадії розробки і більшість споживачів надає перевагу відомим і дешевшим способам обробки, які мають недоліки в швидкості і меншому об'ємі оброблених даних в одиницю часу.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості. Головними можливостями даного продукту на перших етапах мають бути такі, що полегшить впровадження його на ринок, як країни, так міжнародний.

Провівши SWOT-аналіз на основі ринкових загроз і можливостей (табл. 2) можна проаналізувати можливості та загрози, пов'язані з реалізацією проекту в цілому. Сильною стороною проекту є вартість приладу, його простота в експлуатації та зменшені габаритні розміри. Слабкою – необхідність в подальших дослідженнях та те, що продукт не є відомим, тим самим підвищуючи необхідне інвестування для старту проекту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] 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.
- [2] Проектування цифрових когерентних оптичних спектроаналізаторів/ В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик, В.І. Микитенко, М.С. Колобродов. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2019. – 256 с.
- [3] Сардак С. Е. Дослідження структури і тенденцій розвитку світового ринку інформаційних технологій / С. Е. Сардак, А. В. Ставицька. // *Технологический аудит и резервы производства.* – 2015. – №4/5(24). – С. 96-100.
- [4] Міністерство фінансів України. Депозити в банках України. – Режим доступу: <https://mof.gov.ua/uk/zviti-po-derzhavnih-bankah-fin> – 02.11.2019 р.
- [5] 10 Gb/s Optical Transceivers: Fundamentals and Emerging Technologies// *Intel® Technology Journal.* – 2004. – Vol. 08, Issue 02. Режим доступу: <https://www.intel.com/technology/itg/index.html> - 02.11.2019 р.
- [6] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

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

УДК 621.384

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

## АВТОМАТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОШЕНОСТІ ПАПЕРУ

**Анотація.** Розглянуто ознаки зношеності паперових грошей. Запропоновано систему критеріїв оцінки фізичного стану банкнот за допомогою програмного забезпечення.

**Ключові слова:** зношеність, банкнота, Python, програмне забезпечення.

### ВСТУП

Зробивши аналіз про стан проблеми визначення платоспроможності банкнот в Україні, ми визначили, що можна автоматизувати етап визначення зношеності банкнот для прискорення цього процесу.

Для автоматичного визначення зношеності паперових грошей було запропоновано систему критеріїв оцінки фізичного стану банкнот. До них можна віднести: загальну забрудненість банкноти, наявність отворів, плям або сторонніх написів, потертість фарби, відірвані краї та надриви [1]. Для реалізації цього методу було розроблено схему приладу, який можна віднести до класу банківського обладнання.

### ОСНОВИЙ РОЗДІЛ

Робота даного приладу основана на одночасному скануванні лицьового та зворотного сторін банкноти з подальшою цифровою обробкою зображення і сортуванні по ступеню забрудненості(табл. 1). Програмне забезпечення розробляється у пакеті PYTHON (рис.1).



Рис. 1 Вікно програми для визначення зношеності банкнот

Python – це мова програмування на дуже високому рівні загального призначення, що є орієнтованою на підвищення і покращення продуктивності розробника, а також читання коду. Python підтримує об'єктно-орієнтоване, функціональне, структурне, імперативне і аспектно-орієнтоване програмування. Його основні архітектурні властивості - це динамічна типізація, автоматичне керування пам'яттю, повна інтроспекція, механізм обробки виключень, підтримка паралельних багатопотокових обрахувань та високорівневі структури даних. В ній підтримується розкладання програм на модулі, які, власне в свою чергу, можуть об'єднуватися в пакети та класи [2].

Основні її особливості: вона працює майже на усіх відомих нам платформах, є відкритим і безкоштовним ПЗ, виконується шляхом інтерпретації байт-коду, підтримує кілька об'єктно орієнтованих мов програмування (в тому числі парадигму), код програм є компактним і простим, зручним для читання. Має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс(рис. 2). Для Python характерні динамічна типізація, повна інтроспекція, зручні структури даних (кортежі, списки, словники, множини), велика стандартна бібліотека та велика кількість сторонніх бібліотек різноманітного призначення. Програма Python має взаємний режим роботи, де введені з клавіатури заданні умови відразу ж виконуються, а результат виводиться в консоль або ж на екран[3].

І все ж якщо говорити про відносно не велику швидкість запуску інтерпретатора, Python використовують у веб розробці та різноманітних мобільних платформах (таких як Windows CE, Symbian OS і Android та Linux)[4].

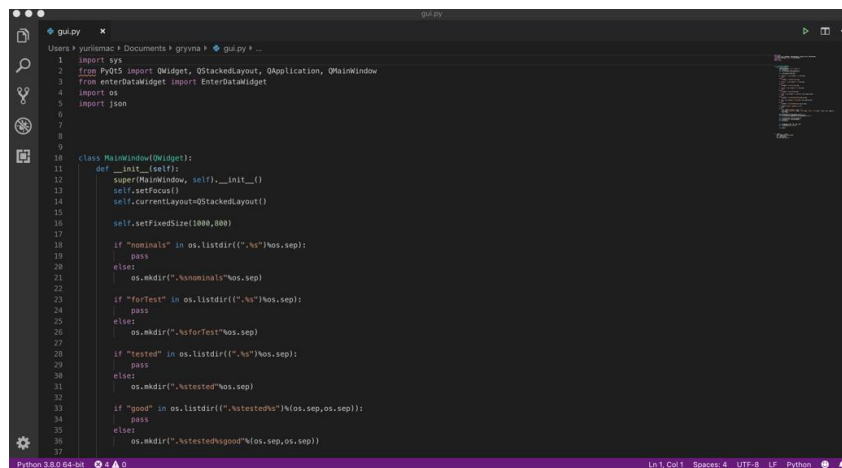


Рис. 2 Робоче середовище Python

Зображення банкноти представляється у вигляді матриці. За допомогою спеціальних фільтрів (масок) можна визначити загальну забрудненість банкноти, потертість чорнил, а також інші ознаки зношеності купюр: плями, отвори, проколи, відірвані краї, тощо. В якості еталону використовуються зображення нових банкнот.

Запропонований метод визначення зношеності банкнот швидкий та зручний, оскільки можна робити перевірку у віддалених населених пунктах маючи тільки сканер і ноутбук. Після цього, ми отримуємо статистику забруднених та непридатних купюр[3].

Таблиця 1. Опис ідеї проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Автоматичне визначення зношеності паперу	Метрологія	Підвищення точності та швидкості обробки зображень
	Аналіз та інтерпретація аерофотознімків	
	Астрономія	
	Промислова дефектоскопія	

Підсумовуючи усе вище зазначене, можна дійти до висновку, що існує великий попит на дану продукцію. Це можна підтвердити динамікою та комплектацією ринку та його потребі у приладі для автоматичного визначення паперу, для отримання швидкої статистики придатності банкнот в різних місцевостях. Цільовою групою потенційних клієнтів є фінансові установи, адже вони не завжди потребують високого рівня інформативності, а також прилади які у них є завжди достатньо дорогі. Як альтернативний варіант можна запропонувати застосування та виконання робіт для покращення якості програмного забезпечення[4].

Перевагою даного проекту є перевірка банкнот на придатність у швидкий та зручний спосіб порівнюючи з низькими витратами на проект. Для того аби продавати виробникам товару необхідно володіти особливими навиками, аби створити даний прилад. Проте клієнти матимуть змогу користуватися приладом без особливих навиків, що робить його доволі легким у використанні. Для уникнення копіювання та розкриття комерційної таємниці, цей проект буде захищено патентом.

Втілення даного проекту є дуже актуальним, адже технології у сфері визначення придатності банкнот набувають особливої популярності та будуть необхідними у майбутньому.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] 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>.
- [2] Python [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python>.
- [3] Копей В. Б. ЗАСТОСУВАННЯ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON ДЛЯ ПОБУДОВИ БАЗ ЗНАТЬ З ПРОБЛЕМ НАДІЙНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ШТАНГОВИХ СВЕРДЛОВИНИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК / В. Б. Копей, І. І. Палійчук. // ІФНТУНГ. – 2011. – С. 2.
- [4] 5 Лутц М. Программирование на Python / Марк Лутц. – СПб.: Символ-Плюс, 2002. – 1136 с
- [5] Fitness Guidelines for Federal Reserve Notes. Federal Reserve System Cash Product Office (CPO). – 2017.
- [6] 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
- [7] Павлюк Ю. М. ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНOSTІ ПАПЕРОВИХ ГРОШЕЙ / Ю. М. Павлюк, Г. В. Богатирьова. // ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2019. – С. 1.

*Наук. керівник: доцент, Богатирьова Г.В.*

УДК 681.7.013.8

Пашков Р.А., ст. гр. ПО-81мп, к.т.н. Микитенко В.І., к.ф.-м.н. Балахонова Н.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТІ ВІЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВІД ДАЛЬНОСТІ ЇХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РОЗРАХУНКОМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВІЗОРУ

**Анотація:** показано можливість обчислення дальності спостереження за об'єктами з певною ймовірністю за відомим з літератури аналітичним методом розрахунку ймовірності розпізнавання об'єктів на основі модифікованого критерію Джонсона.

**Ключові слова:** тепловізор, дальність спостереження, ймовірність спостереження об'єктів, критерій Джонсона

### ВСТУП

При проектуванні/виборі тепловізійних пристроїв (ТВП) для задач виявлення об'єктів одним з критеріїв їх ефективної роботи є дальність спостереження [1]. Ще в середині минулого сторіччя Джонсоном [2] був запропонований метод штрихових мір, який дає можливість визначити ймовірність розпізнавання об'єкта спостерігачем. Метод є дієвим при визначенні дальності виявлення шляхом визначення того, скільки телевізійних ліній вкладеться на зображення об'єкту. Але цей метод не враховує дискретний тип приймача випромінювання і передавальні характеристики інформаційної системи на середніх просторових частотах. Авторами [3] запропонований аналітичний метод розрахунку ймовірності розпізнавання об'єктів на основі модифікованого критерію Джонсона для проектування ТВП, що є найбільш ефективним за критеріями вартості та ймовірності розпізнавання об'єктів. Але той самий алгоритм можна застосувати і для визначення залежності ймовірності розпізнавання об'єктів від відстані до об'єкта, що й пропонується в даній роботі.

### ЗАЛЕЖНІСТЬ ЙМОВІРНОСТІ ВІД ДАЛЬНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У ТЕПЛОВІЗОРІ

Автори [3] запропонували емпіричний вираз для відповідної ймовірності розпізнавання об'єктів:

$$P(L) = 1 - \exp\left(-0,7\left(\frac{h\gamma}{2NA(L)}\right)^2\right), \quad (1)$$

де  $h = \sqrt{S}$  - критичний розмір об'єкта в картинній площині,

$S$  - площа об'єкту розпізнавання;

$\gamma$  - показник кваліфікації оператора, який приймає значення 0,65–1,5 (від низької до високої відповідно);

$A(L)$  - напівперіод еквівалентної теплової міри, яка розпізнається з ймовірністю 0,5;

$N$  - критерій Джонсона, для ймовірності 50%.

Значення  $N$  для чотирьох рівнів розрізнення об'єктів для електронно-оптичних перетворювачів та тепловізорів за критеріями Джонсона [4], при



якому ймовірність виявлення порогового значення сигналу від об'єкта складає 50% є наступними:

- виявлення –  $N=2$ ,
- орієнтація –  $N=2,8$ ,
- розпізнавання –  $N=8$ ,
- розпізнавання –  $N=8$ ,
- ідентифікація –  $N=12,8$ .

Величина  $A$  в (1) розраховується з відносної температурно-частотної характеристики  $E(x)$ , яка ТВП визначається наближеною формулою [3]

$$E(x) = \frac{|\Delta T_R| \tau r x F}{\Delta T \cdot \Delta a} = \max \left( 0,3; \frac{3x}{K(x)} \right), \quad (2)$$

де  $\Delta T_R$  – різниця між радіаційною температурою об'єкта і фону;

$\tau$  – середнє значення коефіцієнта пропускання атмосфери на дистанції  $L$  в спектральному робочому діапазоні;

$$r = \frac{\sqrt{1 + \exp(-1/[C_{eye} \cdot V])}}{\sqrt{1 - \exp(-1/[C_{eye} \cdot V])}}; \quad (3)$$

де  $\nu$  – кутова частота теплової міри;

$\delta$  – ефективне значення елементарного поля зору ТВП;

$F$  – фокусна відстань об'єктиву;

$\Delta T$  – різниця температур, еквівалентних шуму;

$\Delta a$  – шаг елементів ФПУ;

$x$  – відносна частота теплової міри  $x = \nu \delta$ ,

$\nu = L/(2A)$ ;

$K(x) = \exp(-5.971x^2)$ ;

$L$  – дистанція до об'єкту;

$C_{eye}$  – стала часу ока  $C_{eye} = 0,019 + 0,051/L_b^{0,17}$ ;

$L_b$  – яскравість зображення фону;

$V$  – частота кадрів ТВП;

Залежність  $E(x)$  для  $x \leq 0,75$  автори [3] наближено апроксимують формулою

$$E(x) = 0,3 \exp(3,7x^2 + 4.35x); \quad (4)$$

Згідно (4) при  $x > 0,75$   $E(x) \rightarrow \infty$ , тому  $x$  не повинно перевищувати значення в 0,75. З (4) знаходимо залежність  $x$  від  $m = E(x)$ . Розв'язуючи квадратне рівняння знаходимо, що

$$x = \frac{-4,35 + \sqrt{4,35^2 + 4 \cdot 3,7 \cdot \ln(m/0,3)}}{3,7 \cdot 2}, \quad (5)$$

тобто

$$x_j = \min\left(0,75; 0,59 \left[ \sqrt{1 + 0,78 \cdot \ln(m/0,3)} - 1 \right] \right), \quad (6)$$

де  $m = \frac{|\Delta T_R| \tau r a}{\Delta T \cdot \Delta a}$ ,  $m \geq 0,3$  фактично є відношенням сигнал/шум,  $a$  - розмір пікселя. Тоді величина  $A$  змінюється в залежності від відстані до об'єкту спостереження  $L$  за формулою:

$$A(L) = L \cdot a / (2xF), \quad (7)$$

### РОЗРАХУНОК ЗАЛЕЖНОСТІ ЙМОВІРНОСТІ ВІД ДАЛЬНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У ТЕПЛОВІЗОРИ INFRATEC VARIOCAM® HD HEAD 600

Згідно інструкції до тепловізійної камери InfraTec VarioCAM® HD head 600 [5] вона має наступні технічні характеристики:

частота кадрів  $V = 240$  Гц,

розмір пікселя на екрані  $a = 17$  мкм,

шаг пікселя  $\Delta a = 3$  мкм,

температурний дозвіл при  $30$  °С – не більше  $\Delta T = 0,03$  К,

фокусні відстані різних об'єктивів з матрицею екрану  $1024 \times 768$ :

для надширококутового -  $F = 7,5$  мм,

для ширококутового -  $F = 15$  мм,

для стандартного -  $F = 30$  мм,

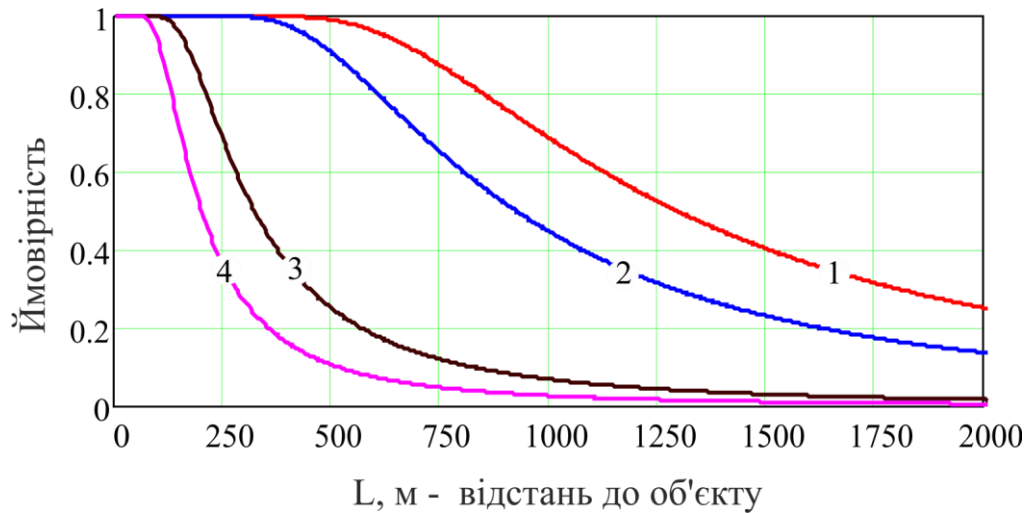
для телеоб'єктиву №1 -  $F = 60$  мм,

для телеоб'єктиву №2 -  $F = 120$  мм.

Розрахуємо ймовірність виявлення людини ( $0,6 \times 1,8$  м) від відстані до неї камерою InfraTec VarioCAM® HD head 600 для телеоб'єктиву №1 [6]. Розрахунок дальності  $L$  та отримання графіків здійснювали в програмному пакеті Mathcad 15. Для цього робили наступні припущення:

- спостереження ведеться в степу,
- середнє значення коефіцієнта пропускання атмосфери на дистанції  $L$  в спектральному робочому діапазоні є  $\tau = 0,5$ ,
- різниця радіаційних температур об'єкта і фону, для людини як об'єкт спостереження та типових фонів є  $\Delta T_R = 5$  К,
- яскравість зображення фону є  $L_b = 10$  кд/м<sup>2</sup>.

Результат розрахунку для розпізнання людини камерою InfraTec VarioCAM® HD head 600 представлені на рис. 3.1. Для виявлення відстані, на якій можна розпізнати людину з ймовірністю у **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.0,8** проведемо трасировку графіку. В результаті виявили, що з ймовірністю у **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.0,8** людину можна ідентифікувати на відстані 134 м, розпізнати на відстані 212 м, визначити напрям руху людини на відстані 613 м, виявити людину – на відстані 848 м.



- 1 – виявлення об'єкту  
2 – визначення орієнтації об'єкту  
3 – розпізнавання об'єкту  
4 – ідентифікація об'єкту

Рисунок 1. Ймовірність спостереження людини камерою InfraTec VarioCAM® HD head 600 з телеоб'єктивом, що має фокусну відстань **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** мм

## ВИСНОВОК

Один з критеріїв ефективності роботи тепловізійних пристроїв, а саме – дальність спостереження за об'єктами з певною ймовірністю, можна розрахувати за аналітичним методом розрахунку ймовірності розпізнавання об'єктів на основі модифікованого критерію Джонсона [3].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Колобродов В. Г. Проективання тепловізійних систем спостереження: підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.
- [2] Дж. Ллойд. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. – 407 с
- [3] Иванов В.П. Метод оптимизации несканирующих тепловизионных приборов / В.П. Иванов, В.А. Овсянников В.А., В.Л. Филиппов // Оптический журнал. 2012. Т. 79, №3. С. 4 – 10.
- [4] Mohd Junedul. Night Vision Technology: An Overview/ Mohd Junedul Haque and Mohd Muntjir // International Journal of Computer Applications 167(13):37-42, 2017.
- [5] InfraTec. Infrared Camera Models. Infrared Camera Series VarioCAM® HD head 600 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.infratec.eu/thermography/infrared-camera/variocam-hd-head-600/> дата звернення 25.10.2019
- [6] Пашков Р.А. Роздільна здатність приладів тепловізорів за критеріями Джонсона/ Р.А. Пашков, Н.О. Балахонова Н.О. // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» С. 117 – 120.

УДК 535.42

*О.І.Чікіда студент гр. ПО-82мп, І.О. Вовчок, студент гр. ПО-82мп,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## СУЧАСНИЙ СТАН РИНКУ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ

*Анотація.* Представлена оцінка ринку дифракційних лінз різного призначення у сучасному приладобудуванні. Дифракційні лінзи розглядаються як окремий продукт, а також у ролі складової частини приладів і систем.

*Ключові слова:* дифракційні оптичні елементи, технології виготовлення дифракційних лінз

### ВСТУП

За останнє десятиліття дифракційна оптика пережила стрімкий перехід від фундаментальних досліджень до комерційного використання. Найпершим дифракційним елементом (ДЄ) була дифракційна ґратка, винайдена більше 200 років тому. Наступним елементом стала зонна пластинка. Ґратки широко використовувалися в приладобудуванні, а зонні пластинки лише як наочний приклад фокусування світла в оптичних учбових лабораторіях. Революційним стало створення комп'ютерів, які дозволили перейти до комп'ютерного синтезу амплітудно-фазових і фазових просторових фільтрів і здійснювати їх запис на фізичне середовище. Зі вдосконаленням мікролітографії стало можливим виготовляти ДЄ зі складним профілем зон. Таким чином, з'явилися ДЄ з унікальними характеристиками, не досяжними в межах традиційної оптики. Їх широко використовують при формуванні та вимірюванні хвильового фронту, в оптичному зв'язку, в оптичному записі інформації, в оптичних сканерах, в офтальмології та інших галузях науки і техніки[1].

### МЕТА РОБОТИ

Метою даної статті є ознайомлення зі сучасним становищем ринку дифракційних лінз (ДЛ) для покращення розуміння співвідношення наявних результатів наукових досліджень з попитом у світі. Проведемо оцінку комерційної важливості ДЄ в різних сегментах ринку і порівняємо проникнення на ринок різних дифракційних підходів.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо найпоширеніші та найуспішніші продукти, основною чи складовою частиною яких стали ДЛ та проведемо характеристику обсягів ринку.

*Дифракційні ґратки* для спектроскопії є типовими дифракційними елементами і займають найбільшу нішу на ринку дифракційних елементів. Вони є ключовими компонентами спектрометрів, що використовуються в лабораторіях різноманітних галузей – агропродовольча промисловість, біомедична інженерія, або як пристрої для поточного контролю технологічних процесів виробництва. На ринку цих елементів найбільшими компаніями вважаються JobinYvon, CarlZeiss, NewportCorporation, Lightsmyth, Headwall, Spectrogon та orShimadzu. За підрахунками експертів та менеджерів із продуктів, що діють у цій галузі, загальний обсяг продажів дифракційних ґраток становить приблизно €50 млн. Це сума без урахування ґраток високої

якості для космічних або астрономічних досліджень. Для спектроскопічних сенсорних систем на наступні роки очікується стабільний ринок з річним темпом зростання між 6% і 9% [2]. Для мініатюризованих та портативних пристроїв очікується значно більший темп зростання до 20%.

Однією із найбільших проблем із грошовими банкнотами є їх фальсифікація. Для покращення ситуації в цій області доводиться постійно вдосконалювати елементи захисту банкнот від підробки, які, по-перше, повинні проходити просту візуальну перевірку, по-друге, повинні гарантувати високі степені складності для копіювання та підробки. *Дифракційні та інші мікрооптичні структури* мають у цьому відношенні велику зручність використання та великий потенціал для подальшого поліпшення з метою виявлення достовірності. Сьогодні використовують, наприклад, голограми, приховані ефекти зображення, що змінюють колір чи зникають при зміні кута огляду. Крім того, в сучасні банкноти імпантовані особливості на основі заломлення мікролінз, які імітують рухомі ефекти та інші [2].

На ринку друку банкнот можна виділити деякі значні майбутні тенденції. Наприклад, термін експлуатації банкнот стає важливим фактором, що призводить до переходу від класичного паперу до полімерів. При цьому передбачається, що полімерні банкноти прослужать у 3,5 рази довше, ніж паперові. У поєднанні з полімерними підкладками буде доступна більша площа для функцій мікрооптичного захисту, що ефективно реалізується на базі ДОЕ.

На ринку *високоєфективних оптичних інструментів* використання окремих елементів, таких як дифракційна лінза чи мікролінза, все ще є досить затратним, в порівнянні із загальною вартістю всього приладу. Крім того, через обмежену кількість щорічного продажу систем, обсяг продукції досить помірний. Наприклад, для систем високоточних камер із вбудованим зображуючим ДОЕ продаж складає кілька приладів на рік із типовою торговою ціною в кілька тисяч євро. Ціна окремої складової, дифракційної лінзи, знаходиться у діапазоні від кількох десятків до кількох сотень євро. Розв'язання проблеми здешевлення ДЛ вимагає вдосконалення технології для зниження вартості виробництва загалом [3-5].

Можна вважати, що створення *інтраокулярної лінзи (ІОЛ)* є одним із найважливіших досягнень в області офтальмології. ІОЛ це лінза, що імпантується на місце природнього кришталика. Вона заломлює промені світла і формує на сітківці зображення, виконуючи функції природнього кришталика. Спочатку такі ІОЛ були не здатні виконувати функцію акомодатії, людина не могла однаково добре бачити ближні і дальні об'єкти. Для вирішення цієї проблеми були запропоновані біфокальні ДОЕ – що стало революційним проривом у цій області. Ефект біфокальності досягається за рахунок дифракції світлового потоку на безперервному дифракційному мікрорельєфі [6,7].

Як показують дослідження ринку ІОЛ провідних учених світу, щороку невпинно зростає кількість операцій по заміні кришталика при катаракті. На жаль, за прогнозами тенденція росту кількості операцій зберігатиметься надалі. Оцінка німецьких учених показує зростання ринку ІОЛ. У 2018 році розмір

світового ринку становив €680 млн. За оцінками американських учених у 2020 році ринок становитиме \$4,7 млрд. Водночас у дослідників залишаються невирішені проблеми – покращення акомодативної здатності та зменшення хроматичної аберації. У зв'язку з цим подальшого розвитку потребують теоретичні і експериментальні дослідження методів проектування ДЛ, що разом із зростаючим попитом робить цю задачу дуже актуальною та економічно обґрунтованою.

## ВИСНОВКИ

У статті представлений невеликий огляд різних сегментів ринку ДОЕ, і наведені обсяги цього бізнесу. Огляд показує різноманітність областей застосування ДОЕ. У деяких із цих областей дифракційна оптика вже демонструє значний успіх на ринку, такі як ІОЛ. В інших сегментах ринку, здається, важко виправдати необхідні інвестиції для впровадження нових технологій виготовлення ДЛ. Тому слід очікувати не зростання ринку безпосередньо ДОЕ, а систем на їх основі, які дадуть змогу отримати високу продуктивність та функціональність лише у випадку застосування ДОЕ.

Незважаючи на те, що розмір ринку для окремих елементів наразі порівняно невеликий, активна діяльність великих компаній в галузі мікроскопії та високоякісних телеоб'єктивів свідчить про те, що найближчим часом можна очікувати появу нових продуктів на основі ДОЕ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Методы компьютерной оптики / под. ред. В. А. Сойфера: Учеб. Для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 688 с.
- [2] Brunner R. Transferring diffractive optics from research to commercial applications: Part II – size estimations for selected markets / R. Brunner // Adv. Opt. Techn, 2014. – Vol.3, No.2. – P.121-128.
- [3] Полещук А. Г. Применение дифракционной оптики в измерительной технике / А. Г. Полещук, В. П. Коронкевич, В. П. Корольков, А. Г. Седухин // Компьютерная оптика, 2002. – №22. – С. 86-95.
- [4] Fan C.-J. Design of Infrared Inverted Telephoto-Optical System with Double-Layer Harmonic Diffractive Element / C.-J. Fan, Z.-Q. Wang, L. Lin, M. Zhang // Chi. Phys. Lett, 2007. – Vol.24, No. 7.
- [5] Kress B. C. Applied digital optics: from micro-optic to nanophotonics / B. C. Kress, P. Meyrueis. – Chippenham: Wiley, 2009. – 638 p.
- [6] Bellucci R. An Introduction to Intraocular Lenses: Material, Optics, Haptics, Design and Aberration / R. Bellucci // Cataract. ESASO Course Series. Basel, Karger, 2013. – Vol. 3. – P. 38-55.
- [7] Colvard D.M.. Achieving Excellence in Cataract Surgery. A Step-by-Step Approach [Текст] / D. Michael Colvard, 2009. – Los Angeles, CA. – 140 p.

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Васильковська І.О.*

**Секція 3.**

**Ефективність автоматизованих  
виробничих систем і технологій  
приладобудування**

**УДК 519.682:621.7**

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

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ ARENA**

**Анотація.** В статті розглядається питання використання імітаційного моделювання при розв'язанні задач підвищення ефективності технологічних процесів в приладобудуванні. Наведено можливості імітаційного моделювання та його переваги. Представлено етапи імітаційного моделювання. Надано приклад моделювання технологічного процесу складання варіатора засобами системи Arena.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, виробнича система, система Arena, складання варіатора.

### **ВСТУП**

В сучасному світі кожне підприємство не може обійтися без моделювання різноманітних ситуацій, адже вони можуть виникнути в будь-який момент часу та мати певний негативний вплив на продуктивність праці, що в результаті призведе до збільшення матеріальних і часових витрат. Одним із найкращих методів моделювання виробничих ситуацій є імітаційне моделювання [1].

Імітаційне моделювання дозволяє змоделювати поведінку досліджуваного об'єкту або системи, спроектувати всі етапи технологічного процесу та вивчити вплив різних факторів на нього. Моделі допомагають перевірити окремі технологічні та конструкторські ідеї без інвестування матеріальних, трудових та інших видів ресурсів у процес створення нових деталей, вузлів та приладів.

ІМ можна реалізувати за допомоги спеціального програмного забезпечення, яке дозволить також зімітувати взаємодію виконуваних процесів із навколишнім середовищем або оточенням, наочно побачити проблемні ситуації в виробничому процесі.

Тому задача доцільності та ефективності використання імітаційного моделювання засобами спеціального програмного забезпечення є на сьогодні досить актуальною.

Для дослідження ефективності застосування імітаційного моделювання при технологічному проектуванні вибрано систему Arena компанії Systems Modeling, що є одним з найбільш відомих інструментів імітаційного моделювання.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Проблеми організаційного проектування та організації функціонування автоматизованих виробництв і систем управління, впровадження яких на підприємствах нашої країни розпочалося ще в середині ХХ ст., залишаються актуальними і в наш час.

Під імітаційним моделюванням розуміють процес розробки та використання на комп'ютері імітаційної моделі, що відображає поведінку та структуру модельованого об'єкта.

Основний підхід моделювання полягає в тому, щоб реальні об'єкти замінюються спрощеними, які відображають головну суть та властивості реальних об'єктів, які відіграють вирішальну роль для вирішення поставленої задачі. Таким чином можна вважати, що імітаційна модель – це спрощене



представлення реальних об'єктів, процесів, систем, або таких, які необхідно спроектувати в майбутньому. Ця модель зазвичай представлена комп'ютерною симуляцією, виконання якої можна вважати імітацією поведінки вихідної системи в часі [2].

Побудова моделі і експерименти з імітаційною моделлю об'єкта необхідні, коли проведення експериментів над реальним об'єктом або явищем неможливе з якихось причин. Комп'ютерний експеримент з моделлю дозволяє, задаючи різні вхідні або проміжні параметри, отримувати і аналізувати отримані результати, що допомагають оператору прийняти рішення з управління досліджуваним об'єктом або явищем.

Імітаційне моделювання має суттєві переваги перед аналітичним моделюванням:

- зв'язки між змінними в моделі нелінійні, тобто вже немає можливості побудувати аналітичну модель;
- для розуміння поведінки системи необхідна візуалізація динаміки виконуваних в ній процесів;
- модель містить велику кількість одночасно функціонуючих взаємодіючих елементів [3].

Дана система дозволяє будувати імітаційні моделі, програвати їх і аналізувати результати такого програвання.

Технологічні етапи розробки та використання імітаційної моделі складної системи в системі Arena представляються у вигляді такої послідовності етапів [4]:

- складання змістовного опису об'єкта моделювання;
- побудова концептуальної моделі;
- формалізація об'єкта моделювання;
- програмування та налагодження моделі;
- випробування імітаційної моделі;
- дослідження властивостей імітаційної моделі;
- експлуатація імітаційної моделі;
- аналіз результатів моделювання.

## **ІМІТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

При реалізації процесу імітаційного моделювання Arena використовує такі основні елементи: джерела і стоки (Create і Dispose), процеси (Process) і черги (Queue).

Джерела – це елементи, від яких в модель надходить інформація або об'єкти. Швидкість надходження даних або об'єктів від джерела зазвичай задається статистичною функцією.

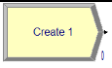


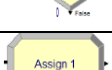

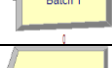
Сток – це пристрій для прийому інформації або об'єктів. Поняття черги близьке до поняття сховища даних – це місце, де об'єкти очікують обробки.

Процеси – це аналог робіт у функціональній моделі. В імітаційній моделі може бути задана продуктивність процесів.

Для побудови моделей Arena має набір засобів, які включають палітру інструментів, набір гідів та інші [5].

Система Arena дозволяє імітувати різні складні процеси за допомоги різних видів блоків. Технологічний процес можна описати за допомоги загальних блоків, вигляд, назва та функціонал яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Опис блоків системи Arena.

<i>Загальний вигляд блоків</i>	<i>Назва блоку</i>	<i>Опис функціоналу</i>
	Create	Початок. Дозволяє створити об'єкти моделювання, записати закон та інтервал появи об'єктів.
	Process	Блок імітації операції в який записуються закон розподілення часу, інтервал часу, тип затримки.
	Decide	Умова. Використовуються якщо для подальшого просування необхідно виконання певних умов, дозволяє сортувати об'єкти за певною характеристикою.
	Assign	Присвоєння різних атрибутів, наприклад: маса, тип деталей, зміна зображення візуалізованого об'єкта.
	Batch	Імітує процес складання або об'єднання.
	Dispose	Кінець.

За допомоги цих блоків можливо описати майже будь-який технологічний процес в системі Arena.

Розглянемо використання системи Arena при імітаційному моделювання технологічного процесу складання виробів в приладобудуванні на прикладі складання варіатора.

Варіатор – механічна передача, яка дозволяє плавно змінювати її передавальне співвідношення.

Імітаційна модель технологічного процесу складання варіатора наведена на рисунку 1.

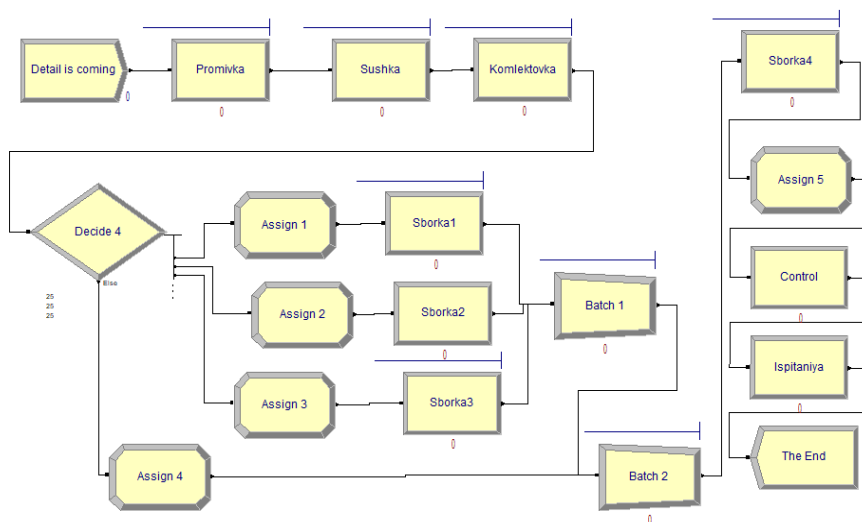


Рис. 1. Імітаційна модель технологічного процесу складання варіатора.

Наведений приклад та практика використання методики імітаційного моделювання показала доцільність та ефективність його застосування при розв'язанні різноманітних задач технологічної підготовки виробництва [6].

## **ВИСНОВКИ**

Імітаційне моделювання допомагає при вирішенні багатьох сучасних проблем. В більшості випадків саме імітаційне моделювання є єдиним способом отримати уявлення про поведінку складної системи та проведення її аналізу. А використання ЕОМ для машинної імітації дозволяє не перевищувати можливості цехів, ділянок, обладнання тощо.

За допомогою імітаційного дослідження можливо дослідити складні системи, до яких можна віднести технологічний процес від початкового етапу виготовлення окремих деталей до фінального, тобто випробування готового виробу.

Імітаційне моделювання є універсальним засобом для оптимізації процесів і явищ. Тому засобами системи Arena можуть бути побудовані та досліджені моделі різноманітних видів виробничих технологічних процесів в приладобудуванні (виготовлення деталей, складання та випробування виробів складського обліку, тощо). А завдяки можливості системи Arena схематично моделювати процеси проходження операцій без створення додаткових об'ємних моделей дозволяє бачити помилки розробника ще на початковому етапі, що дозволяє скоротити час на пошук помилок та отримання досить якісної моделі на початку.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ “КПІ”, 2011. – 488 с.
- [2] Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [текст] / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
- [3] Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 1: учеб. пособие /под редакций А.Н. Шелкового // - Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 407 с.
- [4] Радаев А.Е. Имитационное моделирование производственных систем: учеб. пособие / А.Е. Радаев, В.В. Кобзев; под общей ред. проф. В.В. Кобзева. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 156 с.
- [5] Імітаційне моделювання за допомоги системи Arena. [Електронний ресурс]. URL: <http://easy-code.com.ua/2011/05/imitacijne-modelyuvannya-z-arena/>.
- [6] Нестеренко А.О., Вислоух С.П. Імітаційне моделювання виробничого процесу складання. [Текст] / А.О. Нестеренко, С. П. Вислоух // Молодий вчений. – 2018. – №3 (55). – С. 406–409.

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

УДК 681.7.068.4

Ю.О. Бабич, студент гр. ПБ-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУГИ НА МОСТУ ТЕНЗОПЕРТВОРЮВАЧА НА ДЕТАЛІ І СИЛИ ЗАТИСКУ БОЛТА

**Анотація.** В даній статті буде описано результати розробки математичної моделі способу контролю якості і складання приладів тензометричним методом, а саме контролю сили затяжки болта вимірюючи деформацію пакету деталей, що закріплюються. Метод неруйнівного контролю, що запропоновано, який базується роботу на тензометричному вимірювальному дротяному перетворювачі, дозволяє дистанційно і в багатьох точках. Так, як залежність сили затяжки болта і показника напруги на мосту тензопретворювача, виражається через відомі геометричні і фізичні параметри пакету деталей, розрахунок даної залежності є досить простим і за необхідності може бути легко інтегрований в програмний забезпечення, що дозволяє полегшити автоматизацію виробництва.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль, болт, тензопретворювач, сила, напруженість, міст Вітстоуна, деформація.

### ВСТУП

З'єднання частин машин болтами набуло широкого поширення в різних галузях народного господарства, в тому числі і в приладобудуванні. Високі очікування працездатності сучасних приладів вимагають розвиток надійних методів розрахунку і складання болтових з'єднань. При затягуванні болта завжди виникають деформації деталей що стягуються. Під дією сили затяжки болт розтягується і скручується, а деталі стискаються. Сила затягування розраховується так, щоб з'єднання деталей було щільним і витримувало зовнішнє навантаження, а болт не руйнувався. Затягування контролюють по моменту загвинчування або по куту повороту гайки. Для цього застосовують електронні динамометричні ключі і ультразвукову техніку, що вимірюють момент і кут з високою точністю. Разом з тим до останнього часу при розрахунку затяжки болта використовують наближені вирази, які не враховують осьових і крутильних деформацій болта і деталей, що з'єднуються. В даній статті розглянуто математичний аналіз одного із наближених методів контролю затяжки болта, а саме через деформацію деталей що стягуються.

### МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Тензопретворювачі вимірюють напругу в одному напрямі. Електричний опір дроту  $R$ , залежить від його довжини  $L$  і площі поперечного перерізу  $A$ [1]:

Як дріт розтягується його довжина збільшується, площі поперечного перетину зменшується згідно з коефіцієнтом Пуанссона. Збільшення довжини і зменшення площі приводять до збільшення опору дроту і навпаки зменшення довжини і збільшення площі приводять до зменшення опору [1].

Залежність опору дроту залежить від напруженості називається фактором напруженості  $G$  і виражається[1]:

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}. \quad (1)$$

$\Delta R/R$  і  $\Delta L/L$  виражають відношення змін опору і довжини до опору і довжини відповідно. Так як в подальшому  $\Delta L/L$  буде використовуватись в такому ж

вигляді зручніше замінити його величиною  $\epsilon$ , що називається напруженістю. Залежність зміни опору від фактору напруженості можна виразити як [1]:

$$\Delta R = R * G * \epsilon, \quad (2)$$

Електричний ланцюг, що містить тензоперетворювач, так само важливий, як і сам датчик. Завдання електричного кола - пов'язати зміну опору датчика з вимірюваною зміною напруги. Відображається схема мосту Вітстоуна (дивись рис. 1) [2] - це найпопулярніший вибір для досягнення цього. Його також називають четвертинним мостовим ланцюгом, оскільки сам датчик є одним із чотирьох опорів у ланцюзі.

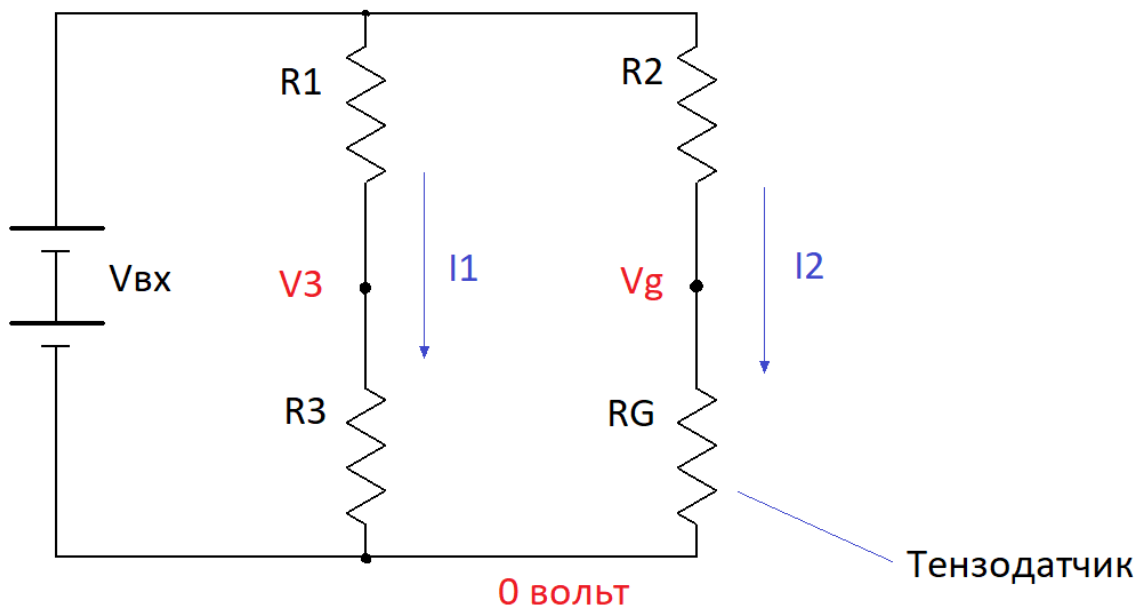


Рисунок 1. Електрична схема моста Вітстоуна

Особливістю цієї схеми (дивись рис. 1), що робить її такою популярною, є її здатність перетворювати невелику зміну в опорі у вимірюваний диференціал напруги. На відміну від цього, хоча варіація  $V_{\text{вих}}$  в ланцюзі мосту Вітстоуна також невелика, вона змінюється в напрямку до нуля, а не до напрямку великого зміщення, як відбувається в стандартному дільнику напруги.

На рис. 1 зображено електричну схему мосту Вітстоуна. В результаті аналізу цієї схеми можна отримати фундаментальну залежність напруги  $V_{\text{вих}}$  від  $V_{\text{вх}}$  [2]:

$$V_{\text{вих}} = V_{\text{вх}} \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_3} - \frac{R_G}{R_2 + R_G} \right]. \quad (3)$$

Як приклад, розглянемо найпростіший сценарій вибору резисторів, таких, що  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$  всі рівні  $R_G$ , о, опір тензорезистора при нульовій деформації. Слід зрозуміти, що  $V_{\text{вих}} = 0$ , тільки коли всі чотири опори рівні. У цьому випадку, як кажуть, міст збалансований.

Але так як опір тензоперетворювача  $R_G$ , змінюється із зміною напруженості то  $V_{\text{вих}} = 0$  тільки при  $\epsilon = 0$  та  $V_{\text{вих}}$  змінює свої значення тільки при зміні значень  $\epsilon$ .

З цього зв'язку можна отримати значення напруженості[2]:

$$\epsilon = \left(\frac{4}{G}\right) \left(\frac{V_{вих}}{V_{вх}}\right). \quad (4)$$

Сценарії, які можуть призвести до ненульових вимірювань напруженості при наявності нульового напруження через відхилення резисторів та самого датчика від їх номінальних опорів, як правило, через зміни температури. Це може відбуватися як від вироблення тепла в електроніці, так і від зміни температури навколишнього середовища. Коли це відбувається, мостовий ланцюг, як кажуть, є незбалансованим. Це поширена проблема. Рішення полягає в тому, щоб замість одного з трьох резисторів ввести резистор із змінним опором і налаштувати його до  $V_{means} = 0$ .

Для цього якщо в рівнянні  $4 V_{вих} = 0$ , то[2]:

$$R_1 R_G = R_2 R_3. \quad (5)$$

Загалом, один з трьох резисторів в мостовій схемі буде регулюватися. Його опір можна налаштувати до тих пір, поки не буде задоволено вищевказане рівняння, тим самим виробляючи нульову напругу, виміряну при нульовій напрузі, принаймні на той момент. Досі можливо, що температура навколишнього середовища може змінюватися під час випробування та давати неточні результати.

Щоб завершити аналіз необхідно пов'язати показники датчика і фізичні параметри процесу зтяжки, зокрема силу зтяжки.

Почнемо із визначення осевого переміщення гайки[4]:

$$h = \delta_d + \delta_b, \quad (6)$$

де  $\delta_d$  і  $\delta_b$  деформації деталей і болта відповідно[4].

$$h = F(\lambda_d + \lambda_b), \quad (7)$$

де  $\lambda_d$  і  $\lambda_b$  піддатливість деталі і болта відповідно. Прирівняємо ліві частини формул 6 і 7 і виведемо формулу деформації деталі[4]:

$$\delta_d + \delta_b = F(\lambda_d + \lambda_b) \quad (8)$$

Згідно довідникових даних  $\lambda_b$ ,  $\lambda_d$  і  $\delta_b$  визначаються як [4]:

$$\lambda_b = \frac{l_b}{E_b S_b}, \quad (9)$$

$$\lambda_d = \sum_1^n \frac{h_{nb}}{E_{nb} S_{nb}}, \quad (10)$$

$$\delta_b = F \lambda_b = F \frac{l_b}{E_b S_b}, \quad (11)$$

де  $E_{nb}$ - модуль пружності n-ї деталі,  $E_b$ - модуль пружності болта,  $l_b$ - довжина болта,  $S_b$ - площа перерізу болта,  $S_{nb}$ - площа перерізу конуса n-ї деталі,  $h_{nb}$  – товщина n-ї деталі.

Знаючи рівняння 9, 10 і 11 можна визначити значення деформації деталі підставивши їх в визначення 8:

$$\delta_d = F(\lambda_d + \lambda_b) - \delta_b = F \left( \left( \sum_1^n \frac{h_{nb}}{E_{nb} S_{nb}} + 1 \right) - 1 \right) \frac{l_b}{E_b S_b} \quad (12)$$

Визначимо залежність напруги на мосту і сили зтяжки болта:

$$V_{\text{вих}} = F\left(\sum_1^n \frac{h_{n\delta}}{E_{n\delta} S_{n\delta}} + 1\right) - 1 \frac{2l_{\delta} V_{\text{вх}} l_0}{E_{\delta} S_{\delta}} \quad (13)$$

Отже ми визначили залежність напруги від сили затяжки болта.

Розглянутий тензодатчик використовується в багатьох системах контролю [6-7], тому даний метод може бути використаний для підвищення надійності систем та їх загальної оптимізації. Також датчик який може бути розроблений на основі цього методу може бути застосований для пристроїв, що працюють з тензоперетворювачами [7], що за рахунок простої автоматизації на основі цього методу може підвищити загальну продуктивність.

## ВИСНОВКИ

Результатом проведеного аналізу є математична модель методу контролю якості і складання приладів тензометричним методом. Дана модель дозволить проводити контроль приладів в реальному часі з високою точністю, що дозволить проводити автоматизацію контролю яка буде служити зворотнім зв'язком між робочою машиною і об'єктом контролю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Серьезнов, А. Н. Методы и средства измерений в прочностном эксперименте / А. Н. Серьезнов, А. К. Шашурин. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 200с.
- [2] Beckwith T. Mechanical Measurements (Third ed.) / T. Beckwith, L. Buck, R. Marangoni. – MA: Addison-Wesley Publishing Co., 1982. – 360 с.
- [3] Герасимов В. Г. Электротехнический справочник. / Владимир Григорович Герасимов. – МОСКВА: ЭНЕРГИЯ, 1980. – 520 с. – (6).
- [4] Ряховский О. А. Расчет деформаций деталей / О. А. Ряховский, В. С. Сыромятников. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 150 с.
- [5] Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian, Andriy V. Pavlovych, Iuliia Iu. Lysenko, Paweł Komada, and Ainur Kozbakova "Quality control system of well-bonded coupling fitting onto high pressure gas-main pipelines", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085A (1 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2501594>
- [6] Тымчик Г.С., Подолян А.А., Пудрий С.В. Экспериментальные исследования эффективности усиления участка трубопровода высокого давления муфтой с внутренним наполнением // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – Вып. 4. – С. 35–39.
- [7] Gregory S Tymchik, Aleksandr A Podolian, Kateryna S Serhiienko, Theoretical investigations of the generation of an ultrasonic wave by an electromagnetic acoustic transducer, KPI Science News, 2018, Vol.3, pp.84-92, <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.3.127129>

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Подолян О.О.*



УДК 621.865.8

*О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н. Барандич К.С.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНВЕЄРНА ЛІНІЯ ВИРОБНИЦТВА ЯК СПОСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ

**Анотація.** В даній статті описано можливість автоматизації виробництва за рахунок використання конвеєрних ліній складання, їх переваги та недоліки. Також представлено рекомендації з їх використання та обслуговування на виробництві.

**Ключові слова:** конвеєрна лінія, автоматизація виробництва, виробнича лінія, складання виробів, робоча станція.

### ВСТУП

Конвеєрна лінія представляє собою стрічку, по якій рухається виріб від свого початкового стану, де він представлений деталлю або складальною одиницею, що є основою складання, до складальної одиниці вищого порядку або повністю зібраного приладу.

Складальна лінія визначається технологію виготовлення. За автоматизованого складання виріб переноситься певною формою механізованого транспортера серед станцій, на яких виконуються операції, необхідні для його складання. Автоматизована лінія складання зазвичай використовується для складання великої кількості однакових виробів. Спочатку складальні лінії були розроблені для скорочення часу на складання виробу на масових виробництвах, а згодом і як елемент для отримання складальних виробів високої якості, які виключають людські помилки [1].

### КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вперше рухому конвеєрну лінію (рис. 1) на своєму заводі з виробництва автомобілів «Ford» встановив Генрі Форд 7 жовтня 1913 році в Детройті.



Рисунок 1. Складальна лінія на заводі Генрі Форда [2]

Виробничий процес складання автомобілів почав виконуватись за новою технологічною схемою. Це дало змогу скоротити тривалість процесу складання автомобіля марки "Model T" вдвічі (з 12,5 до 6 год). Протягом року цей час скоротився до 93 хвилин.



На відміну від інших автомобілів того часу, кожна "Model T", що випускалася на лінійці Ford, використовувала такі ж клапани, бензобаки, шини тощо, як і при складанні автомобілів в ручному режимі, в результаті чого їх можна було швидко збирати та транспортувати. Конвеєрна лінія почала набирати популярність завдяки скороченні часу на складання виробів та зменшення кількості працівників на заводах та фабриках.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Сьогодні складальні лінії можуть варіюватися від дуже простих, майже незмінних від часів Генрі Форда, до складних, коли взаємодії людини з продуктом виробництва дуже мало, а виробничі процеси на лінії обробляються автоматично за рахунок робототехнічних засобів.

Слідуючи запрограмованим командам до автоматизованої виробничої лінії потрапляє сировина, а залишають її вже готові продукти, з незначним втручанням людини або без нього. Швидкий, стабільний і точний виробничий потік сприяє скороченню часу виробництва і собівартості виготовленої продукції.

Використання автоматизованих виробничих ліній звільняє людей від повторюваних завдань, звільняє людину від праці в небезпечних умовах дозволяє виконувати завдання, що перевищують людські можливості за розміром, вагою, швидкістю та витривалістю.

Будь яка конвеєрна лінія (рис. 2) повинна обслуговуватися та перевірятися на коректність роботи, в зв'язку з чим серед персоналу на виробництві є наладчики, які й слідкують за конвеєром та в разі поломок швидко їх усувають, адже процес складання не може продовжуватися, якщо хоча б на одній станції стався збій [3].



Рисунок 2. Приклад автоматизованої лінії складання [3]

### **Переваги автоматизованих конвеєрних ліній:**

Виробництво більше ніж будь-коли, покладається на автоматизацію для збільшення виробничої потужності та підвищення ефективності. Ось деякі

переваги автоматизованої складальної лінії:

- **Спеціалізація праці.**

Конвеєрні лінії складання дозволяють працівникам та машинам/роботам спеціалізуватися на конкретній задачі, що дозволяє підвищити рівень продуктивності та ефективності праці. Замість того, щоб мати команди працівників, що складають один і той же виріб, можна розбити процес складання на етапи та мати робочі станції для кожного кроку.

- **Уніфікованість продукту.**

Розділивши складання виробу на окремі процеси, можна спостерігати більш якісний і точний кінцевий продукт. Якщо одна людина створила цілий продукт з нуля, то цей товар може значно відрізнитися від продукту, який складено на конвеєрній лінії.

- **Швидше та ефективніше виробництво.**

Добре продумана і розроблена складальна лінія може підвищити швидкість складання приладу в декілька разів. Розбивши процес складання виробу на частини, простіше аналізувати на яких операціях можна заощадити час складання. [4].

Недоліком таких конвеєрних ліній є: небезпека для робітників (потрібно дотримуватися правил безпеки при роботі за конвеєрною лінією); частий вихід із ладу двигунів та редукторів.

Для подальшої автоматизації виробництва, впродовж складальної лінії можна встановити додаткові роботи маніпулятори та розрахувати раціональність їх розміщення на складальній лінії. В результаті чого час на складання скоротиться.

## **ВИСНОВОК**

Сучасна лінія складання є одним з ключових компонентів автоматизації масового та багатосерійного виробництва. Використання автоматизованої виробничої лінії усуває не тільки робочу силу, а й покращує якість виробів, скорочує часу на складання одного виробу, та зменшує ціну на ринку, за рахунок великої кількості отриманого продукту.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Hounshell, David A. «From the American System to Mass Production»,: The Development of Manufacturing Technology in the United States. Baltimore: Johns Hopkins University Press. – 1984. – № 45. – P. 23–174.
- [2] Ford, Henry & Crowther, Samuel - «My Life and Work». Garden City, NY: Garden City Publishing.. – 1922. – P. 1 – 325.
- [3] Musson & Robinson. «Science and Technology in the Industrial Revolution». Toronto: University of Toronto Press.. – 2007. – P. 1 – 143.
- [4] OSHA Instruction Publication No. 8-1.3.1987. Guideline for Robotics Safety. Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C.. – 2004. – P. 85 – 152.

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

**УДК 621.914**

*Л.П. Давидюк, магістрант, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ ПРИ ЇЇ ОБРОБЛЕННІ**

**Анотація.** Розглянуто питання формування пружно-деформованого стану деталі в процесі її механічної обробки і керування ним на основі режимів різання. Пропонується використовувати методи математичного моделювання та комп'ютерного моделювання на основі кінцево-елементного аналізу системи FEMAP.

**Ключові слова:** пружно-деформований стан, напруги, режими різання, метод кінцевих елементів, система FEMAP.

### **ВСТУП**

Відомо, що основним способом формоутворення при механічній обробці є процес знімання шару матеріалу заготовки різанням, а цей процес неможливий без докладання значних сил з боку різального інструменту та появи температурних полів, які призводять до виникнення напружень і деформацій в поверхневому шарі деталі. Тому очевидно, що технологічні процеси виготовлення деталей, особливо при обробці різанням, безпосередньо впливають на формування їх пружно-деформованого стану. У свою чергу нерівномірність розподілу залишкових напруг є однією з головних причин деформації високоточних деталей в процесі їх експлуатації. Від того, які будуть напруги при її обробці, залежить поведінка деталі при експлуатації. Тому до процесу механічної обробки пред'являються високі вимоги, для забезпечення яких необхідне вирішення широкого кола практичних завдань [1].

До першої групи таких вимог відносять вдосконалення технологічних процесів з метою підвищення якості деталей, головним чином, шляхом формування необхідних параметрів поверхневого шару і оптимального рівня залишкових напруг, що істотно впливають на довговічність, витривалість та інші характеристики надійності.

Друга група вимог включає підвищення точності і стабільності на всіх етапах виробництва, які можуть бути вирішені застосуванням ефективних методів керування стабільністю технологічних процесів і контролем якості виробів.

### **МЕТА РОБОТИ**

Найбільшу складність має вирішення вимог першої групи, тому що на формування структури поверхневого шару впливає явище технологічної спадковості. Таким чином, формування властивостей поверхневого шару залежить в тій або іншій мірі від операцій лезвійної обробки технологічного процесу, їх режимів, різального інструменту, характеру взаємодії різального інструменту і заготовки тощо. Двома основними факторами, що впливають на утворення залишкових напружень при лезвійній обробці, є величина сил різання і температурні поля в зоні обробки [1].

Тому поставлена задача вибору набору параметрів, що впливають на величину сил різання, виявити ті з них, якими є найбільш доцільно керувати для досягнення необхідних параметрів поверхневого шару деталі, визначення

математичних залежностей, що пов'язують ці параметри з режимами різання, та контролю цих параметрів шляхом комп'ютерного моделювання.

Таким чином, пропонується поєднати методики математичного та комп'ютерного моделювання для вирішення задачі забезпечення необхідних параметрів поверхневого шару деталі при її обробленні шляхом керування процесом різання.

## **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Аналіз наукової літератури показав, що для керування величиною залишкових деформацій необхідно добре знати характер взаємозв'язку технологічно забезпечуваних і контрольованих параметрів поверхні деталі з умовами її обробки.

Встановлено, що найбільш істотними факторами, які впливають на величину залишкових напруг, є режими різання, наявність і вид мастильно-охолоджувальної рідини, а також деякі елементи геометрії різальної частини інструменту – передній кут  $\gamma$ , радіус при вершині  $r$  і радіус заокруглення різальної крайки  $\rho$ .

В роботі пропонується керувати 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 пружно-деформованого стану деталі, є простими для їх зміни технологом, що дозволяє використовувати вже існуючий технологічний процес шляхом його мінімального коригування.

При деяких умовах істотними можуть бути і інші фактори: фізико-механічні і теплофізичні властивості заготовки, умови тепловіддачі (при обробці тонкостінних деталей) тощо [2].

На сьогодні в теорії та практиці технології приладобудування широко використовуються різні методики для визначення раціональних режимів різання, які умовно можна розбити на кілька груп: теоретичні, що характеризуються використанням складних розрахункових співвідношень; теоретико-експериментальні, що які передбачають використання емпіричних формул і довідкових коефіцієнтів; експериментальні, що засновані на результатах експериментальних досліджень. 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 і інші дані, які отримано експериментальним шляхом в конкретних умовах, і вони 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, що викликані силами різання, можуть привести до деформації і навіть до поломки різального інструменту [2].

Таким чином, з урахуванням усього викладеного, запропонована методика визначення залишкових напруг, яка має відповідати наступним вимогам: враховувати особливості геометрії деталі і різального інструменту; враховувати температуру і її вплив на фізико-механічні властивості матеріалу деталі; використовувати адекватну модель пластичності матеріалу; мати можливість визначати всі необхідні технологічні умови обробки; мати можливість отримувати поле розподілу температури в зоні різання і аналізувати пружно-деформований стан заготовки; мати можливість прогнозувати деформації; бути точною; забезпечувати швидкість і зручність розрахунків.

Вказані розрахунки виконуються шляхом математичного моделювання, де за вихідними даними про оброблювальний та інструментальний матеріал визначаються раціональні режими різання, що забезпечують необхідні значення параметрів якості поверхневого шару деталі [3].

Перевірку отриманих на етапі математичного моделювання режимів різання, пропонується здійснювати засобами комп'ютерного моделювання шляхом використання САЕ-системи інженерного аналізу FEMAP, що базується на методі кінцевих елементів [4]. Засобами цієї системи визначаються параметри пружного поверхневого шару деталі під дією силових та температурних деформацій. Перевагою комп'ютерного моделювання стану деталі є те що воно враховує геометричну форму деталі.

В результаті такого моделювання можна отримати картину пружно-деформованого стану як заготовки, так і інструменту (напруги, деформації, інтенсивності напружень і деформацій, контактні навантаження тощо). Причому все це можна виконати ще на етапі технологічної підготовки виробництва до того, як деталі будуть виготовлені [5, 6].

Отримані результати комп'ютерного моделювання порівнюються з відповідними їх значеннями, що задані конструктором з врахуванням особливостей експлуатації деталі. Якщо вказані параметри не задовольняють вказаним вимогам, то здійснюється коригування режимів різання для конкретних технологічних умов оброблення деталі. Після чого виконуються розрахунки вихідних параметрів поверхневого шару деталі з новими режимами різання та подальше комп'ютерне моделювання засобами системи FEMAP.

## **ВИСНОВКИ**

Практична апробація запропонованої методики забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару деталі шляхом корегування режимів різання показала її ефективність та доцільність її використання на стадії технологічної підготовки виробництва.

Для визначення раціональних режимів оброблення деталей, що забезпечують необхідні параметри якості деталі, необхідно на стадії математичного моделювання виконати відповідні оптимізаційні розрахунки.

Перевірку результатів математичного моделювання необхідно виконувати шляхом комп'ютерного моделювання сучасними методами кінцево-елементного аналізу з використанням САЕ –систем.

Система FEMAP, дозволяє проводити аналіз поля розподілу залишкових напруг і прогнозувати величину залишкової деформації деталей з різною геометрією, що виготовлені з різних матеріалів, з урахуванням призначених технологічних умов їх оброблення та керувати нами за рахунок зміни режимів різання.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Давидюк Л.П. Формування пружного стану деталей в процесі їх механічної обробки і керування ним режимами різання. / Л.П. Давидюк, С.П. Вислоух. // Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-практичної інформації з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент».— Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 96-99.
- [2] Безъязычный, В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения [Текст] / В. Ф. Безъязычный. – М.: Машиностроение, 2012. – 320 с.
- [3] Волошко О.В. Технологічне забезпечення параметрів якості поверхневого шару деталі. / О.В. Волошко, Л.П. Давидюк, С.П. Вислоух. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади і системи – 2019», присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М., Черкаси – Херсон – Лазурне, вересень 2019. – С. 6–8.
- [4] Болотеин А.Н. Анализ напряжённо-деформированного состояния деталей после механической обработки средствами компьютерного моделирования [Текст] / А.Н. Болотеин. // Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьёва. – Рыбинск: РГАТУ, 2014. –№1(28). – С. 54 – 61.
- [5] Voloshko O.V. Researching of detla's construction with method final elemental analysis. / O.V. Voloshko, S.P. Vysloukh. // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади», м. Луцьк червень 2019 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2019, випуск 14 – Луцьк:, Луцький НТУ, 2019. – С. 46-51.
- [6] Давидюк Л.П. Комп'ютерне моделювання параметрів пружно-деформованого стану деталі. / Л.П. Давидюк, С.П. Вислоух // Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених» ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2019 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2019. – С. 141-144.

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

**УДК 678.8**

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

## **МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ**

**Анотація.** В роботі розглянуто основні методи виготовлення деталей із композитного матеріалу. Наведено характеристику кожного з методів виготовлення та вказані їх переваги та недоліки, що дає можливість обрати оптимальний метод в залежності від необхідних технічних характеристик майбутнього виробу.

**Ключові слова:** композитні матеріали, ПКМ, препреги, формування ПКМ.

### **ВСТУП**

В даний час є необхідність використання різних типів матеріалів в промисловості, оскільки з кожним днем висуваються нові та більш жорсткі вимоги до сучасних виробів та їх характеристик. Композитні матеріали (КМ) є хорошою альтернативою, тому що ще на етапі розробки виробів є можливість забезпечення необхідних фізико-механічних характеристик майбутньої продукції.

Композитні матеріали виготовляють шляхом скріплення двох або більше компонентів, що з'єднані між собою: один із яких являється фазою (волокнистий матеріал), а інший – наповнювачем.

Таким чином створення композитних матеріалів полягає в об'єднанні схожих або різних компонентів для отримання матеріалу з новими заданими властивостями і характеристиками, відмінними від властивостей і характеристик вхідних компонентів. Більшість властивостей отриманих КМ являються більш високими, ніж властивості вхідних компонентів. З появою такого роду матеріалів виникла можливість селективного вибору властивостей композитів, необхідних для потреб кожної конкретної області застосування.

## **МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Найбільш простим методом виготовлення деталей із композитного матеріалу являється контактне формування у відкритих формах. Даний метод використовується для великогабаритних малонавантажених деталей складної конфігурації: коробчастих кожухів механізмів, баків, корпусів та ін.

Контактне формування виробів у відкритих формах здійснюють в основному двома методами - ручним укладанням і напиленням. В якості основних елементів технологічної оснастки при контактному формуванні використовують форми, моделі і вставки (стрижні). Перед початком укладання форму змазують парафіном або восковим розчином. Після висихання наносять гелькоут – зовнішній смоляний шар, що утворюватиме зовнішню плівку необхідного кольору, яка імітує контур деталі. Далі виконується пошарове нанесення слоїв матеріалу. Деталі, що виготовляють методом ручної укладки складаються з матриці та волокнистого матеріалу. Перед укладкою матеріал нарізають на необхідні клаптики, а зкріплюючу речовину ретельно вимішують та готують до процесу нанесення: ручного - за допомогою валика та щітки, або автоматичного – за допомогою розприскувача, що дає можливість рівномірно

розподілити зв'язуючу речовину на поверхні виробу. Після затвердіння готовий виріб виймається із форми та виконується його механічна обробка та доопрацювання форми та геометричних параметрів.

Метод формування поверхні деталі напиленням відрізняється тим, що на початку волокна матеріалу ріжуться на невеликі частини та змішуються із смолою, а потім напилюються на поверхню оснастки. Технологія виробництва виробів з композиційних матеріалів напиленням має ряд переваг в порівнянні з методом ручної укладки. В цьому випадку не потрібно виконувати розкрій матеріалу і підготовлювати зв'язуючу речовину, що дозволяє економити час та роботу персоналу. Істотно скорочуються виробничі площі через зниження кількості спеціально обладнаних місць для виробництва, збільшується швидкість виробництва виробів, спрощується контроль над якістю виробів, знижується собівартість кінцевого виробу, суттєво зменшується кількість відходів. Однак якість кінцевого виробу, як і в методі ручного укладання, в основному залежить від кваліфікації та досвіду оператора. Крім того, оскільки в методі напилення використовуються короткі і хаотично орієнтовані волокна, а контроль за товщиною шару, що наноситься відсутній, то такий продукт виходить менш щільним і міцним, ніж при ручному формуванні.

До методів формування композитних матеріалів з використанням еластичної діафрагми відносяться: вакуумне формування, формування під тиском і формування в автоклаві. В даних типах виготовлення весь технологічний процес протікає за схемою, аналогічною контактному формуванню, проте після укладання всіх армуючих шарів, поки смола ще не полімеризувалася, на матрицю з оснасткою накладається вакуумний мішок і таким чином герметизується. Із герметичної порожнини, що утворилася між оснасткою і діафрагмою, відкачують повітря, щоб тиск там був нижче, ніж ззовні. Завдяки перепаду тиску з різних сторін діафрагми відбувається притиснення полімерного композиційного матеріалу до форми відповідної конфігурації, що забезпечує конструктивне формування деталі. При такому формуванні отримують вироби, зовнішня і внутрішня поверхні яких повторюють морфологію поверхонь формуючих елементів. Крім того, в процесі викачування композиція ущільнюється в результаті усунення порот і видалення надлишку смоли. Затвердіння деталі здійснюється в притиснутому до форми стані при кімнатній або підвищеній температурі. При затвердінні необхідно уникати утворення бульбашок в композиті, а також ретельно контролювати тиск, температуру і масове співвідношення між волокном і смолою. При такому способі формування виходить щільний, міцний і рівний КМ, який по міцності значно перевищує вироби ручного формування.

Формування полімерних композитних матеріалів із застосуванням діафрагми включає стадію затвердіння сполучної речовини, як правило, при підвищених температурах. В зв'язку з цим важливим є співвідношення температурних коефіцієнтів об'ємного розширення формованого КМ і матеріалу форми. За значенням цього коефіцієнта, з металів найближче до композиту є сталь. Вона володіє і іншими необхідними властивостями:



хорошою зносостійкістю, здатністю працювати при підвищених температурах і високою теплопровідністю.

У разі автоклавного формування препреги або багатошаровий пакет з препрегів на основі армуючих волокон викладають на форму, разом з нею поміщають в вакуумний мішок і знижують в ньому тиск. Метод, при якому затвердіння проводять, створюючи перепад тиску по відношенню до атмосферного, називають формуванням за допомогою вакуумного мішка. Оскільки досить часто надлишковий зовнішній тиск створюють за допомогою автоклава, то цей метод також називають автоклавним формуванням.

Процес автоклавного формування складається з наступних основних етапів:

- 1) на форму накладають необхідну кількість шарів матеріалу;
- 2) при підвищених тиску і температурі в автоклаві виконується затвердіння;
- 3) здійснюють обробку кінцевого виробу.

При формуванні в автоклаві температура затвердіння зазвичай становить 177°C, а тиск 1380 кПа. При формуванні композитів на основі полімідної смоли, з якої виготовляють найбільш теплостійкі конструкції, створюють більш жорсткі умови затвердіння: температуру понад 260°C і тиск більш 3450 кПа.

Можна відзначити наступні характерні особливості методу автоклавного формування:

- 1) можливість отримання виробів рівномірної товщини;
- 2) можливість формування великогабаритних виробів;
- 3) висока якість поверхні виробів;
- 4) при використанні вакуумного мішка отримуємо високоякісні вироби з низькою пористістю.

Недолік цього методу полягає в тому, що він досить фінансово затратний, вимагає великих витрат ручної праці і тому малопридатний для масового виробництва виробів.

Метод формування виробів на матриці - це процес, в якому заповнення і змикання форми змушує матеріал приймати задану конфігурацію, причому затвердіння його відбувається в самій формі. Такий процес передбачає велике число різних підпроцесів: формування матів і попередньо відформованих заготовок; підготовка преміксів для формувальних композицій; листових формувальних матеріалів, а також процеси прямого пресування, литого пресування і лиття під тиском реактопластів, холодного пресування, спільного формування та ін. У всіх випадках формування реактопластів на матриці використовуються форма або штамп. Форма, або комплект формуючих деталей, зазвичай складається з двох основних частин: матриці і пуансона, причому одна з них входить в іншу з дотриманням заданого зазору між ними. Для отримання складних виробів іноді потрібні спеціальні форми, що складаються з декількох основних елементів.

Перевагою цього процес є простота технології, обумовлена використанням волокнистого армуючого матеріалу в сухому вигляді. В результаті однієї операції можна отримувати легкі тришарові вироби (у вигляді сандвіча), що

володіють високою жорсткістю. Крім того метод не вимагає високих тисків; зазвичай тиск становить 1 - 1,7 МПа, що знижує витрати на виготовлення форм. Слід зазначити, що цей метод можна застосовувати для отримання виробів порівняно простої форми.

### **ВИСНОВОК**

Діапазон застосування композиційних матеріалів дуже широкий: від прикрас і декоративних архітектурних панелей до високоякісних несучих конструкцій складної форми. По фізико-механічним характеристикам деталі із композитних матеріалів виявляються конкурентоспроможними, але їх виготовлення все ще є дорогим, а експлуатаційні характеристики необхідно вдосконалювати та досліджувати.

На основі розглянутих методів виготовлення деталей із композитних матеріалів, їх особливостей, переваг та недоліків можна зробити наступні висновки та рекомендації щодо застосування того чи іншого методу в залежності від типу виробництва та забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей майбутніх виробів. Отже метод ручного укладання підійде для ненагружених великогабаритних виробів, що не несуть загального навантаження або для виробів, які виконують декоративно-захисну роль. Метод напилення підійде для малонагружених виробів, адже вони є менш щільними та міцними в порівнянні із виробами, виготовленими методом ручної укладки. Вироби, виготовлені вакуумним методом являються більш міцними і стійкими до зовнішнього навантаження, отже мають змогу використовуватись у силових частинах механізмів. Для виробів, що виготовлені методом автоклавного формування висуваються більш високі вимоги і до форми і до фізико-механічних властивостей, що дозволяє використовувати дані вироби у великонавантажених вузлах машин та механізмів. Основними перевагами для матричного виготовлення деталей є точність та якість виготовлення, але недоліком являється обмеженість виготовлення виробів складної форми та конфігурації.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Буренніков, Ю. А. Нові матеріали та композити : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 161 с.
- [2] Гончаренко В.В. Технологія композиційних матеріалів: Навчальний посібник / Гончаренко В.В., Коваленко І.В. – К.: 2007. - 131 с.: іл. 46, бібліогр.: с.47,131
- [3] Доценко О. К., Рижук Я. О., Стельмах Н. В. Розробка САПР для адитивного виробництва. – 2019.
- [4] Мастенко И. В., Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3D-печатных моделей на их прочностные характеристики. – 2019.

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

**УДК 621.791.03**

*Дроздюк В.А., Фица В.М., Юшков А.Г.*

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби Безпеки України

## **ЕФЕКТИВНА ІНФРАЧЕРВОНА ПАЯЛЬНА СТАНЦІЯ НА БАЗІ ТИПОВИХ МОДУЛІВ**

**Анотація.** Дана робота присвячена розробці конструкції інфрачервоної паяльної станції. У якості основних складових використовуються типові електронні модулі. Розглянуто алгоритм роботи приладу та надана інструкція з використання. Запропонована конструкція відрізняється від існуючих простотою у застосуванні та низькою собівартістю виготовлення.

**Ключові слова :** вибір складових інфрачервоної паяльної станції, інфрачервона паяльна станція.

### **ВСТУП**

Поява нових технологій і, як результат, мінімізація розмірів та ускладнення компонентів створюють постійну потребу в удосконаленні обладнання для вирішення складних завдань у сфері ремонту пристроїв. В роботі кожної майстерні з ремонту радіоелектронних виробів інколи виникає потреба в заміні чи в прогріванні (для діагностування) BGA чипа і якщо ця задача не поставлена на потік то пропонується зробити бюджетний варіант інфрачервоної (далі ІЧ) паяльної станції.

### **АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛУ ТА СПРОЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ПАЯЛЬНОЇ СТАНЦІЇ**

На ринку представлені якісні ІЧ станції від американських (PACE, Metcal) та німецьких (ELSTEIN, ERSA) виробників, але їхня вартість сягає більше десяти тисяч доларів. Інший поширений сегмент – це станції китайського виробництва (ACHI, AOYUE) ціна яких коливається в межах однієї тисячі доларів. За якістю виготовлення вони поступаються дорогим аналогам, але мають майже ті ж самі функції і тому доступні невеликим сервісним центрам.

Для забезпечення максимальної зручності проведення ремонтних робіт виробник включив в свої комплекси деякі функції та блоки від котрих можливо відмовитись, а саме:

- Комбінований нижній розігрів – ІЧ та термоповітряний.
- Лазерний світлодіодний покажчик для точного позиціонування потрібної точки робочої зони.
- Внутрішній електровакуумний пінцет.
- Блок електронного позиціонування чипа.
- Можливість підключення до ПК чи ноутбука через USB інтерфейс, а також можливість управління за допомогою відповідного ПЗ (наприклад для станцій ACHI - «IRSOFT»).
- Можливість збереження декількох груп температурних профілів одночасно.

Видалення цих функцій значно спростить конструкцію ІЧ станції і як наслідок зменшить собівартість.

## ВИБІР ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ПАЯЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Опрацювавши більшість можливих варіантів побудови пристрою [1,2] та розглянувши їх слабкі і сильні сторони було вирішено:

- у якості верхнього та нижнього нагрівача використовувати керамічні ІЧ нагрівачі (Рис.1.а).
- у якості блока управління станцією використовувати пристрій на основі мікроконтролера Atmega 328 (Рис.1.б).
- Усю зібрану інформацію виводити на індикатор 16x2 з інтерфейсом ІІС(Рис.1.в).
- Зчитування температури організувати на основі мікросхеми МАХ6675 - пряме цифрове перетворення сигналу з терморпарі К-типу з компенсацією холодного спая та передачею даних в SPI-інтерфейс з похибкою 0,25°C (Рис.1.г).
- Силові ключі зібрати на МОС3063 і ВТ16-600 або на готових модулях [3] SSR-25DA - верх та SSR-40DA - низ (Рис.1.д).

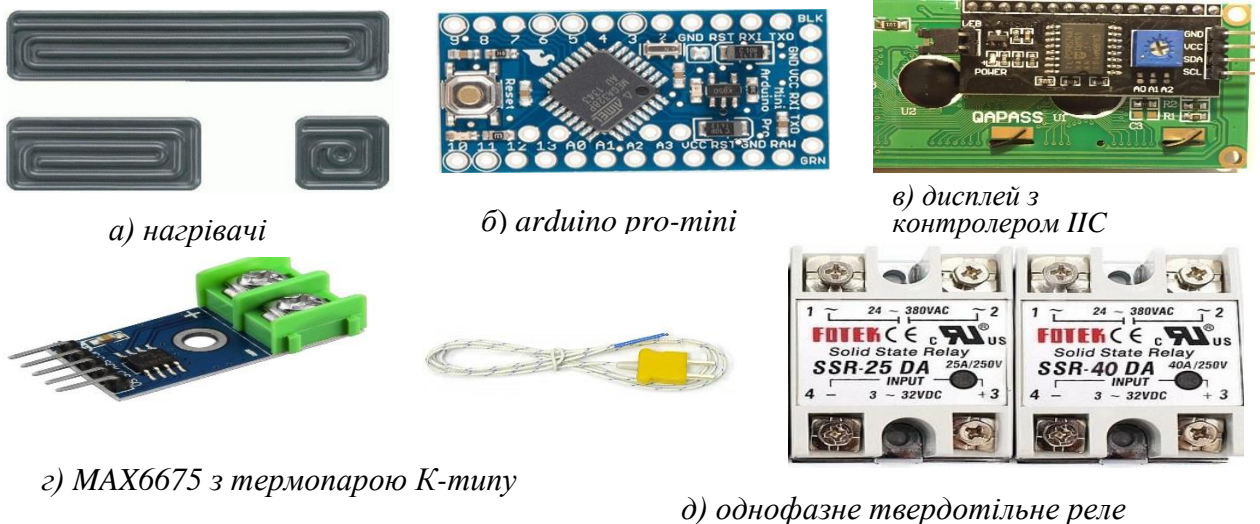


Рисунок 1. Складові вузли ІЧ паяльної станції

## СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ОПИС АЛГОРИТМА РОБОТИ СТАНЦІЇ

Блок управління паяльною станцією (див.рис.2) складається з:

- Двох незалежних каналів зі зворотнім зв'язком.
- Датчиків температури МАХ6675. Межова температура виставляється енкондером з відображенням на дисплеї ( до 600°C) і починає відразу відстежуватися. Порівняння з реальною - Вкл/Викл генератора. Перехід між каналами - натискання енкондера. На дисплеї символ першого рядка регульованого каналу переходить в негатив. Крок виставлення температури 1°C.
- Генераторів включення навантаження - частота 2 Герца, шпаруватість негативного імпульсу регулюється резисторами R1

та R2 (у режимі реального часу) і відображається на дисплеї у відсотках від 0 до 100).

- Дисплея 16x2 з контролером ІС. Заповнення дисплея відображене на структурній схемі.
- Вихід сигналу управління нагрівачами поступає на оптрони силових ключів.
- Нагрівачів, один верхній та три нижніх.
- Блока живлення ( 5 Вольт 1 Ампер).

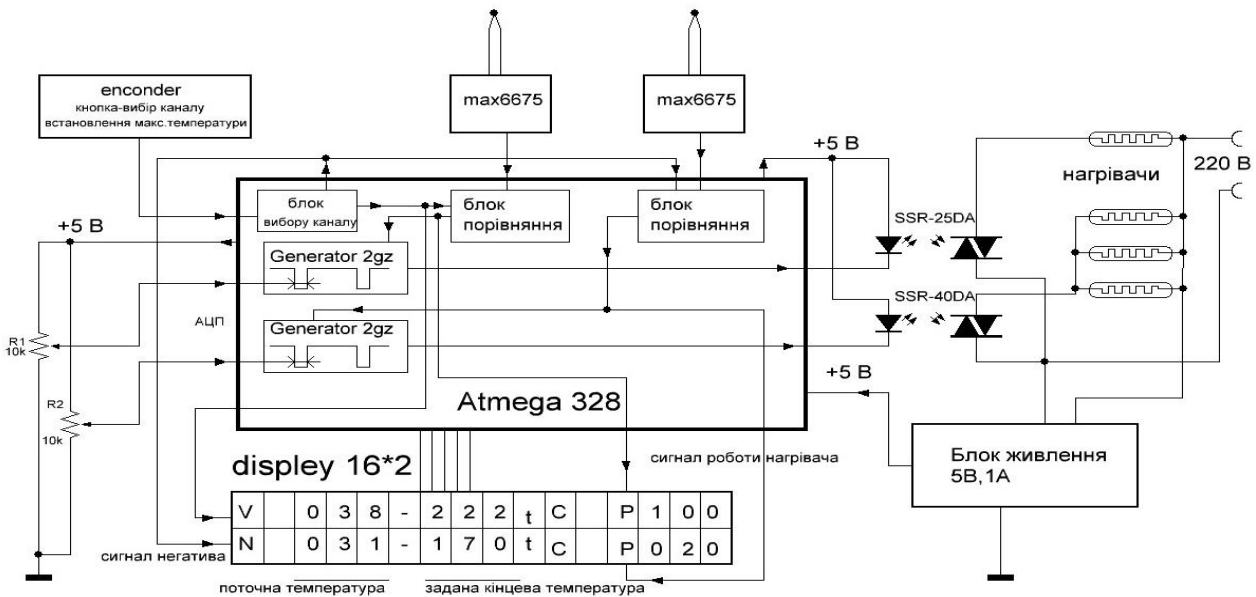


Рисунок 2. Структурна схема ІЧ станції

	Фазове управління потужністю	Управління с комутацією при переході струму через нуль
Вихідний сигнал струму в навантаженні	<p>U<sub>вих</sub> = 10%   U<sub>вих</sub> = 50%   U<sub>вих</sub> = 90%</p>	<p>Вхід  Вихід </p>
Переваги та недоліки	<p><b>Переваги:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* підходять для всіх типів навантаження;</li> <li>* плавність і безперервність вихідного сигналу.</li> </ul> <p><b>Недоліки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*перешкоди при перемиканні.</li> </ul>	<p><b>Переваги:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* немає перешкод, що створюються третьою гармонікою при включенні.</li> </ul> <p><b>Недоліки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* застосовується тільки з резистивним чи ємнісним навантаженням</li> </ul>

Рисунок 3. Варіанти регулювання потужності

З'єднання усіх блоків в електричну схему проводиться відповідно до назначених в програмі номерів виводів мікроконтролера.

В процесі проектування та випробувань було прийняте рішення відмовитися від фазового управління силовими ключами на користь асинхронному, пояснення роботи показано на рисунку 3.

## ВИКОРИСТАННЯ ІЧ ПАЯЛЬНОЇ СТАНЦІЇ.

Ключова задача людини, що працює з станцією інфрачервоного типу, полягає в правильності встановлення параметрів, а саме, швидкості розігріву та кінцевих температур на нижньому та верхньому нагрівачі [1,2,4]. Подальша робота приладу виконується автоматично. Для визначення швидкості розігріву рекомендується провести випробування на схожій платі (треба враховувати

щільність монтажу та тип плати).

Існує два типи рекомендованих термопрофілів: для свинцевих та безсвинцевих припоїв, вони запропоновані на рисунку 4.

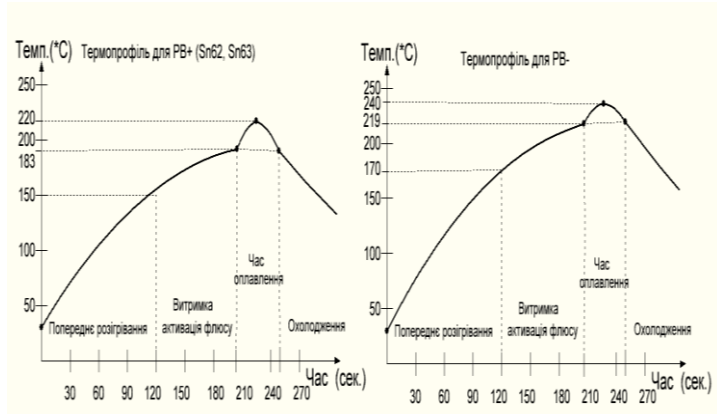


Рисунок 4. Варіанти термопрофілів

В залежності від використовуваного профілю, у нижній строчці індикатора необхідно виставити кінцеву температуру 155°C (профіль PB+) або 170°C (профіль PB-), а в кінці від 30 до 50 (ця величина відповідає за швидкість розігріву плати). У верхній частині виставляється 220°C (профіль PB+) або 250°C (профіль PB-), та 50-70 в останніх [2].

Верхню термопару рекомендовано встановити, як найближче до чипа, а нижню на площину екрана, що не попадає в зону розігріву верхнім нагрівачем. Для зняття більш точних показників температури необхідно нанести флюс на кінцівку термопари.

Після вводу параметрів профілів натискається кнопка «пуск» та відслідковується процес пайки, а у разі необхідності, корегується швидкість розігріву резисторами R1 або R2. На останньому етапі пайки необхідно слідкувати за станом шарів під чипом. Коли вони розплавляються чип можна буде "похитати". Знімання чипа з плати краще проводити за допомогою ручного вакуумного пінцета. Станція вимикається і очікується охолодження плати.

## ВИСНОВКИ

В результаті досліджень була розроблена діюча ІЧ паяльна станція. Вживання МАХ6675 у якості датчика температури підвищує технічні характеристики комплексу. Використання стандартних електронних модулів дозволяє значно зменшити собівартість виробу, що було головною метою мого дослідження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Нинг-Ченг, Ли Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии/ Ли Нинг-Ченг пер. з англ. А.В.Нисан, А.В.Соловьёв./ — М.: Издательский Дом "Технологии"2006, 392с
- [2] Ланин, В. А. Монтаж и демонтаж BGA, CSP, Flip-Chip, QFP при помощи инфракрасного излучения и конвекционного / В. А. Ланин, В. М. Парковский // Журнал Технология в электронной промышленности. — 2011, № 1. — С. 14-17.
- [3] ФОТЕК [Електроний ресурс] : [http://www.fotek.com.ua/webfm\\_send/148](http://www.fotek.com.ua/webfm_send/148)
- [4] АО НПП Радиосвязь Пайка BGA микросхем [Електроний ресурс] : <http://xn--g1afsi.xn--p1ai/bga.html> . [0]



**УДК 681.2:538.5**

*Р.Г. Дятлик, студент гр. ПБ-91мп., к.т.н., доц. Шевченко В.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

**Анотація.** У даній роботі описана економічна ефективність системи діагностики різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва. Система базується на силових параметрах та електричних сигналах. 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, електричні сигнали, ЕРС.

### **ВСТУП**

В сучасному світі технології не стоять на місці, вони постійно модернізуються, стають технічно більш складними та дорогими, але при цьому вони більш ефективні та економічні. Сучасні автоматизовані системи механічної обробки дозволяють виготовляти деталі з меншою кількістю браку та з підвищеною якістю обробки поверхонь, але весь процес всеодно потрібно контролювати та діагностувати для того, щоб уникнути поломок інструменту та відповідно зберегти деталь в процесі виготовлення. Якщо вчасно попередити поломку різального інструменту, то виріб не пошкодиться, а відповідно виробництво не нестиме фінансових втрат, особливо це важливо при роботі з дорогоцінною сировиною. А попередити цю поломку допоможе система діагностики різального інструменту.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

В процесі різання робочі поверхні різального інструменту піддаються впливу різного характеру, а саме хімічного та фізико-механічного, це може викликати деформацію інструменту, що впливає на його робочі характеристики та ефективність. Зношення інструменту погіршує його конструктивні параметри та знижує ефективність обробки, внаслідок чого продукція може бути поганої якості, що негативно відобразиться на результатах фінальної реалізації продукції, та не виправдає вкладених ресурсів і нанесе збитки підприємству. Для уникнення цієї проблеми необхідно використовувати системи діагностики різального інструменту на верстатах з ЧПК, що дозволить попередити поломку інструменту і дасть можливість вчасно замінити різальний інструмент.

### **МЕТА РОБОТИ**

Обґрунтування економічної доцільності існуючих систем діагностики різального інструменту, які працюють на основі контролю параметрів потужності різання та електричних сигналів.

### **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

На даний момент в нашій країні розвиток промисловості є одним із ключових пріоритетів із всіх поставлених задач, саме тому розвиток

приладобудування є однією із складових, що дозволить підвищити ефективність обробки матеріалів різанням, забезпечить високу точність, якість та надійність виготовлення деталей та приладів. Виробництво повинно покращуватись не лише з технологічної, а й з економічної точок зору. Для того щоб досягнути поставленої цілі використовують системи контролю процесу обробки на основі електричних сигналів та силових параметрів.

Початковий стан інструменту характеризує цілий ряд параметрів. В процесі різання зміна цих параметрів в кінцевому результаті відображується на зношенні інструменту. Через це в якості критерію стану приймають будь-який із розмірів де починається зношення. В якості критерію відмови приймають максимальне значення цих розмірів, при якому починається руйнування ріжучої кромки або порушується встановлена технічною документацією вимога до обробки. [1]

Взаємодія інструменту з матеріалом в процесі різання викликає два одночасно протікаючі процеси: руйнування оброблюваного матеріалу та руйнування структури ріжучого інструменту. Результатом обробки являється утворення стружки і поверхневого шару деталі, які характеризуються параметрами стану. Умовами різання визначаються значення параметрів.

Інформацію про фізичні процеси в зоні різання несуть електричні сигнали, що генеруються при різанні. Електричні сигнали не потребують підсилення, перетворювань та забезпечують надійність отримання інформації. Електрорушійна сила, яка виникає в процесі різання, складається із змінної та постійної складової. Змінна складова характеризує коливання енергії на контактних поверхнях і викликає протікання в обробляючій системі змінного струму.

Зміна енергії електрона під дією пластичної деформації називається екзоелектронною емісією, що виникає внаслідок перекручування електронного спектра твердого тіла й наступною перебудовою його електронної структури, пов'язаної з появою дефектів. Пластична деформація, що супроводжує процес різання матеріалів, приведе до утворення і збільшення кількості дефектів кристалічних ґрат. Через це пластична деформація при стимулюванні окислюванням, температурою та фазовими перетвореннями є основним видом енергетичного впливу при різанні матеріалів.[2]

Енергія електрона, що визначає електричні явища при різанні, залежить від концентрації електронів матеріалів інструмента й деталі, температури й ступені пластичної деформації. [3]

Електричні сигнали, що виникають при різанні, безпосередньо пов'язані з адгезійним, дифузійним і окисним видом зношування різального інструменту.

Систему контролю треба розглядати, як сукупність ріжучого інструменту і засобів його діагностики. Алгоритм діагностування і структури системи визначається за допомогою характеру можливих змін в стані інструменту. [3] Тому для забезпечення точності та надійності діагностування необхідно вивчити зміни стану інструменту в умовах його експлуатації, потрібно виявити параметр, котрий може служити критерієм стану та критерієм відмови



інструменту. Система контролю процесу обробки «Рис.1» складається із пристрою 1, вимірювання ЕРС різання, який паралельно підключений через підсилювач 2 електричних сигналів до датчика 3 торкання різального інструменту з оброблюваною деталлю й датчика 4 зношування різального інструменту, сигнал від якого надходить на вхід АЦП 6. Перший вихід датчика 3 торкання й датчика 4 зношування різального інструменту приєднаного до блоку 5 керування приводом подачі металорізального верстата. Інший діагностичний сигнал від датчика вимірювання потужності різання 8, через підсилювач 7, також надходить на вхід АЦП. [2]

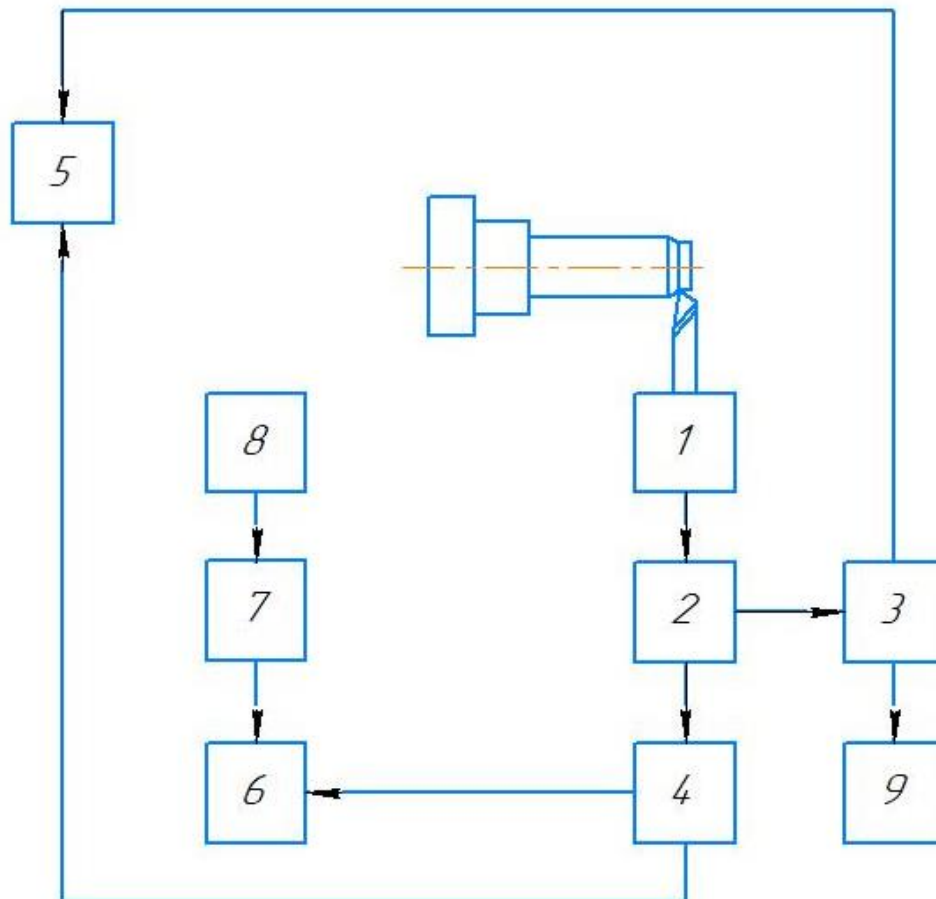


Рисунок 1. Блок-схема системи контролю процесу обробки деталей

Другий вихід датчика торкання 3 підключений до входу блоку 9 «кінець уведення» пристрою ЧПК. Дослідження дали такі результати: інтегральний рівень сигналу ЕРС різання для зношеного інструменту збільшується в 1,89 рази (по задній поверхні зношення дорівнює 0.5 мм), якщо порівнювати з інтегральним рівнем сигналу для незношеного інструменту. Це можна пояснити тим, що фактична площа контакту інструмента з деталлю збільшується зі збільшенням зношування інструменту. Імпульс сигналу виникає в результаті взаємодії інструментального й оброблюваного матеріалів, в результаті якої на поверхні контакту відбуваються процеси обміну електронами. Тому, зі збільшенням зношування інструмента збільшується площа контакту і в

результаті зростає частота виникнення сплеску сигналу, а також його загальний рівень.

Випробування системи контролю процесу обробки деталей на основі ЕРС різання та силових показників показала високу експлуатаційну надійність і точність, що дозволяє ефективно використати їх у пристроях автоматичного керування процесом обробки матеріалів на верстатах з ЧПК.

### **ВИСНОВОК**

Завдяки впровадженню системи діагностики різального інструменту зменшиться відсоток браку, що в свою чергу підвищить кількість виготовлення якісної та готової до реалізації продукції і це підвищить економічні показники виробництва. Собівартість даної системи є невеликою, що дозволяє окупити її в короткі строки, тому інвестиції в неї є цілком і повністю виправданими. Своєчасна заміна різального інструменту також збільшить оперативний час роботи станка, підвищує продуктивність обробки і позитивно відобразиться на точності та якості виробів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Григорьев С.Н. Диагностика автоматизированного производства. Москва: Машиностроение, 2011. – 600с.
- [2] Остафьев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивная система управления. Механизация и автоматизация управления. Киев, 1983, №1, с. 18-20.
- [3] 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 – к.т.н., доц. Шевченко В.В.*

**UDK 681.786: 621.836**

*A.S. Zatulenko, student grp. PB-91mp, O.O. Bakhmut, student grp. LA-91mp,  
O.G. Novakovskyi, aspirant.*

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## **ACCURACY MEASURING OF DIRECT MICROMANIPULATION SYSTEMS WITH A PIEZOELECTRIC ENGINE**

**Abstract.** The work is devoted to the accuracy study of linear piezoelectric actuators for micromanipulation systems. An experimental setup was developed to investigate the positioning accuracy of linear piezoelectric actuators included in micromanipulators. The installation allows to determine the deviation magnitudes of linear precision rails with a linear piezoelectric motor and to estimate their straightness accuracy, taking into account the design features of such rails.

**Keywords:** piezoelectric motor, piezoelectric actuator, actuator, micromanipulator, piezoelectric resonator.

### **INTRODUCTION**

The development of modern microelectronics, semiconductor technologies, and cell technologies is impossible without the special production of high-precision instruments, namely devices that allow manipulation of micro-objects in the micron and sub-micron spaces. Such devices are piezoelectric motor based microprocessor systems that enables the ability to form programmable motion in micro space [1].

The transition to piezoelectric motors opens up new opportunities for micromanagement systems by expanding their functionality, notably through high resolution and an expanded speed range.

In such circumstances, the actual goal is to control and improve the positioning accuracy of linear piezoelectric motor systems.

In this case the positioning accuracy is determined not only by the motor parameters but also by the main actuators of such systems - the linear rail guides.

Micromanipulation systems with a piezoelectric motor are subject to specific tech requirements, for example, the motor should be stepped within a nanometer range, be non-magnetic, or with a certain "moment/weight" ratio, or it should be an excellent positioned [2].

The micromanipulation system must perform the basic functions of having a high degree of positioning, displaying the state of the object under study, and allowing it to be influenced, in particular, to manipulate and to provide transitions in increments of a few micrometers and sometimes nanometers [3].

The purpose of this study is to investigate the accuracy of directional micromanagement systems with piezoelectric motor.

A typical micromanipulation system consists of three main elements: a microscope, a micromanipulator, and a computer with a micromanipulator control unit (Fig. 1).

The micromanipulator, in turn, is a complex of three linear motorized guides that allow the working tool (needle or scalpel) to be moved in three DOF.

Each linear micromanipulation system guide is equipped with a piezoelectric motor [4].

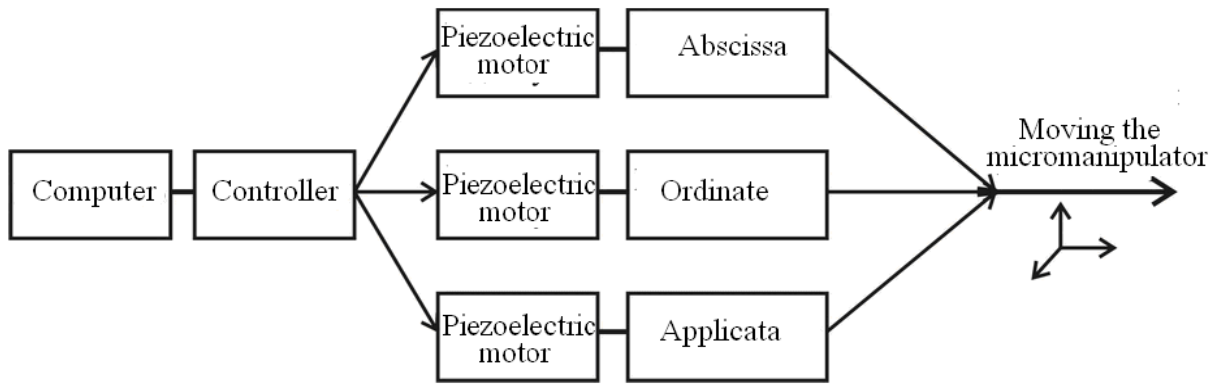


Fig. 1. Structural diagram of micromanipulation system with piezoelectric motors

Such actuators of micromanipulation systems are sensitive to the plane deformations of the piezoelectric resonator contact pad along the entire working stroke of the actuator, therefore, for the correct operation of this type of actuators it is necessary to provide the necessary and sufficient plane of the contact surface for the piezoelectric resonator [5].

### EXPERIMENTAL RESEARCH

To measure the accuracy of linear displacements of piezoelectric actuators, an experimental setup was developed, the general layout and schematic of which are presented in Fig. 2.

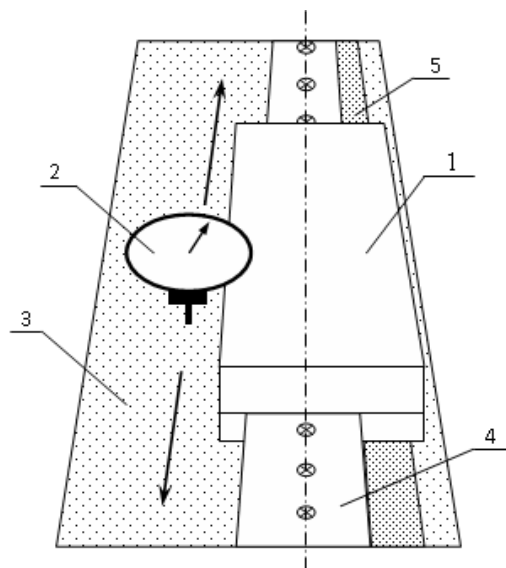
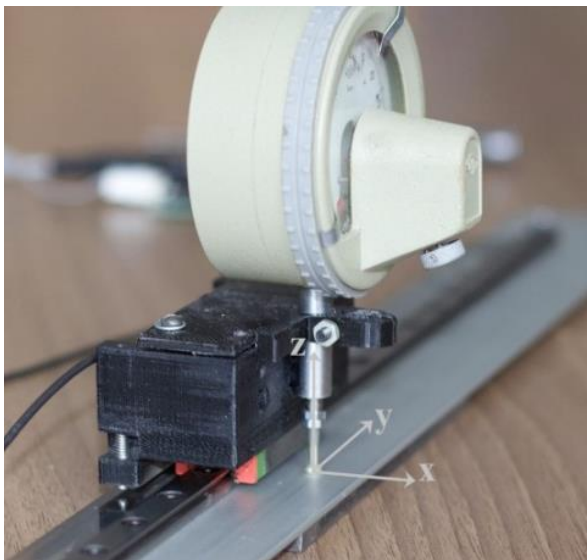


Fig. 2. Experimental setup for the accuracy study of piezoelectric motor directional micromanagement systems (on the left) and its schematic diagram (on the right):  
1 - piezoelectric motor; 2 - dial indicator gauge; 3 - structural guide; 4 - rails;  
5 - contact pads of the resonator

The experimental setup for accuracy measuring of directional micromanipulation systems with a piezoelectric motor consists of a piezoelectric motor of linear actuator (1) to the housing of which the dial indicator gauge (2)

attached, which moves along the plane of the rail (4) - the contact area of the resonator (5) and measures the “flatness” of the linear actuator (3).

Movement of the carriage object along the motion axis is performed by the piezoelectric motor, which is secured to the rail (4) through non-rigid coupling.

Measurements are conducted as follows: from the power supply to the piezoelectric resonator through a pair of drivers, an impulse is given, with fixed parameters, as a result of which the carriage LPM-10, with attached dial indicator gauge, moves along the linear guide to the point specified by experimenter [6].

This measures the flatness of the structural plate surface, which is measured in the maximum proximity to the carriage of the linear motor, as well as at the periphery of the structural plate.

An experimental setup for the accuracy measurement of directional micromanipulation systems has been developed to determine the magnitudes of linear precision rails deviations with a linear piezoelectric motor and to estimate the accuracy/straightness of their course by performing precise continuous measurements in the course of linear rail motion [7].

## **RESULTS OF THE RESEARCH**

The experimental measurements of piezoelectric motor with directional micromanagement systems accuracy are conducted.

As a result of experimental measurements, it was found that the deformation of micromanipulation system rail in the area of the contact plane can be within 25 microns, without loss of efficiency.

## **CONCLUSION**

An experimental setup for investigating the positioning accuracy of linear piezoelectric guide micromanipulation systems has been developed to determine the magnitudes of deviations of linear precision guides with a linear piezoelectric motor and to estimate the accuracy of straightness of their course taking into account the design features of such guides

An experimental setup for measuring the positioning accuracy of linear piezoelectric rails micromanipulation systems has been developed to determine the magnitudes of deviations of linear precision rails with a linear piezoelectric motor and to estimate the accuracy of their course straightness. Taking into account the design features of such rails.

## **REFERENCES**

- [1] Петренко С.Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении / С.Ф. Петренко. — Корнійчук, 2002.— с. 96.
- [2] Антонюк В.С., Белова А.В., Петренко С.Ф. Пьезоэлектрические двигатели в современных технологиях// Оборудование и инструмент для профессионалов.- 2008.— № 4. — С. 74– 77
- [3] Антонюк В.С., Белова А.В., Петренко С.Ф. Підвищення точності позиціонування лінійних направляючих мікрomanipуляційних систем з

- п'єзоелектричним двигуном // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць Харків: НТУ "ХП", 2008. – Вип.2 (17)- С. 12 - 20.
- [4] Антонюк В.С., Белова А.В., Петренко С.Ф. Позиціонування лінійних п'єзоелектричних мікроманіпуляційних систем // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2009. Вып 7 - С. 13 – 25.
- [5] Антонюк В.С., Приходько А.В., Петренко С.Ф. Контроль точності мікропереміщень, що задаються мікроманіпуляторами з п'єзоелектричним двигуном // Техніка і технології АПК.- №12 (39).- грудень 2012. С. 41– 44.
- [6] Новаковский А.Г. Применения пьезоэлектрических актуаторов в микроманипуляторах / А.Г. Новаковский, В.С. Антонюк, С.Ф. Петренко // Вісник Черкаського державного технологічного університету: Серія технічних наук – Черкаси.: ЧДТУ., 2017. – Вип.№4 – С.5-10
- [7] Petrenko, S.F., Omelyan, A.V.a, Antonyuk, V.S., Novakovskyi, O.G.Comparison of piezoelectric and DC motor control principles Journal of Nano- and Electronic Physics Volume 10, Issue 5, 2018, 05032 □DOI: 10.21272/jnep.10(5).05032

*Наук. керівник – д.т.н. Антонюк В.С.*

**УДК 621.9.04:515.12**

*Д.Є. Іванов, студент гр. ПБ-81мп, к.т.н. Барандич К.С.,  
к.т.н., доц. Гладський М.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **МОДЕЛЮВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ**

*Анотація.* В даній статті розглянуто методику моделювання удосконаленої конструкції виробу з використанням алгоритмів генеративного дизайну. Початковим етапом було створення 3D моделі початкової деталі згідно креслення, моделювання та аналіз її напружено-деформованого стану під дією експлуатаційних навантажень. Наступним було здійснення комп'ютерного моделювання удосконаленої конструкції деталі за допомогою генеративних технологій, моделювання та аналіз її напружено-деформованого стану під дією експлуатаційних навантажень, доопрацювання конструкції для впровадження виробу в виробництво традиційними методами механічного оброблення.

**Ключові слова:** генеративний дизайн, топологія, адитивні технології, 3D друк.

### **ВСТУП**

Генеративні технології, які складають важливий розділ інтегрованих технологій, в останнє десятиліття отримали значний розвиток і охопили такі галузі промислового виробництва, як авіація, автомобілебудування, приладобудування, медицина, археологія тощо [1].

Генеративний дизайн – це процес конструювання структури деталі та її параметрів при заданому критерії оптимальності (зазвичай, в якості критерію оптимальності вибирають мінімальну масу) зі збереженням або поліпшенням функціональних можливостей.

На відміну від традиційних технологій проектування, генеративний дизайн дозволяє змінити стандартну геометрію на геометрію, яка спеціально адаптована під певну технологію виготовлення. І це може бути, як традиційна технологія (наприклад, лиття), так і адитивний процес [2].

### **МЕТА РОБОТИ**

Використання технологій генеративного дизайну для вдосконалення конструкції деталей приладів із забезпеченням їх експлуатаційних характеристик.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Програмне забезпечення для генеративного дизайну або топологічної оптимізації перебудовує початкову геометричну модель об'єкта. При цьому завантажується геометрична модель виробу, яка раніше створена іншим методом. Завантажуючи модель в програмне забезпечення для генеративного дизайну, ми маємо змогу відзначити місця, які не будуть підлягати змінам, наприклад, це можуть бути місця для кріплення, посадочні поверхні, тощо. Все інше, що не потрапило в ці зони, але також належать деталі, називається «design space», тобто це ті зони деталі, де програма генерує нову геометрію [3].

Відповідно до службового призначення виробу та умов експлуатації прикладаються навантаження, які деталь повинна витримувати, тобто створюється силова схема навантажень. І далі, на основі заданих параметрів, програма створює нову оптимізовану геометрію, де критерієм оптимізації є

мінімальна маса деталі. Тобто між незмінними місцями для кріплення вона вибудовує нову геометричну модель. При цьому процес побудови може бути досить тривалим у часі і вимагає великих обчислювальних ресурсів.

Далі для верифікації отриманої моделі виконується аналіз напруження в матеріалі деталі, з метою визначення допустимості отриманої геометрії. При цьому використовується метод скінченних елементів. Для кожного елемента виробу програма генерує та вирішує інтегральні рівняння, враховуючи при цьому взаємозв'язок між ними. Якщо згідно розрахунків в матеріалі деталі виникають напруження більші границі пропорційності для даного матеріалу, то така нова геометрична модель деталі є допустимою.

У випадку негативного висновку виконується перебудова геометрії деталі та знову виконується перевірка на допустимість отриманої геометрії методом скінченних елементів. Такі ітерації повторюються до тих пір, поки не буде знайдено геометричну модель деталі, яка буде витримувати експлуатаційні навантаження без пластичного деформування.

Генеративний дизайн, як правило, має аморфні форми, в яких немає плоских, прямих ліній, а можуть бути сплайни другого порядку. При дотриманні тих же самих експлуатаційних властивостей, як і для початкової деталі таке моделювання дозволяє зменшити масу виробу, що є дуже важливим при проектуванні та виготовленні багатьох механізмів та машин. Зниження маси виробу при збереженні функціоналу виробу – це завдання номер один в приладобудуванні, авіабудуванні, авіакосмічній галузі та автомобілебудуванні тощо.

Для топологічної оптимізації обирають деталі в механізмах приладів та машин, які припускають та потребують зменшення маси при збереженні їх експлуатаційних властивостей.

Як приклад розглянуто деталь «Коромисло», яка виготовлена зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 та має масу 102 г, є відповідальною деталлю при роботі поворотного механізму (рис. 1). Зрозумілим є те, що дане конструктивне рішення орієнтоване для виготовлення деталі «Коромисло» традиційними методами виробництва на універсальному обладнанні.

Відповідно до конструкторських даних, в процесі експлуатації поворотного механізму передбачається силове навантаження на зони бокових отворів деталі «Коромисло» в межах до 500 Н.

На першому етапі виконували аналіз напружено-деформованого стану деталі з початковою геометрією та визначали можливість експлуатації деталі без руйнування чи пластичних деформацій.

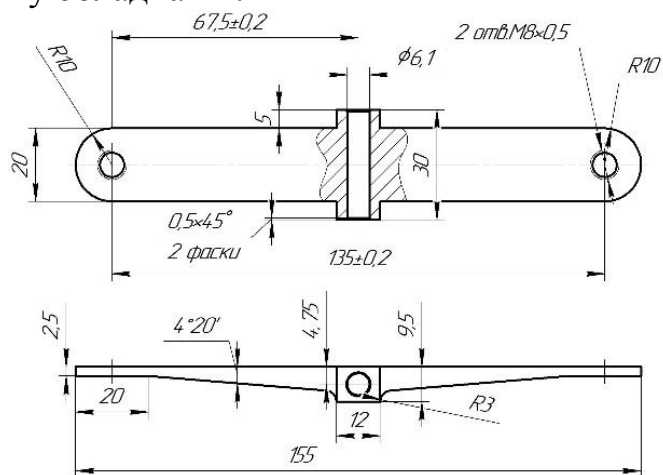
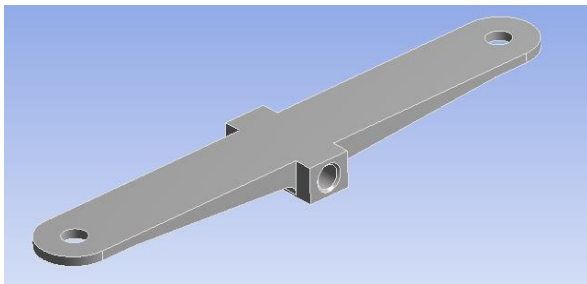


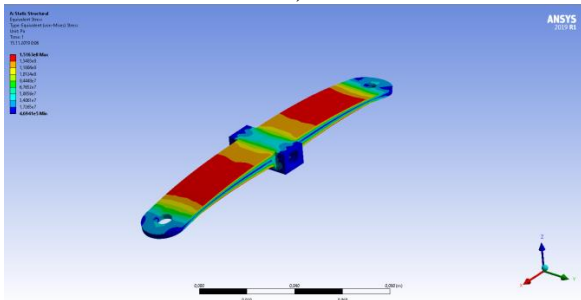
Рисунок 1. Ескіз деталі «Коромисло»



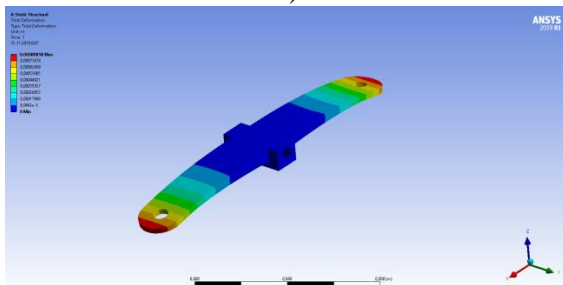
Тривимірну модель деталі (рис. 2, а) створювали в програмному середовищі Solid Edge ST 10, яку в подальшому імпортували в ANSYS Workbench. Використання програмного забезпечення ANSYS обумовлено необхідністю аналізу напружено-деформованого стану деталі в процесі її експлуатації. Програма дозволяє моделювати закріплення та прикладені сили на деталь, що в свою чергу дає можливість визначити розподіл напружень та деформації в матеріалі деталі. Результати представлено на рис. 2, б та рис. 2, в, з яких видно, що напруження знаходяться в діапазоні від 469,41 кПа до 151,63 МПа, а деформація – від 0 мм до 0,80858 мм.



а)



б)



в)

Рисунок 2. Результат комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану деталі: а) тривимірна модель деталі «Коромисло»; б) результат визначення напружень; в) результат визначення деформацій

В лівій частині графічного інтерфейсу програми (рис. 2, б) представлено кольорову діаграму, що відображає значення еквівалентних напружень за гіпотезою Мізеса для об'ємних KE.

Відповідно до експериментальних досліджень механічних властивостей сталі 40X [4, 5], отримано середні значення:

$\sigma_B=780$  МПа – границя міцності;

$\sigma_{\text{пц}}=414$  МПа – границя пропорційності.

Результати моделювання напружень в матеріалі деталі під дією експлуатаційних навантажень (рис. 2, б) показують, що максимальними є напруження в 152 МПа, що нижче границі пропорційності (414 МПа) для даного матеріалу. Це означає, що деталь не буде деформуватися пластино, тобто деформування буде лише пружним і, після зняття прикладених сил, деталь повернеться до початкового стану.1

Далі переходили до етапу комп'ютерного моделювання удосконаленої конструкції виробу за допомогою генеративних технологій, яку виконували в середовищі Solid Edge ST10, де критерієм оптимізації деталі була її мінімальна вага.

Таким чином, отримано модель деталі (рис. 3, а), яка має масу 50 г, що на 50 % менше від маси початкової деталі. Далі повторили етап аналізу напружень і деформації, як і для початкової деталі у програмному середовищі ANSYS, результати представлені на рис. 3, б та рис. 3, в.

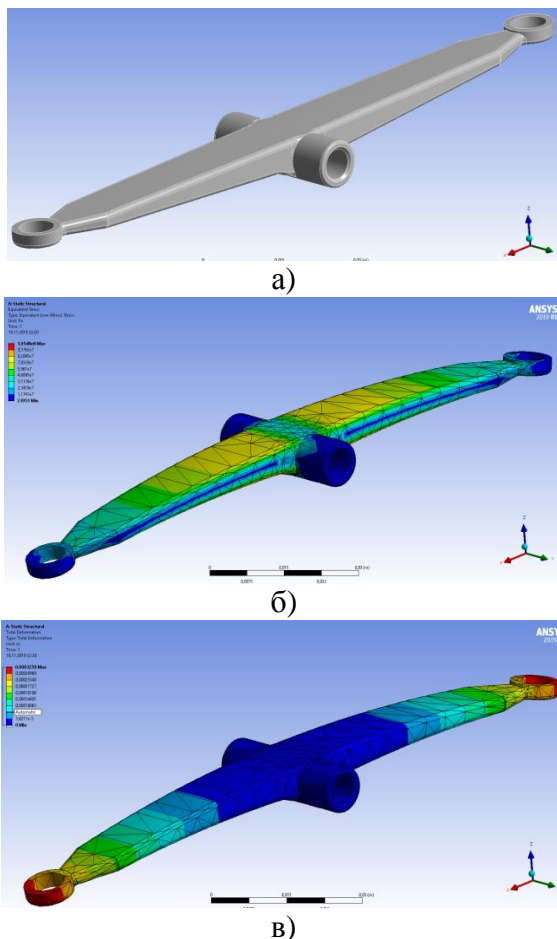


Рисунок 3. Результат генеративного дизайну: а) тривимірний модель; б) результат визначення напружень; в) результат визначення деформацій

При цьому значення напруження знаходяться в діапазоні від 23,951 кПа до 105,48 МПа, а деформації – від 0 до 0,3258 мм.

Дані результати є позитивними, оскільки максимальні напруження в матеріалі деталі за нової геометрії складають 105,48 МПа, що нижче значень границі пропорційності (414 МПа) та границі міцності (780 МПа) для даного матеріалу. Крім того, максимальні напруження та деформації, які утворюються в матеріалі деталі за нової геометрії є меншими від значень цих характеристик для початкової деталі.

## ВИСНОВКИ

Використання алгоритмів генеративного дизайну та програмного забезпечення Solid Edge ST 10 при моделюванні конструкції виробу дозволило зменшити масу деталі на 50 % та зберегти її експлуатаційні властивості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Интегрированные генеративные технологии /А.И. Грабченко, Ю.Н. Внуков, В.Л. Доброскок [и др.] : под ред. А.И. Грабченко. – Харьков : НТУУ «ХПИ». 2011. – 396 с.
- [2] Метелик Т.С. Генеративный метод проектирования и способы его реализации в графическом дизайне // Бизнес и дизайн ревю : журнал. — 2017. — Т. 1, № 2(6). — С. 11.
- [3] Топологическая оптимизация геометрии изделия как путь повышения прибыльности предприятия [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://blog.iqb.ru/geometry-topology-optimization>
- [4] Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 – технологія машинобудування / Барандич Катерина Сергіївна. – Київ, 2018. – 204 с.
- [5] Barandyuk K. S., Vysloukh S. P., Antonyuk V. S. Ensuring Fatigue Life of Parts During Finish Turning with Cubic Boron Nitride Tools //Journal of Superhard Materials. – 2018. – Т. 40. – №. 3. – С. 206-215. [0]

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

## УДК 658.6

*В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В. В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АДАПТИВНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

**Анотація.** Адаптивні системи управління є областю сучасної теорії управління, що відображає об'єктивну тенденцію сучасної автоматизації до вирішення все більш складних і універсальних завдань управління промисловими об'єктами. У статті дано пояснення поняттю процесу адаптації. Описано системи, в яких використовується принцип адаптації. Створено блок-схему адаптивної систем з усіма її основними елементами. Описано функції елементів контура адаптації.

**Ключові слова:** адаптація, адаптивні системи, контур адаптації.

### **ВСТУП**

Існує велика кількість об'єктів, для яких необхідно або доцільно застосовувати принципи адаптації. Кількість таких об'єктів зростає з розвитком техніки.

Причини застосування принципів адаптації можна об'єднати в дві групи:

1) Мінливість і складність характеристик об'єктів і зовнішнього середовища. Прийнято виділяти дестабілізуючі фактори зовнішнього середовища: кліматичні; механічні; навантажувальні; зміни в системі харчування; інші.

2) Зростання вимог до точносних і техніко-економічних характеристик систем.

Введення елементів адаптації ускладнює систему, а значить і знижує її надійність, отже, застосування принципів адаптації вимагає аналізу ефективності. Адаптація - це процес зміни параметрів, структури систем або керуючих впливів на основі інформації, одержуваної під час керування, з метою досягнення певної (оптимальної) якості управління при початковій невизначеності і / або до умов роботи, що змінюються [1-3].

### **АДАПТИВНІ СИСТЕМИ**

Адаптивні системи - системи, в який реалізований принцип адаптації. Відмінність адаптивних систем від оптимальних полягає в тому, що в той час, як в оптимальних системах показник якості забезпечується при певних параметрах об'єкта, в адаптивних системах - при різних параметрах за рахунок дії додаткових елементів адаптації. Вибір того чи іншого підходу визначається: попередньою інформацією про об'єкт (процес); прийнятим критерієм якості [4,5].

На рис. 1 показаний один з варіантів загальної блок-схеми адаптивної системи. Для кожної конкретної адаптивної системи набір елементів і спосіб їх з'єднання можуть змінюватися, але найбільш характерні тенденції в організації адаптації можна побачити на цій схемі. Адаптивна система, як правило, крім основного контуру містить контур адаптації [6].

Основний контур включає в себе об'єкт управління (ОУ), керуючий пристрій, що охоплений головним від'ємним зворотнім зв'язком. Керуючий пристрій цього контуру, який формує закон управління, має забезпечувати оптимальний процес у відповідності до обраного критерію якості для деякої

розрахункової математичної моделі об'єкта і найбільш ймовірних умов його експлуатації. Головною особливістю керуючого пристрою є можливість корекції, як структури процесу управління, так і його параметрів в процесі адаптації системи до умов, що постійно змінюються.

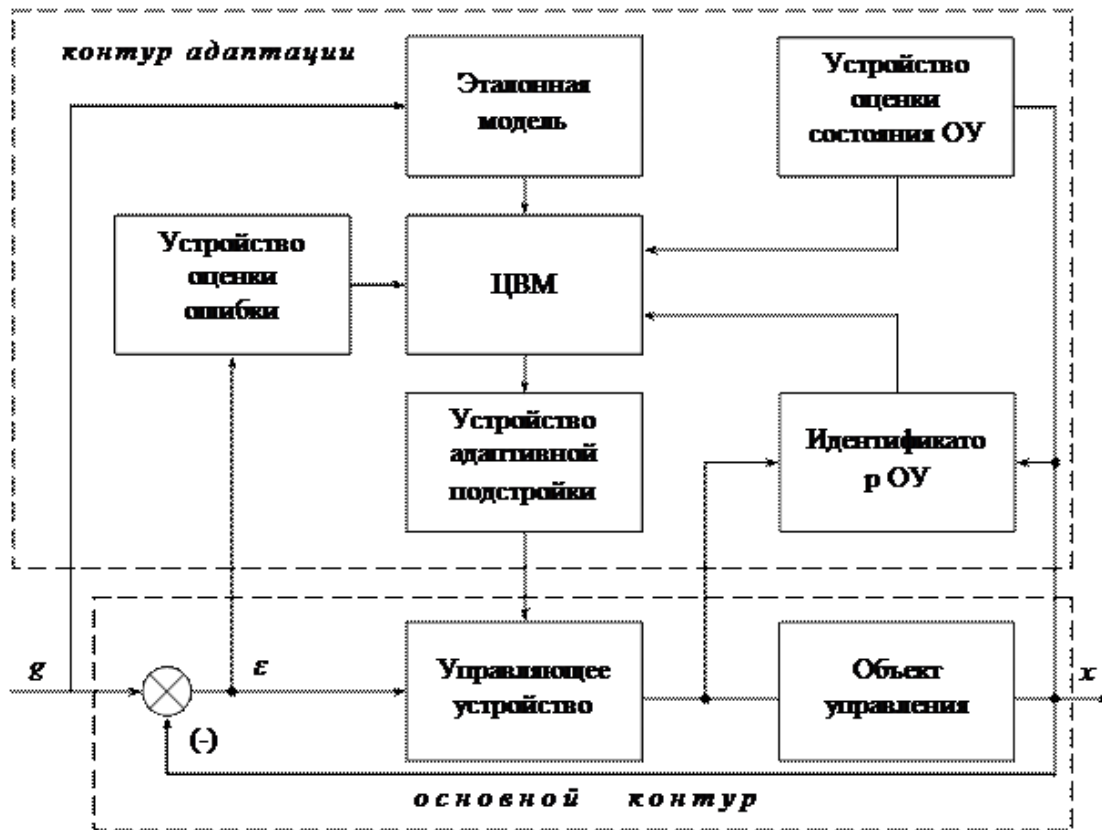


Рисунок 1. Блок-схема адаптивної системи.

Елементи контура адаптації виконують такі функції:

- ідентифікатор ОУ призначений для контролю математичної моделі об'єкта управління і її корекції відповідно до варіантів реальних характеристик;
- пристрій оцінки стану ОУ служить для вимірювання та визначення вихідної координати об'єкта управління і її похідних, необхідних для реалізації оптимального алгоритму управління;
- пристрій помилки здійснює вимірювання і визначення сигналу помилки системи і його похідних, необхідних для реалізації оптимального алгоритму управління;
- еталонна модель задає необхідні оптимальні динамічні характеристики для об'єкта управління;
- цифрова обчислювальна машина (ЦОМ) на підставі повідомлень від усіх джерел інформації формує алгоритм оптимального управління;

Функції ЦОМ і пристрої адаптивного підналаштування можуть бути реалізовані безпосередньо в пристрої[7].

При адаптивному управлінні алгоритм вироблення управлінських впливів автоматично змінюється в процесі функціонування системи управління. Загальний алгоритм такого управління має дворівневу систему: регулювання та адаптації і називається алгоритмом адаптивного управління. Застосування адаптивної системи управління сприяє наближенню економічної системи до

самоорганізації, оскільки посилення тиску з боку зовнішнього середовища викликає необхідність зростання самоорганізації цієї системи. Результатом адаптивного управління є підвищення конкурентоспроможності підприємства.

## **ВИСНОВОК**

Сучасний рівень розвитку автоматизації характеризується неухильною інтенсифікацією технологічних процесів (ТП), збільшенням потужності одиничних агрегатів, підвищенням вимог до якості процесів управління, збільшенням частки нестационарних і нелінійних об'єктів керування. Типовим стає випадок, коли відсутній точний математичний опис технологічного об'єкта або відбувається зміна його параметрів невідомим чином в широких межах[6].

Системи безпосереднього управління процесами, які реалізуються в АСУ ТП з фіксованими параметрами налаштувань, вже не можуть забезпечити в багатьох випадках якісного, а іноді і просто сталого управління. У подібних умовах більші можливості має адаптивний підхід до побудови систем управління. Адаптивні системи управління є областю сучасної теорії управління, що відображає об'єктивну тенденцію сучасної автоматизації до вирішення все більш складних і універсальних завдань управління промисловими об'єктами.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Александровский Н.М., Егоров С.В., Кузин Р.Е.// Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. М.: Наука, 1973.
- [2] Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. //Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высшая школа, 2003. - 614 с
- [3] В.А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В.В. Шевченко // Адаптивная система управления, - Механизация и автоматизация управления. – Киев, 18-20 с.
- [4] Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путов В.В.// Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1984.
- [5] Фомин В. Н., Фрадков А. Л., Якубович В. Н. Адаптивное управление динамическими объектами. — М.: Наука, 1981. — 448 с.
- [6] Принципы построения и классификация адаптивных систем [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://helpiks.org/8-37671.html>.
- [7] И. Б. Ядыкин, В. М. Шумский, Ф. А. Овсепян. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. — М: Энергоатомиздат, 1984. — 240 с

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

## УДК 658.6

*В.М. Ковеня, студентка гр. ПБ-51, к.т.н., доц. Шевченко В. В., ас. Заєць С.С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

**Анотація.** Одна з головних причин зниження точності обробки на металорізальних верстатах зміна розмірів різального інструмента внаслідок його зносу. Найчастіше трудомісткість обробки заготовки порівняна з ресурсом інструменту. Переривання процесу механічної обробки через знос інструменту часто призводить до браку дорогої деталі. У даній статті описано використання методів контролю величини зносу інструменту.

**Ключові слова:** віброакустична діагностика, стійкість, знос інструменту.

### ВСТУП

Розмірна стійкість як параметр при різанні матеріалів може варіюватися у достатньо широких межах, тому що на цей параметр впливають: неоднорідність структури інструментального матеріалу та матеріалу, що оброблюється; зміна теплофізичних і фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу та матеріалу, що оброблюється, однієї марки, як всередині партії, так і між партіями одного заводу-виробника або різних заводів; неоднорідність пластичної деформації матеріалу, що оброблюється; нестійкий характер стружкоутворення (формування різних типів стружок, утворення наросту, циклічність стружкоутворення); зміна сил в часі при різанні матеріалів; знос інструменту, що зростає з часом; коливання технологічної системи.

В процесі різання матеріалів не усі причини можна суттєво змінювати, так не можна змінювати неоднорідність і пластичну деформацію оброблюваного матеріалу, але можна змінювати знос інструменту, сили різання, вібрації за допомогою варіювання режимів різання. Також можна проводити швидкий контроль теплофізичних і фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу та матеріалу, що оброблюється, безпосередньо перед процесом різання або ж в процесі різання і вносити корекцію на режим різання.

### КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Віброакустична діагностика оцінює стан об'єкта за характером акустичного випромінювання звуку, шуму або вібрацій [1,2]. Це ґрунтується на кореляції між структурними параметрами  $r_i$ , що характеризують стан збірки і міцність об'єкта діагностування, і їх діагностичними ознаками  $u_j$ , які реєструються в процесі діагностування технічного стану об'єкта. Для інструменту структурним параметром є величина зносу по його задній поверхні -  $h_3$ . Величина зносу різця  $h_3$  і його стійкість  $T$  пов'язані наступним співвідношенням [3]:

$$T = \frac{h_3}{\gamma} \quad (1)$$

де  $\gamma$  - швидкість зносу (одиниці вимірювання: мм / хв, мм / мм).

Управління тривалістю експлуатації інструменту можна здійснювати тільки за рахунок зміни швидкості зносу  $\gamma$ , тому що сама величина зносу  $h_3$  регулюванню не підлягає. Тому алгоритм управління різанням ґрунтується на зменшенні швидкості зносу інструменту  $\gamma$  до величини, що забезпечує реалізацію на практиці його необхідної стійкості  $T_{TR}$ .



При цьому під необхідною стійкістю розуміється стійкість інструменту, що забезпечує виконання заданої технологічної операції. Ключовою проблемою при управлінні різанням є визначення прогнозованої величини стійкості  $T_{пр}$  інструменту. Ці два параметри пов'язані між собою наступним співвідношенням

$$\frac{T_{пр}}{T_{ф}} = \frac{\gamma_{ф}}{\gamma_{пр}} \quad (2)$$

де  $\gamma_{ф}$ ,  $\gamma_{пр}$  - відповідно, фактична швидкість зносу, що забезпечує фактичну стійкість інструменту, і необхідна швидкість, яка забезпечить необхідну тривалість різання.

Швидкість зносу  $\gamma$  пропорційна добутку сили притиснення і швидкості їх відносного ковзання  $V_{ск}$  [4]:

$$\gamma \approx P_{пр} \cdot V_{ск} \quad (3)$$

Зростаюча величина зносу різального інструменту в часі і стійкість пропорційно залежать один від одного, причому, стійкість інструмента тим вище, чим довше в часі інструмент досягає своєї критичної величини зносу.

Для великої кількості різальних інструментів втрата працездатності або ж відмова складає через різноманітні поломки 21%, через зношування 47%, через сколювання 10%, через викришування 22% [5, 6]. Витрати часу на виявлення та усунення втрати працездатності різального інструменту складають приблизно 10% загального часу роботи обладнання. Інструмент може бути замінений у випадку раптової відмови, поступової відмови або вичерпання своєї стійкості, при цьому в якості параметра, що контролюється, розглядається в основному знос інструменту [5, 6].

Контролювання величини зносу різального інструменту можна здійснювати різними методами і засобами в процесі різання матеріалів: за допомогою вимірювання сил різання, моменту на шпинделі, струму або потужності двигуна головного приводу [3, 6], шляхом пробного різання, вібродіагностики з використанням акселерометрів [3, 5], методом акустичної емісії [4], шляхом визначення температури різання за допомогою ЕРС і пірометрів, вимірюванням температури стружки, спектральним аналізом сили різання [6], з використанням механічних, оптично х, індуктивних і ін. датчиків [3].

Широке застосування для контролювання стану різального інструменту знайшли датчики дотику, що дозволяють вимірювати контрольовані розміри після закінчення процесу різання з високою точністю. Датчики дотику розміщуються безпосередньо на верстаті і верстат працює в режимі координатно-вимірювальної машини, в період вимірювального циклу.

Застосовуються і безконтактні способи контролювання стану різального інструменту після закінчення процесу різання, що базуються на використанні оптоелектронних та пневматичних датчиків замість механічних щупів. Використовуються датчики, за допомогою яких за ступенем шорсткості обробленої можна судити про знос різальної кромки інструменту при точінні [3].

Великий інтерес представляють методи оцінки величини зносу інструменту, засновані на аналізі вібрацій, що виникають в процесі різання, оскільки зношування різального інструменту є процесом середньої швидкості і в міру його розвитку, як в зоні різання, так і в динамічній системі верстата відбуваються складні процеси [7]. При цьому слід зазначити два методи: акустичний і віброакустичний. Основною перевагою застосування даних методів є простота розташування датчиків в верстат практично без зміни його конструкції, інформативність сигналів, відпрацьованість основних елементів апаратури обробки сигналів.

З багатоманіття процесів, що впливають на віброакустичний сигнал, можна виокремити один або кілька основних, які визначають характер зміни його параметрів з ростом зносу інструменту для конкретного виду обробки. Так, наприклад, з ростом зносу різального інструменту при точінні змінюються динамічна характеристика процесу різання і інтенсивність взаємодії мікронерівностей на контактуючих поверхнях різального інструменту і заготовки. Ці два процеси і визначають зміна параметрів віброакустичного сигналу при токарного оброблення. При використанні даного методу віброакустичний сигнал аналізується в діапазоні частот від 2 до 45 кГц [8].

Виконання в СГТУ дослідження з контролю над станом інструменту низкою відомих методів (силовий, ЕРС різання, віброакустичний, акустична емісія) показали, що для виробничих умов найбільш придатними методами по простоті реалізації можуть бути акустичні методи [1]. Однак вони мають ряд недоліків, тому широке застосування отримали методи обробки сигналів з вібродатчиків з метою виділення інформації про величину зносу інструменту в вузькосмуговій фільтрації спектру випадкового процесу, утвореного при різанні матеріалів [6].

## **ВИСНОВОК**

Використання методів контролю величини зносу інструменту за допомогою вібродатчиків в процесі різання матеріалів має ряд переваг в порівнянні з методами контролю за допомогою датчиків торкання після закінчення процесу різання [8]. Переваги цих методів: швидкість контролю, зменшення повного циклу обробки деталей, облік випадкових факторів. Але контроль величини зносу і інструменту за допомогою датчиків торкання після закінчення процесу різання торкання має досить високу надійність, при цьому апаратура контролю може бути розміщена таким чином, що на неї не будуть мати шкідливий вплив різні фактори, властиві процесу обробки.

Контроль стану різального інструменту в процесі різання найбільш доцільно вести при обробці деталей складної форми, а так само коли небажано збільшення повного циклу обробки через додаткових контрольних операцій. При цьому контроль стану інструменту після закінчення процесу різання доцільно здійснювати при обробці порівняно простих деталей.



## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] К.А. Дядюра // Управление качеством механической обработки резанием на основе информации технической диагностики - 44-49 с.
- [2] Залога В.А. // Исследование возможности применения метода диагностики по акустическому излучению при чистовом точении титанового сплава / В.А. Залога, Р.Н. Зинченко // Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки", 2008. - №4. С. 118-125.
- [3] Дядюра К.А. // Прогнозирование работоспособности режущего инструмента на основе оценки напряженного состояния поверхностного слоя обрабатываемого инструмента. – 66 -70 с.
- [4] В.А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В.В. Шевченко // Адаптивная система управления, - Механизация и автоматизация управления. – Киев, 18-20 с.
- [5] Заєць С. С., Максимчук І. В., Войтюк О. А. // Пристрій контролю процесу різання при токарній обробці. Київ, 2007. – 1-2 с.
- [6] Макаров А. Д. // Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. Уч. пособие. Уфа, 1974, 372 с.
- [7] 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.
- [8] Остафьев В.А., Антонюк В.С., Тымчик Г.С. // Диагностика процесса металлообработки – К.:Техника, 1991. – 152 с.

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

УДК 519.682:621.7

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

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Анотація.** В статті розглядається питання використання імітаційного моделювання при вирішенні задачі створення імітаційної моделі технологічного процесу складання виробів. Наведено особливості використання системи Plant Simulation для імітаційного моделювання процесів і систем. Надано приклад моделювання технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу засобами системи Plant Simulation.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, виробнича система, система Plant Simulation, складання редуктора механізму нахилу.

### ВСТУП

Сучасне імітаційне моделювання виробничих процесів дозволяє відтворювати послідовність виконання операцій або етапів виробничого процесу шляхом моделювання його окремих елементів, а також визначити найкращий тип виробничої лінії з отриманням оптимальних показників, можливістю виконати тестування з множиною параметрів виробництва, включаючи пропускну здатність потоку і кількість необхідного обладнання[1].

Термін «імітаційне моделювання» означає, що ми маємо справу з такими моделями, за допомогою яких можна заздалегідь обчислити або передбачити поведінку системи, а для передбачення поведінки системи необхідний обчислювальний експеримент (імітація) на математичній моделі при заданих вихідних даних[2].

Таким чином, імітаційне моделювання є потужним інструментом дослідження поведінки реальних систем. Методи імітаційного моделювання дозволяють зібрати необхідну інформацію про поведінку системи шляхом створення її комп'ютеризованої моделі. Ця інформація використовується потім для проектування системи. Основна перевага імітаційного моделювання[2]:

- можливість опису поведінки компонент (елементів) процесів або систем на високому рівні деталізації;

- відсутність обмежень між параметрами моделі і станом зовнішнього середовища;

- можливість дослідження динаміки взаємодії компонентів в часі і просторі параметрів системи.

З метою вирішення задачі створення імітаційної моделі технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу вибрано систему імітаційного моделювання Plant Simulation.

### СИСТЕМА PLANT SIMULATION. ІМІТАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

Система імітаційного моделювання Plant Simulation дозволяє моделювати і відтворювати виробничі системи та їх технологічні процеси. Крім того, забезпечується можливість оптимізації матеріальних потоків, використання ресурсів і логістики на всіх рівнях планування виробництва, від глобальних виробничих об'єктів до регіональних заводів і окремих виробничих ліній [3].

Імітаційна модель може бути використана для створення ядра системи оперативного управління. На підставі вихідних даних (стан устаткування, план

випуску продукції, вимоги по плановому ремонту обладнання тощо) програються можливі варіанти і вибирається оптимальний графік виробництва по одному або декількома критеріями, наприклад [4]: максимальна продуктивність; мінімальне відхилення від плану випуску за часом; мінімальна собівартість; дотримання графіка виконання пріоритетних замовлень.

Об'єктом моделювання можуть виступати промислові, логістичні, транспортні та інші системи.

Створені цифрові моделі дозволяють проводити експерименти і опрацьовувати різні сценарії без втручання в роботу існуючих виробничих систем або задовго до впровадження реальних систем. Великий набір аналітичних інструментів допомагає оцінити різні сценарії виробництва [4].

Переваги системи Plant Simulation для імітаційного моделювання технологічних процесів є [4]: економія 3-6% на початкових інвестиціях; підвищення продуктивності існуючих систем на 15-20%; зниження вартості нової системи на 5-20%; оптимізація споживання і повторне використання ресурсів; зниження товарно-матеріальних запасів на 20-60%; зниження тривалості виробничого циклу на 20-60%; оптимізація систем для скорочення споживання енергії.

Враховуючи переваги та можливості системи можна стверджувати про те, що використання даної системи є актуальним, враховуючи вимоги до економії, оптимізації, підвищення продуктивності. Дана система була використана для створення імітаційної моделі технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу, що є додатковим аргументом для використання системи Plant Simulation при впровадженні технологічних процесів складання.

## **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ**

Система Plant Simulation використана для створення імітаційної моделі технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу, що є додатковим аргументом доцільності застосування системи Plant Simulation при впровадженні виробничих процесів в приладобудуванні.

На рисунку 1 наведено схему імітаційної моделі складання редуктора механізму нахилу, що реалізована засобами системи Plant Simulation.

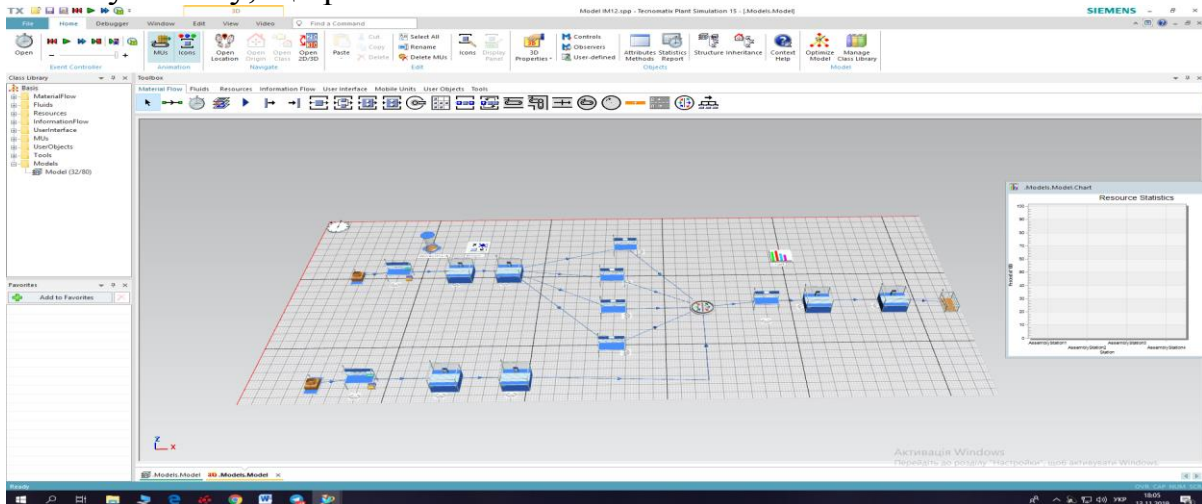


Рис. 1. Зображення схеми імітаційної моделі процесу складання редуктора механізму нахилу

Tecnomatix Assembly Planning включає широкий спектр додатків по оптимізації послідовності складання; координації руху устаткування, розрахунку продуктивності і завантаження ліній; аналізу різних варіантів технологічного процесу і собівартості виробництва. В результаті створюється технологічний процес, в електронному вигляді включає в себе повний опис процесів виготовлення, складання, контролю та упаковки виробу. При необхідності користувач створює графіки, діаграми, аналізатори вартості та інші засоби інтерфейсу користувача (рис.2).

Застосовуючи Tecnomatix Assembly Planning, технологи можуть задавати і моделювати послідовність складання, перевіряючи технологічність і зручність обслуговування виробу. Крім того, можна задавати і змінювати час циклу кожної операції або групи операцій [5].

Балансування завантаження ліній виробляється за допомогою план-графіків, що відображають завантаження кожного з видів устаткування. Графіки допомагають виявляти «вузькі місця» виробничих ліній з урахуванням одночасного випуску виробів в різних виконаннях і ряду обмежень, таких, як необхідна послідовність збірки і наявність вільних виробничих потужностей [5].

У Tecnomatix технологічні процеси, зокрема технологічний процес складання редуктора механізму нахилу можна оптимізувати на основі наявної бази знань. Тривимірні компонування в системі імітаційного моделювання Tecnomatix застосовуються для перевірки функціонування технологічного процесу, усунення «вузьких місць» і визначення потенційної продуктивності. Інструменти для ретельного аналізу допомагають технологам розглянути різні варіанти побудови процесу і швидко приймати точні проектні рішення з урахуванням виявлених можливостей оптимізації.

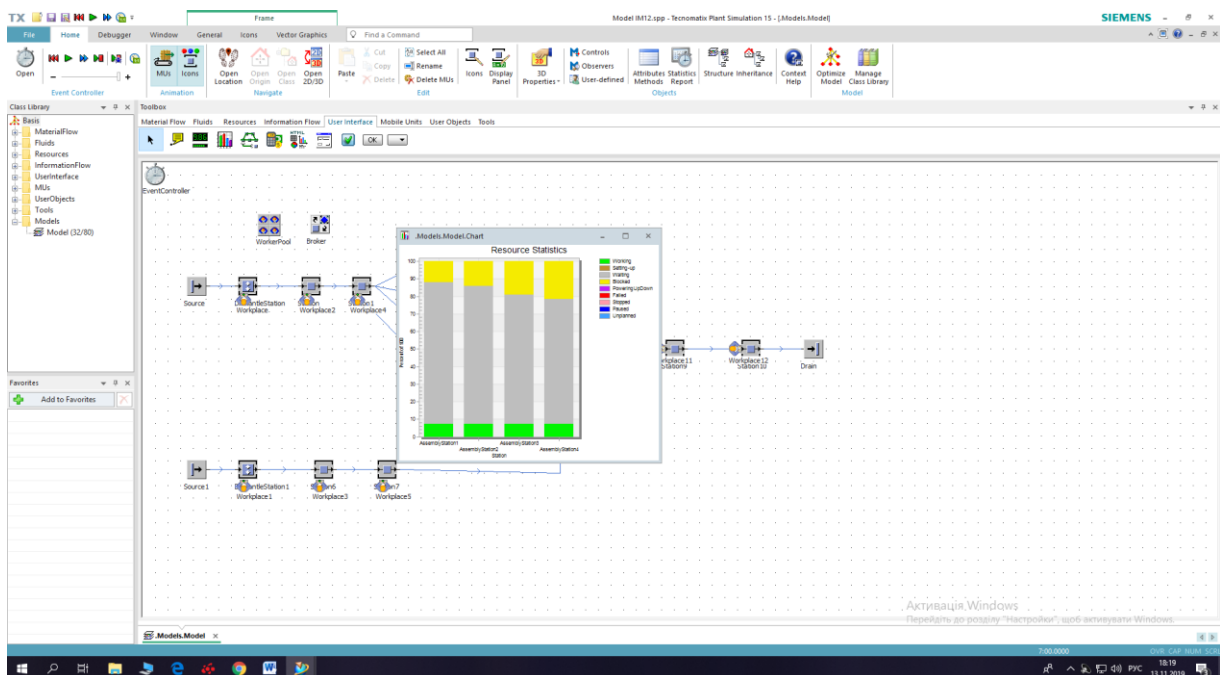


Рис.2. Графіки статистичних даних використання ресурсів технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу

## **ВИСНОВКИ**

Система Plant Simulation має широкий спектр можливостей для розробки імітаційної моделі технологічних процесів в різних галузях виробництва.

Наведений приклад моделювання технологічного процесу складання редуктора механізму нахилу, що реалізовано за допомогою даної системи, дозволяє оцінити технологічний процес та провести його оптимізацію.

Система Plant Simulation забезпечує користувача всіма інструментами для створення імітаційної моделі виробничих процесів.

Система дозволяє створити імітаційну модель технологічних процесів виготовлення деталей та складання будь-яких виробів приладобудування.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Нестеренко А.О., Вислоух С.П. Імітаційне моделювання виробничого процесу складання. [Текст] / А.О. Нестеренко, С. П. Вислоух // Молодий вчений. – 2018. – №3 (55). – С. 406–409.
- [2] Імітаційне моделювання. [Електронний ресурс]. URL: [https://stud.com.ua/98833/informatika/imitatsiyne\\_modelyuvannya](https://stud.com.ua/98833/informatika/imitatsiyne_modelyuvannya).
- [3] Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Підвищення ефективності виробничих процесів засобами імітаційного моделювання. / Збірник праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ», 4-5 грудня 2018 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – С. 148-151.
- [4] Plant Simulation. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/plant-simulation/plant-simulation.html>.
- [5] Обзор Tecnomatix. [Електронний ресурс]. URL: <https://ideal-plm.ru/uEditor/files/4/Tecnomatix.pdf>.

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

УДК 621.391

*А.М. Лантух, магістр, ПБ-91мп, В.В. Шевченко, доцент, к.т.н*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ФРЕЗЕРНІЙ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИКОРИСТОВУЮЧИ ДАНІ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**

**Анотація.** В процесі даної роботи було проведено дослідження акустичної емісії (АЕ) при дослідженні процесу мех.обробки. Оскільки АЕ напряму пов'язана зі станом ріжучого інструменту, то використання даного методу дозволяє отримати дані максимально наближені до реальності. Зробивши висновки, на основі результатів даного дослідження, можна дати поради та рекомендації щодо підвищення ефективності на оптимізації процесу механічної обробки деталей або виробу.

**Ключові слова:** акустична емісія; оптимізація; ентропія; механічна обробка; аналіз даних АЕ.

### **ВСТУП**

В сучасному автоматизованому виробництві для підвищення ефективності та надійності використовують багато різних методів, основним з яких є оптимізація тех.процесу.

При цьому важливу увагу слід приділити налагодженню верстату для досягнення найвищої продуктивності, при мінімальних затратах інструменту та часу. Для цього використовують системи контролю в реальному часі, які дозволяють реагувати на зміни якомога швидше.

Беручи до уваги вище вказане, моніторинг процесів з використанням методу акустичної емісії(АЕ) має значні переваги над іншими методами.

По-перше, АЕ має більш широкий спектр коливань, який ширший в рази за спектр коливань вібрацій інструменту та шуму навколишнього середовища.

По-друге, вона ніяким чином не впливає на роботу інструменту та не заважає йому.

### **ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для того, щоб підвищити ефективність обробки деталей та поверхонь необхідно в реальному часі відстежувати стан інструменту та порівнюючи ці значення з теоретичними, надавати відповідні вказівки щодо заміни інструменту після його зносу або пошкодження.

Для досягнення нашої цілі ми будемо використовувати цифро-аналоговий перетворювач(ЦАП), генератор сигналу(ГС), підсилювач сигналу(ПС), датчик акустичної емісії та датчик для відстеження кількості обертів верстату, які будують під'єднані до персонального комп'ютера(ПК).[1]

Спочатку встановлюють датчик АЕ на робочий стіл і датчик обертів та підключають їх до підсилювача сигналів, який під'єднують до ЦАП, що буде передавати сигнал безпосередньо на ПК. До початку роботи фрезерного верстату перевіряють точність встановлення датчиків, їх стан та з'єднання з ЦАП та ПК.[2]

На стійці верстату встановлюються технологічні параметри обробки, такі як кількість обертів, глибина та подача різання, швидкість переміщення робочого інструменту. Крім цього вказують площину, в якій буде відбуватися обробка та координати переміщення.[3]

Під час роботи датчик АЕ, який встановлений на робочій поверхні вимірює напруження на пружні хвилі, що формуються в процесі руйнування або деформації матеріалу ріжучого інструменту, та після перетворення на ЦАП передає ці значення на ПК у вигляді закодованого сигналу.

На ПК, використовуючи стороннє програмне забезпечення, всі ці дані розшифровують кодовий сигнал та представляють його у вигляді даних, до яких можна віднести тонльність, частоту, амплітуду та ряд інших.[4]

Маючи на увазі отримані дані можна встановити джерело деформації, оскільки АЕ має три основні зони, де вона може утворитися, та кожна з них має свій певний спектр характеристик.

Первинна зона деформації: ріжучий край інструменту, наближаючись до виробу/деталі тисне на нього, формуючи зріз фронтальної зони. В цей момент стружка підіймається на передньою частиною інструменту, спричиняючи часткову деформацію.

Вторинна зона деформації виникає між стружкою та ріжучим частиною в момент стирання та часткової деформації інструменту.

Третинна зона деформації виникає у місцях тертя вже обробленої частини, яка вивільняється від стружки, та робочою частиною інструменту.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Результат вимірювання параметрів основного тону насамперед залежить від обраного матеріалу інструменту на параметрів тех. процесу, оскільки при коливанні пружних хвиль в процесі роботи їм не властива регулярність.

Під час спостереження можна виділити 2 види нерегулярностей: у вигляді малих відхилень граничних періодів основного тону та тривалих змін трансформації основного тону(до 35-45 відсотків).

Відхилення частот основних тонів акустичної емісії можна пояснити 2 причинами:

станом інструменту( та технологічної системи в цілому) або ж коливаннями пружних сил та їх характером.

Але для оцінки загального стану недостатньо даних основного тону, важливо знати при цьому помилки, які мали місце на початку.

Дослідження зміщення положення імпульсів проводилося за допомогою співвідношення сигналів АЕ при роботі та при квантуванні зі стандартною частотою, заданою у відповідності до матеріалу інструменту, його технічних показників та режимів різання, встановлених при виробництві деталі або ж виробу.[5]

## **ВИСНОВКИ**

На основі досліджень можна стверджувати, що час переходу сигналу в період збудження не залишається постійним для однієї і тієї ж послідовності сигналу акустичної емісії, яку багато разів отримували обробкою одним і тим же інструментом.

В одночас з цим параметри АЕ є показником зносу інструменту. Під час фіксації критичних сигналів ми спостерігаємо зміну в поведінці других

параметрів, які в свою чергу можуть призвести до відхилення роботи системи або ж її виходу з ладу.

Досліджуючи зміну імпульсів основного тону на протязі всього обсягу роботи в поєднанні з інформативними параметрами АЕ, ми можемо досить точно та в реальному часі отримувати дані про роботу та енергозатрати обладнання, порівнюючи ці дані з тими, що отримані на новому інструменті.

Тим самим можна прогнозувати час виходу з ладу інструменту. Ця гнучка система контролю дозволить відстежувати стан, відображаючи періоди зносу, буде проводити аналіз даних та надавати рекомендації щодо роботи, при цьому не потребуючи втручання людини до безпосереднього зносу або поломки інструменту, якщо таке станеться.

Один з основних недоліків даної системи є чутливість до умов експлуатації, тому дуже важливо слідкувати за ретельним доглядом та обслуговуванням обладнання

### **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] А. В. Скворцов. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств. / Скворцов А. В., Схиртладзе А. Г., Уч./ М.: Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 634 с.: ил.
- [3] И.П.Никитина Автоматизированное проектирование горизонтальнофрезерного станка с ЧПУ, оснащенного мультишпиндельной головкой / Никитина И.П., Поляков А.Н., Мищенко Д.С. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017).
- [4] Аверьянова И. О. Повышение эффективности использования станков с чпу в условиях диверсификации производства : дис. ... доктора технических наук : 05.02.07 / Аверьянова Инна Олеговна.- Москва, 2013.- 282 с.: ил
- [5] Р. Петелін. Cool Edit Pro 2 у застосуванні / Р. Петелін, Ю. Петелін. М.: Медіа Мастер, 2003. – 453 с.

*Науковий керівник к.т.н., доцент Шевченко В.В.*



УДК 629.7

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

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛІ ТИПУ КРОНШТЕЙН**

**Анотація.** У даній статті розглянуто застосування методу топологічної оптимізації для раціонального формування внутрішньої структури виробу та оптимального розподілу силових навантажень. Досить довгий час метод не мав широкого застосування через проблематику виготовлення деталей із складними геометричними формами але з появою технологій адаптивного виробництва, ця проблема була вирішена.

**Ключові слова:** топологічна оптимізація, адаптивне виробництво, 3D-модель

### **ВСТУП**

Топологічна оптимізація - це математичний інструмент для оптимального розподілу матеріалів у моделях, що проектуються. Застосування методу дає змогу проектувати більш складніші за формою моделі, отримувати кращий діапазон показників граничних навантажень деталей, що проектуються. Існують різні підходи до оптимізації топології, розроблені протягом останніх трьох десятиліть. Наприклад, метод до встановленого рівня, метод гомогенізації, метод SIMP та метод задання різної щільності, які є одними з основних видів топологічної оптимізації. Розвиток методів топологічної оптимізації розпочався давно, однак існуючі на той час методи, не давали бажаного результату проектування, оскільки існували виробничі обмеження для оптимізованих конструкцій.

Досить часто однією із головних вимог до виробів приладобудування є зменшення ваги та матеріальних витрат, при збереженні функціональних характеристик. Стрімкий розвиток адаптивного виробництва розкрив можливості топологічної оптимізації при проектуванні нового продукту, або реструктуризації уже існуючого. Поєднавши можливості 3D – друку та креативність сучасних інженерів –конструкторів можна отримувати дуже цікаві результати оптимальних структур виробів, зі зменшення ваги на 40% [1,2].

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

Функціональна схема проектування моделей виробів із застосуванням методу топологічної оптимізації представлено на (рис.1). Спочатку проектується початкова 3D-модель з первинним дизайном, потім дана модель структурно аналізується з урахуванням умовних навантажень, щоб побачити розподіл напружень та переміщень. На основі отриманих результатів корегується кількість матеріалу, при необхідності видаляється зайвий, або додається необхідний об'єм матеріалу у відповідних ділянках моделі. Після цього знову виконується перевірка навантажень, якщо деталь відповідає всім вимогам дизайну та навантажень отримуємо фінальну модель [3].

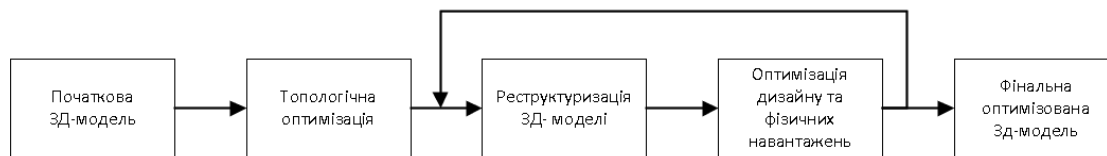


Рисунок 1. Топологічно-оптимізований процес проектування

Для прикладу в роботі як об’єкт дослідження було розглянуто деталь типу кронштейн (рис. 2) із застосуванням топологічної оптимізації, як підхід для проектування зі зменшення ваги та без втрати функціональних характеристик деталі. Початкова вага деталі становила 2.067 кг.



Рисунок 2. Кронштейн

Для отримання конструктивного аналізу було розглянуто розподіл основних силових напружень (рис. 3).

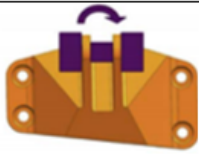
<p>Навантаження 1 Статичне Вертикальне 3600Н</p> 	<p>Навантаження 2 Статичне горизонтальне 3825Н</p> 
<p>Навантаження 3 Статичне 45° від вертикалі 4275Н</p> 	<p>Навантаження 4 Статичне Горизонтальне по середній лінії 3600Н</p> 

Рисунок 3. Аналіз основних навантажень

Використавши метод скінченних елементів було виконано аналіз деталі на розподіл силових навантажень на деталь в процесі майбутньої експлуатації. Контурні графіки представлені на (рис. 4) демонструють розподіл навантажень на модель, з врахуванням всіх можливих варіантів навантажень. Синім кольором показані місця, з незначними навантаженнями та неефективним використанням матеріалу, тому ці ділянки потребують подальшого аналізу та доопрацювання [4].

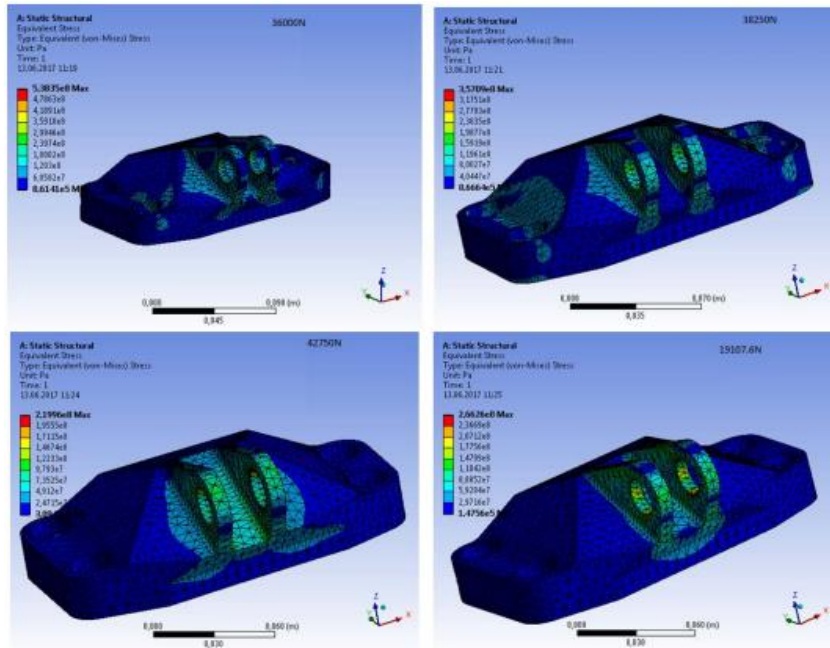


Рисунок 4. Аналіз деталі методом скінченних елементів, для початкової деталі

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як бачимо з (рис. 4) основні навантаження на деталь відбуваються через два верхні отвори, отже можна зменшити кількість матеріалу, яка показана синім кольором. Використовуючи інструменти оптимізації було зроблено ремоделювання моделі, результат якого представлено на (рис. 6) [5].

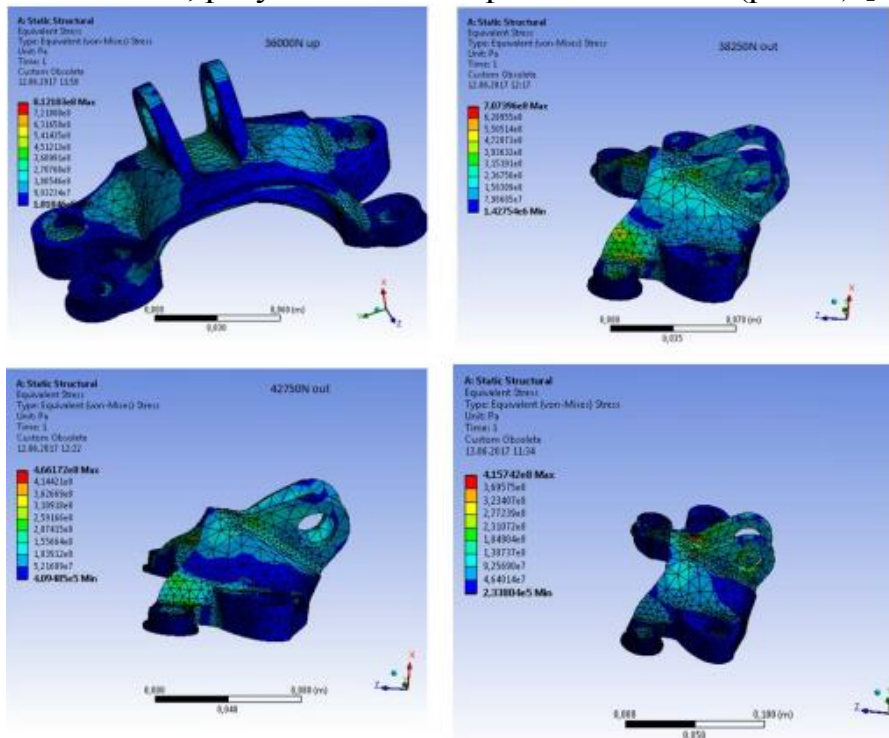


Рисунок 5. Аналіз ремодельованої деталі методом скінченних елементів

Нова отримана модель, витримує теж саме задане механічне навантаження, виконуючи ті ж самі конструкційні вимоги до дизайну. Кінцева конструкція перевірена такими ж вхідними параметрами як і початкова. Аналіз структурної

верифікації проводився за допомогою програмного забезпечення ANSYS R17 Academic Education. Як показано на (рис.5) напруження деталі нижче межі текучості матеріалу. Моделювання з застосуванням топологічної оптимізації призвело до зменшення ваги до 0.72 кг, що покращило результат на 65% [6.]

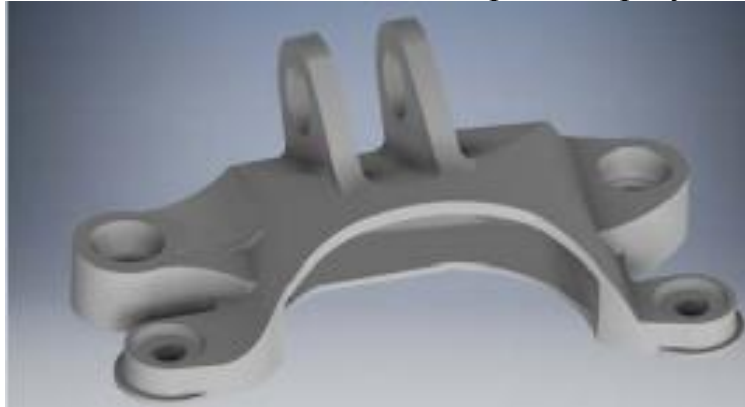


Рисунок 6. Оптимізована деталь

## ВИСНОВОК

Топологічна оптимізація є потужним математичним інструментом для дизайнерів-конструкторів, що забезпечує оптимальне проектування конструкцій зі зменшенням ваги, що дозволяє раціонально використовувати матеріал, економить енергетичні затрати на виготовлення деталей, та як наслідок зниження собівартості технологічного процесу. Даний метод можна використовувати, застосовуючи адаптивне виробництво, що також значно пришвидшує час виготовлення виробів. Розглянутий в роботі приклад із застосуванням топологічної оптимізації продемонстрував зменшення ваги деталі на 65% та більш привабливий дизайн деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Мастенко І. В., Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3D-печатных моделей на их прочностные характеристики. – 2019.
- [2]Мастенко І. В., Стельмах Н. В. Поліпшення механічних властивостей друкованих деталей. – 2018.
- [3]Meisel N A, Williams C B and Druschitz A 2012 Proc. of the Int. Solid Freeform Fabrication Symp pp. 162-176
- [4]Emmelmann C, Petersen M, Kranz J and Wycisk E 2011 SPIE Eco-Photonics 2011, Int. Society for Optics and Photonics 8065 pp. 80650L1-80650L12
- [5] Picelli, R.; Vicente, W.M.; Pavanello, R. (2017). "Evolutionary topology optimization for structural compliance minimization considering design dependent FSI loads". Finite Elements in Analysis and Design. 135: 44–55.
- [6]Lundgaard, Christian; Alexandersen, Joe; Zhou, Mingdong; Andreasen, Casper Schousboe; Sigmund, Ole (2018). "Revisiting density-based topology optimization for fluid-structure-interaction problems". Structural and Multidisciplinary Optimization. 58 (3): 969–995.

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

## УДК 658.51

Мякий А.М. , студент групи ПБ-81мп, Федорчук В.Л. студент групи ПБ-91мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ОЦІНКА ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

**Анотація.** В роботі розглянуто поняття інформаційної системи виробничих процесів та основні задачі які вона дозволяє вирішувати. Також, розглянуто складові, що утворюють інформаційну основу системи та приклад використання ІС виробничих процесів на практиці. Наведено переваги які надає використання даної системи. Вказано основні показники якості і надійності ІС та представлено графічну схему. Розглянуто головні методики оцінки якості програмної реалізації ІС виробничих процесів. Розкрито поняття надійності системи. Представлено графічну схему етапів розробки інформаційної системи. Проведено аналіз головних проблем надійності та показників якості ІС та наведено підходи і методи для їх вирішення. За результатами проведеної роботи зроблено висновки, про ефективність розглянутих методів проектування ІС виробничих процесів .

**Ключові слова:** інформаційні системи , оцінка якості , надійність , виробничі процеси.

## ВСТУП

У сучасному виробництві використання ІС досягло високого рівня. ІС дозволяє не тільки створювати деякий набір інформації про виробничий процес, а й також аналізувати та використовувати її, але основною задачею залишається збір, збереження та запис інформаційної бази. Удосконалення методів розробки ІС є актуальною проблемою для значної кількості галузей.

Інформаційні системи виробничих процесів дозволяють вирішувати наступні задачі:

- зберігання та запису інформації;
- оцінки ситуації на виробництві;
- моделювання стану виробничих процесів;
- аналізу даних на відповідність умовам виробництв;
- прийняття рішень про впровадження виробничих процесів нових виробів.

В загальному випадку, функціональний спектр можливостей ІС обмежується лише процедурами які закладені в систему. Тобто, в систему можна додавати будь-які маніпуляції над базами даних.

ІС може використовуватись в будь-якому виробництві. Прикладом може слугувати «витягаюча» система керування механоскладального виробництва. В цій системі центральний орган формує графік складання кінцевих виробів та відправляє сформовані данні на головну дільницю. Далі, головна дільниця, відповідно до сформованого графіку, вибирає потрібні напівфабрикати (вузли, деталі, тощо). ІС виробничих процесів допомагає керувати всіма етапами виготовлення, як робочим процесом, так і технологічною підготовкою виробництва. Дозволяє проводити менеджмент задіяних ресурсів. Тобто, створюється єдина інформаційна система, за рахунок якої можна об'єднати весь виробничий процес та отримувати оперативну звітність по всім етапам роботи системи[1].

Далі детальніше розглянемо які можливості включають в себе ІС виробничих процесів.

ІС включають в себе програмне забезпечення, та засоби обробки даних .

Інформаційну основу утворюють:

- засоби фіксації та збору інформації;

- засоби збереження даних;
- засоби перевірки вхідної та вихідної інформації;
- засоби захисту даних;
- засоби апробації та представлення інформації[2].

Інформаційна система має свої показники якості які вказані на рисунку 1 [3], на які слід звертати увагу на етапі проектування та розробки для уникнення некоректних вихідних даних та помилок в роботі залежної виробничої системи:

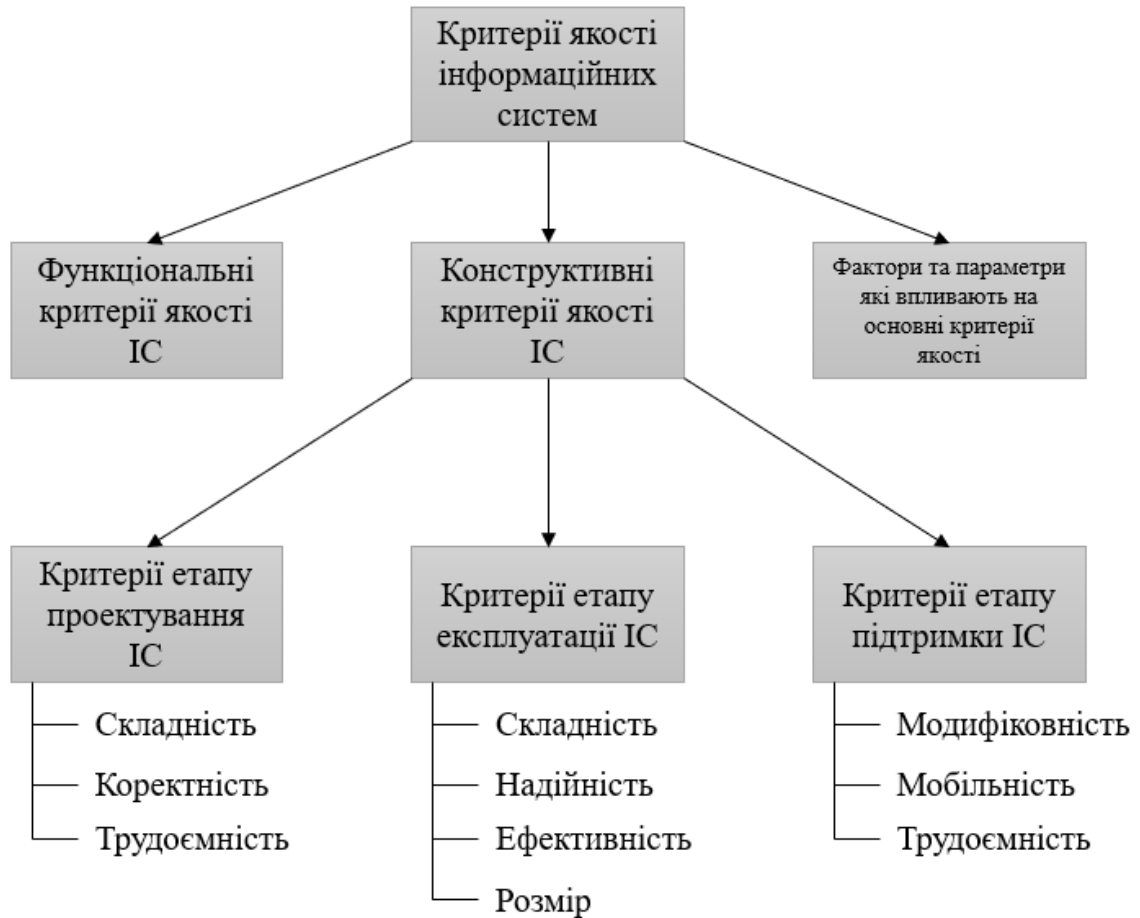


Рисунок 1. Критерії якості інформаційних систем

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА СПОСОБИ ЇЇ РІШЕННЯ

Надійність являє собою комплексну характеристику, яка включає в себе довговічність, безвідмовність та ремонтопридатність.

Існують методики оцінки надійності ІС які спираються на споріднені методики оцінки якості програмного забезпечення, такі як:

- визначення впливу організації етапу розробки і тестування на кількість дефектів;
- оцінка надійності системи з використанням підходу TTF [4].

Використання сучасних підходів розробки ІС виробничих процесів та програмного забезпечення є одним з основних факторів які впливають на

надійність. За останні роки з'явилась значна кількість шаблонів розробки. Вони дозволяють спростити розробку ІС, та зробити програмний продукт зручним для подальшої підтримки й розвитку. Нехтування даними підходами до розробки призводить не тільки до зниження надійності та модифікованості ІС, а також, як правило, до падіння показників ефективності використання апаратних ресурсів [5].

При розробці ІС виробничих процесів, слід дотримуватись технології. Саме, дотримання технології (етапів) розробки дозволяє вирішити більшу частину проблем, тому наявність кожного пункту є важливим. На рисунку 2 зображено каскадну модель етапів розробки ІС, але слід зазначити, що в реальних умовах можливе повернення до попередніх частин, так як на практиці доведено, що неможливо врахувати всі деталі.

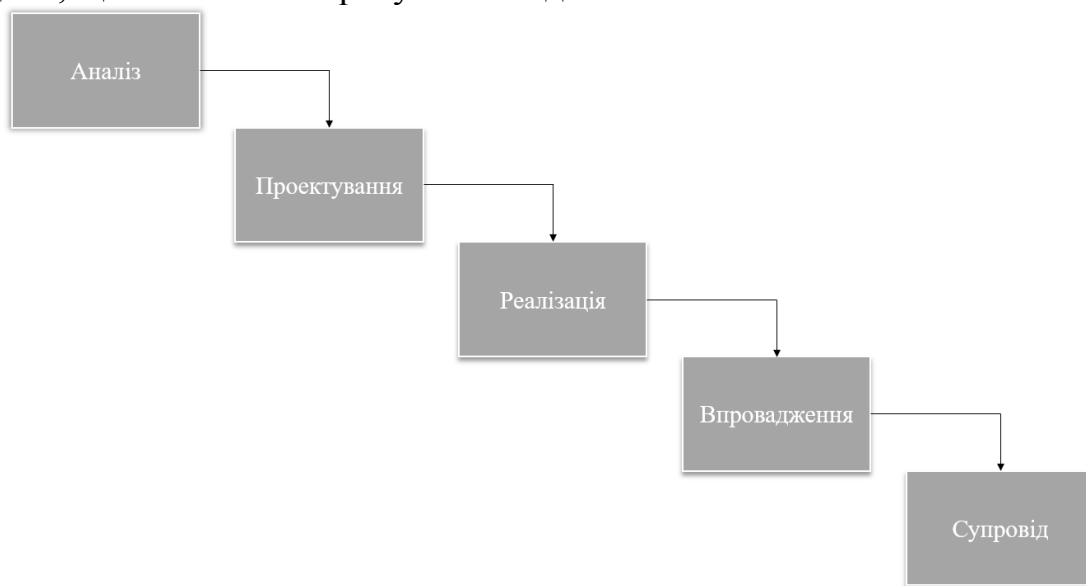


Рисунок 2. – Етапи розробки інформаційних систем

Важливим показником надійності ІС є достовірність вихідної інформації. На достовірність вихідної інформації впливають усі функціональні перетворення, що зосереджені всередині системи, а також набір вхідних параметрів які залежать напряду від джерела інформації. Прикладом може слугувати система розрахунку витрат на виробництво, яка в свою чергу буде залежати від вартості сировини, вартості обладнання, тощо. Інформація про поточну вартість повинна постійно оновлюватись відповідно до її поточного стану на ринку. Оскільки ця інформація впливає на планування виробничих процесів - подання не актуальної інформації може призвести до значних збитків.

Всі вхідні параметри повинні завжди перевірятись на відповідність заданим критеріям, для запобігання помилок в роботі системи, що можуть призвести до критичної ситуації в системі керування яка напряду залежить від ІС.

Наступним важливим показником надійності є довговічність. У випадку інформаційної системи це можливість додавання то розширення інформаційної бази. На етапі проектування програмного забезпечення - система повинна розробляти зручною для додавання нової інформації. Пріоритетним способом

рішення даної проблеми є розділення функціональної частини та бази даних на окремі об'єкти (Створення окремих класів та методів).

Слід зазначити, що систему треба ділити не тільки на окремі процедури, а також проводити глобальне розділення на елементи які відповідають за відображення інтерфейсу користувача, методи та процедури які проводять маніпуляції над даними, та бази даних в яких зберігається вся необхідна інформація і зміни до якої може вносити користувач.

За безвідмовність, не в останню чергу, відповідає приховування змінних у кодї програмного забезпечення, та створення спеціальних методів доступу до них, які в свою чергу перевіряють вхідні дані на відповідність. Важливо проводити захист записаної інформації, для того щоб уникнути перезапису некоректними даними у разі помилки при розробці. Перевірку слід проводити на всіх етапах роботи ІС.

## **ВИСНОВКИ**

У даній роботі розкрито поняття ІС та наведено приклад її використання. Проведено аналіз основних проблем надійності інформаційних систем виробничих процесів.

Розглянуто каскадну модель розробки систем та методи підвищення якості і надійності програмного забезпечення ІС виробничих процесів.

Було проаналізовано та наведено сучасні підходи до розробки, якими слід користуватись на етапі проектування та зроблено опис проблем які вони дозволяють уникнути.

Досліджено вплив основних факторів на актуальність інформаційної бази, а також методи захисту ІС від помилок в виконанні та запису некоректних даних.

В результаті роботи зроблено висновок, що використання сучасних шаблонів розробки та дотримання технології дозволяє уникнути більшість проблем пов'язаних з розробкою ІС виробничих процесів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Філіппова М. В., Демченко М. О., Матвієнко С. М. Моделирование технологического процесса складання за допомогою IDEF0 //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Т. 2. – №. 3. – С. 62.
- [2] Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології. Навчальний посібник. — Х.: ХНАМГ, 2010. — 222 с.
- [3] Гайдамакин Н. А. Автоматизированные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учебное пособие. — М.: Гелиос АРВ, 2002. — 368 с.
- [4] Цветков В. Я. Качество, стандартизация и сертификация информационных систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. 60 с. ISBN 978-5-317-05472-4
- [5] William S. Davis, David C. Yen. The Information System Consultant's Handbook. Systems Analysis and Design. — CRC Press, 1998. — 800 с.

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



УДК 621.793

Д.В. Прихожа, магістрант гр. ПБ-81мп, д.т.н., проф. Антонюк В.С.,

к.т.н. Рутковський А.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІПМ ім. Г.С. Писаренка НАН України

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЙОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація.** Розглянуто вплив технологічних режимів обробки йонно-плазмовим термоциклічним азотуванням на формування функціонального покриття на зразках із сталі 40Х13. Проаналізовано мікротвердість та товщину азотованого шару експериментальних зразків. Розроблено математичну модель розрахунку залежності товщини функціонального покриття отриманого після обробки сталі 40Х13 йонно-плазмовим термоциклічним азотуванням від робочого тиску, температури та тривалості обробки.

**Ключові слова:** інженерія поверхні, йонно-плазмове термоциклічне азотування, функціональне покриття, мікроструктура, мікротвердість, метод групового врахування аргументів.

### ВСТУП

Однією з основних тенденцій розвитку сучасного приладо- та машинобудування є інтенсифікація за рахунок використання прогресивних технологій, а також використання нових конструкційних матеріалів і захисних покриттів, що мають підвищені триботехнічні, фізико-хімічні і механічні характеристики [1].

Формування на поверхнях деталей функціональних покриттів підвищує їх експлуатаційні властивості, що призводить до розширення галузі їх використання.

Існує велика кількість методів поверхневого зміцнення металів і сплавів, за допомогою яких можливо в тій чи іншій мірі підвищити працездатність виробів [2].

Одним з перспективних напрямків підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин і механізмів є їх обробка у вакуумі [3].

Найбільшого поширення набули процеси хіміко-термічної обробки в тліючому розряді серед яких йонне азотування в тліючому розряді. Результатом обробки деталей цим методом є формування покриттів для зміцнення і захисту деталей від агресивного впливу та зношування [4-5].

Технологія термоциклічного йонного азотування відрізняється тим, що нагрівання деталей відбувається тільки поверхневим підводом енергії тліючого розряду [6].

Використання йонно-плазмового термоциклічного азотування відповідає вимогам сучасного виробництва, та має ряд переваг над іншими методами хіміко-термічної обробки. Перевагами методу йонно-плазмового термоциклічного азотування є висока продуктивність, екологічність, енергозбереження [7].

*Метою роботи* є дослідження впливу технологічних параметрів йонно-плазмового термоциклічного азотування на покриття поверхонь деталей.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні дослідження процесу йонно-плазмового термоциклічного азотування виконували на установці «ВПА-1», яка призначена для модифікації поверхневого шару конструкційних, нержавіючих та інструментальних сталей. (Рис. 1).



Рисунок 1. Загальний вигляд установки йонно-плазмового термоциклічного азотування

До складу установки входять системи автоматизації контролю технологічного процесу, що дозволяє проводити контроль параметрів обробки в режимі реального часу.

Обробку проводили у вакуумній камері при відсутності конвективних втрат тепла шляхом циклічної подачі енергії тліючого розряду.

Для реалізації експерименту в розрідженому середовищі, яке містить азот, між катодом (деталлю) і анодом (камерою) збуджується тліючий розряд, йони газу, бомбардуючи поверхню виробу, нагрівають її до температури насичення.

Інтенсифікація процесу при йонному азотуванні пояснюється впливом тліючого розряду на всі елементарні процеси, які сприяють утворенню функціонального покриття: активація газової фази, адсорбція і дифузія.

Експериментальні дослідження виконували на високолегованій сталі 40X13 (ГОСТ 5949-75).

Формування функціональних покриттів виконували з режимами обробки: температура нагріву знаходилась в межах від 500 до 680°C; напруження тліючого розряду – 400...600 В; робочий тиск – 0,6-1,8 Торр; відношення газів в камері: аргон – 60%, азот – 40%; тривалість обробки – 1...50 год.

Першим етапом реалізації методу йонно-плазмового термоциклічного азотування є встановлення деталей в камеру та підключення систем.

Після підключення камери і деталі до струму живлення накачували суміш газів до 20...35 Па.

Для збудження тліючого розряду подається напруга на електроди (від 0 до 500 В). Після катодного розпилення встановлюються робочі параметри обробки. Напруга та тиск підвищується до 600...800 В та до 60...90 Па відповідно.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Отримане таким чином, зміцнене покриття методом йонно-плазмового термоциклічного азотування фактично являє собою модифікований (легований)

поверхневий шар матеріалу деталі, який отримують шляхом адресного підведення енергії масообміну.

На основі результатів експерименту проведено аналіз розподілу мікротвердості по глибині азотованого шару (рис. 2).

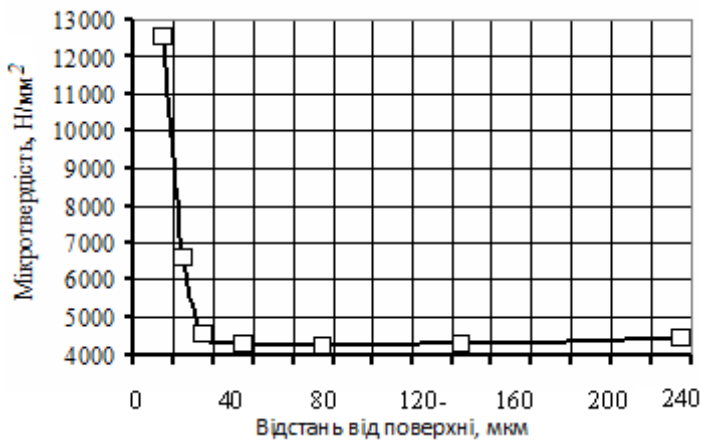


Рисунок 2. Розподіл мікротвердості по глибині азотованого зразка сталі 40X13

Вивчення мікроструктури зразків, оброблених при різних режимах показало, що вони мають схожу структуру. Азотований шар відрізняється високою щільністю.

Відмінності по товщині і твердості пов'язані з режимом обробки, зокрема з більш низькою температурою.

Таким чином, загальна глибина азотованого шару, становить 9-12 мкм.

Параметри мікротвердості по глибині шару визначали на мікротвердомірі ПМТ 3М з навантаженням 100 г.

На рисунку 2 показано розподіл мікротвердості по глибині азотованого шару зразка сталі 40X13, який отримали при робочому тиску – 0,7 Торр, температурі – 450 °С, тривалість обробки – 50 год.

Розподіл мікротвердості по глибині шару (рис. 2), показав, що мікротвердість зростає в напрямку від поверхні шару сірої фази до підкладки.

При цьому встановлено, що відмінності по товщині зміцненого шару і мікротвердості пов'язані з режимами йонно-плазмового термоциклічного азотування, зокрема з більш низькою температурою та збільшенням тривалості обробки.

Для аналізу впливу параметрів обробки методом йонно-плазмового термоциклічного азотування на формування дифузійних шарів застосовано метод математичного моделювання – метод групового врахування аргументів, який дозволяють отримати математичну модель оптимальної складності по заданому критерію на основі незначної кількості апріорної інформації [8].

Факторами варіювання вибрано: робочий тиск  $P$  (Торр), температура обробки  $T$  (°С), тривалість обробки  $t$  (год).

Як параметр оптимізації вибрано товщину азотованого покриття  $h$  (мкм).

В результаті математичної обробки результатів експерименту зразків азотованого шару сталі 40X13 отримано адекватну модель (1) для розрахунку товщини сформованого покриття

$$y = -1,28 - 0,02x_1 + 0,01x_2 - 1,53x_3, \quad (1)$$

де  $y$  – розрахункова товщина азотованого шару;  $x_1, x_2, x_3$  – параметри варіювання: робочий тиск  $P$  (Торр), температура обробки  $T$  (°С), тривалість обробки  $t$  (год), відповідно.

Як показав аналіз отриманої математичної моделі встановлено, що найбільший вплив на формування товщини функціонального покриття чинить тривалість обробки.

### **ВИСНОВКИ**

Проведені дослідження показали перспективність і доцільність застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення функціональних властивостей поверхневого шару високолегованих сталей.

Дослідження впливу факторів (робочий тиск, температура, тривалість обробки) на товщину функціонального покриття показали, що вагомий вплив на дифузію азоту має тривалість обробки. При дослідженні мікротвердості встановлено, що відмінності по товщині зміцненого шару і мікротвердість пов'язані з режимами обробки, зокрема з більш низькою температурою та збільшенням тривалості обробки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Ляшенко Б.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине / Б.А. Ляшенко, С.А. Клименко // Сучасне машинобудування. – 1999. – №1 (1). – С.94-104
- [2] Антонюк В.С. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. науч.-техн. сборник. - Харьков: НТУ “ХПИ”, 2007, Вып.73. - С. 25-31.
- [3] Антонюк В.С. Новое в формировании упрочняющих покрытий фрикционных поверхностей // В.С. Антонюк, М.С. Дигам // Сучасне машинобудування. - Київ: №1.–1999.–С. 105-110.
- [4] Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк и др. – Москва: Изд-во МГУ.– 2005. – 640 с.
- [5] Лойко В.А., Ивашко В.С., Клименко С.А., Антонюк В.С., Хейфец М.Л. Вакуумные ионно-плазменные технологии в ремонтном производстве: монографія / В.А.Лайко [и др. Минск: БГАТУ, 2007. – 192 с.
- [6] Рутковский А.В. Модификация поверхности материалов низкоэнергетическим ионным воздействием / А.В. Рутковский, Б.А. Ляшенко // Междунар. симп. ОТТОМ – Харьков. – 2001. – С.94-99.
- [7] 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.
- [8] Антонюк В.С., Выслоух С.П. Информационные технологии при технологической подготовке производства // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. Праць.: ЖДТУ — 2009. — Вип. 6. — С. 3 – 18.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Антонюк В.С.*

УДК 658.512.22

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

## ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**Анотація.** Розглянуто застосування 3D параметризації як ефективний засіб комп'ютерних програмних комплексів САПР для вирішення задач геометричного моделювання. Показано особливості та можливості 3D параметризації в системі автоматизованого проектування SolidWorks. Для прикладу наведено розробку 3D-моделі USB флеш накопичувача.

**Ключові слова:** параметризація, 3D-модель.

### ВСТУП

Параметричне моделювання – це процес моделювання з можливістю змінювати форму геометрії моделі, як тільки змінюється значення розміру. Параметричні моделі використовують інструменти дизайну на основі функцій, твердотільного та поверхневого моделювання для управління атрибутами системи [1]. Однією з найважливіших особливостей параметричного моделювання є те, що атрибути, пов'язані між собою, автоматично змінюють свої значення. Іншими словами, параметричне моделювання дозволяє конструктору визначати цілі класи конструкцій деталей, а не лише конкретні екземпляри. Без використання параметричного моделювання, редагування геометричної моделі деталі є непростим завданням для конструкторів. Наприклад, щоб змінити 3D-модель, конструктору доводиться змінювати окремо всі її параметри (довжину, ширину, висоту і т.д.). Однак при параметричному моделюванні конструктору потрібно змінити лише один параметр, всі інші зміняться автоматично. Отже, параметризовані моделі зосереджуються на етапах створення форми і параметризують їх розміри. Це приносить багато користі постачальникам інженерних послуг із проектування продукції.

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ

### ПРОЦЕСУ

### ПАРАМЕТРИЧНОГО

У роботі використовується комплексна система автоматизованого проектування (САПР) SolidWorks та, як об'єкт дослідження, побудована в цьому програмному середовищі 3D-модель USB флеш накопичувача (рис.1).

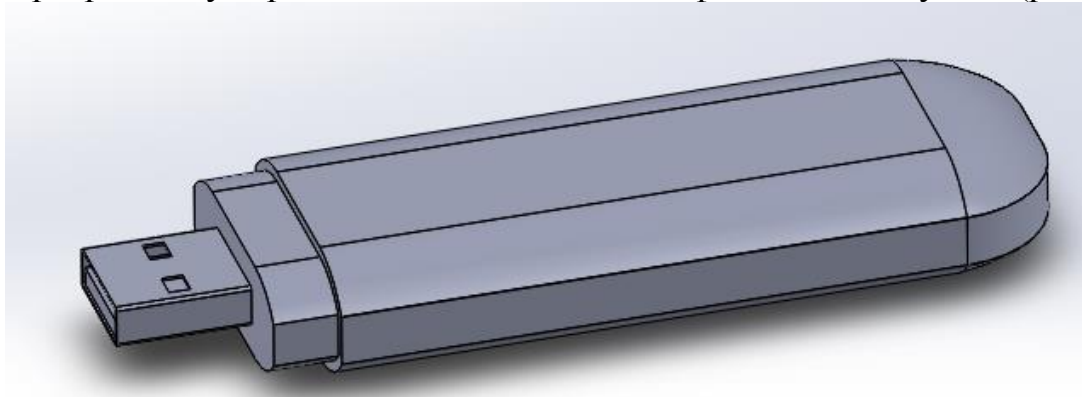


Рис.1. 3D-модель USB флеш накопичувача

Параметризовані моделі будуються з набору математичних рівнянь. Це можуть бути стандартні рівняння, знайдені в довідниках, нові рівняння, розроблені консультантами чи постачальниками, або їх комбінація. Для створення параметризованої моделі у програмі потрібно задати необхідні змінні для подальшого використання у формулах [2]. При створенні розміру йому присвоюється унікальна назва, як показано на рис.2.

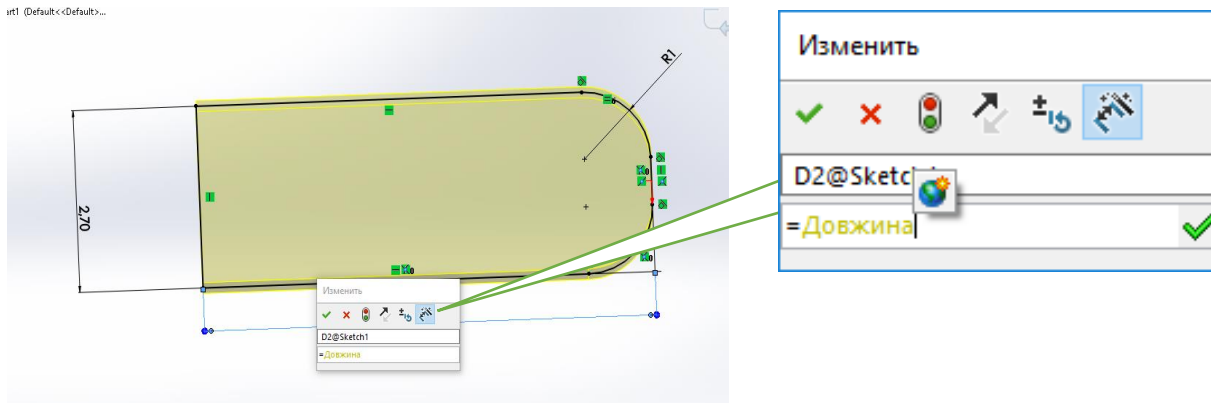


Рис.2. Створення змінних для параметризації

Після створення всіх необхідних змінних, їх можна побачити, викликавши вікно “Рівняння, глобальні змінні та розміри” (рис.3). У даному вікні вже попередньо створено рівняння, які відповідають за взаємозв’язок розмірів. Якщо не всі розміри будуть параметризовані це призведе до помилки і модель не можливо буде перебудувати або вона матиме неправильну і спотворену форму.

Уравнения, глобальные переменные и размеры

Отфильтровать все поля

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
<b>Глобальные переменные</b>			
"Довжина"	= 5.8	5.8	
"Радіус"	= 1	1	
"Ширина"	= 2.7	2.7	
"Радіус1"	= 0.75	0.75	
"Товщина"	= 1	1	
"Товщина1"	= "Товщина" / 2	0.5	
"Товщина2"	= "Товщина" / 3	0.333333	
<i>Добавить глобальную переменную</i>			
<b>Элементы</b>			
<i>Добавить погашение элемента</i>			
<b>Уравнения</b>			
"D2@Sketch1"	= "Довжина"	5.8см	
"D3@Sketch1"	= "Радіус"	1см	
"D1@Sketch1"	= "Ширина"	2.7см	
"D1@Boss-Extrude2"	= "Довжина"	5.8см	
"D2@Sketch2"	= "Ширина" / 2	1.35см	
"D1@Sketch4"	= "Радіус1"	0.75см	
"D1@Sketch5"	= "Радіус1"	0.75см	
"D1@Boss-Extrude1"	= "Товщина1"	0.5см	
"D3@Sketch2"	= "Товщина2"	0.33см	

Перестраивать автоматически  
 Связь с внешним файлом:

Угловые единицы: 
 Автоматический порядок решения

OK  
 Отмена  
 Импорт...  
 Экспорт...  
 Справка

Рис.3. Вікно роботи зі змінними



Отже, прописавши всі необхідні рівняння, можна за допомогою параметризації виробу змінити дизайн, змінивши значення геометричних розмірів, і автоматично оновити розміри деталі, на які впливає зміна, а отже, і всю складальну одиницю чи виріб в цілому [3]. Наприклад, ширина, довжина або товщина корпусу моделі визначаються як глобальні змінні. Коли одній з представлених змінних надають нове значення, то, як показано на рис.4, корпус змінюється і у той же час зміна поширюється на інші частини в моделі.

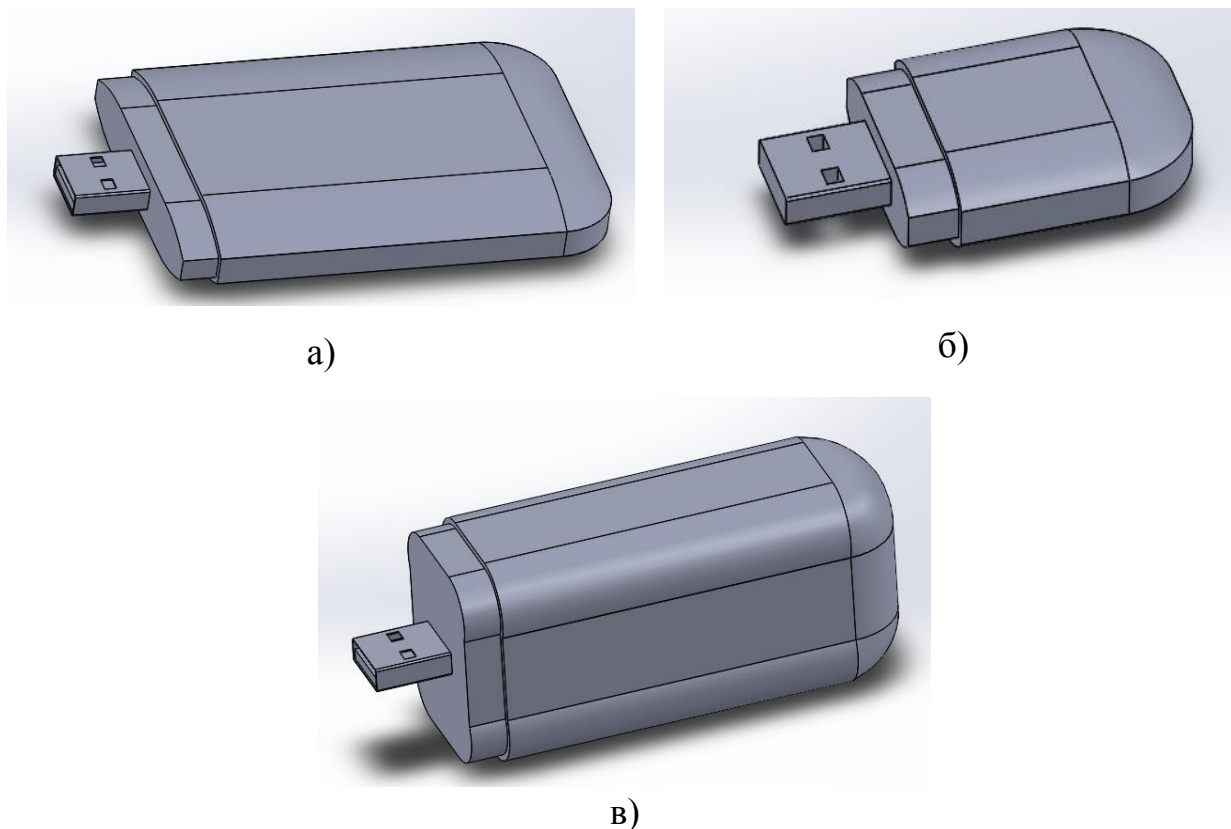


Рис.4. Варіації зміни моделі: а) Змінене значення ширини; б) Змінене значення довжини; в) Змінене значення товщини.

Що ще важливіше, модель залишаються цілою, підтримуючи адекватні обмеження для всіх її частин. За допомогою таких параметричних моделей конструкторам надається величезна свобода ефективно та точно досліджувати альтернативи дизайну.

## **ВИСНОВКИ**

У даній роботі розглянуто використання параметризації для створення 3D-моделі у САПР SolidWorks. Використання параметрів допомагає виконувати операції над моделлю в декілька разів швидше, так як достатньо змінити одне значення параметру і ті розміри, що пов'язані з ним зміняться автоматично, але в такому випадку не можна змінювати розміри частин деталі, габарити яких стандартизовані, як приклад, у електронному носії ми не можемо змінити габарити USB-роз'єму [4]. Гарною можливістю є те, що зі значенням параметру

(або з деякою їх кількістю) можна скласти рівняння, що перебудує модель, в гіршому випадку, за декілька хвилин.

Отже, з використанням параметризації конструктор в змозі швидко створити різні альтернативи моделі, що значно скорочує час на конструкторську підготовку та пошук прийнятного рішення, а також збільшує гнучкість проектувальника до змін у вимогах до геометричної моделі проектованого виробу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Randy Shih, Parametric Modeling with Creo Parametric 3.0”, SDC Publications, 2014, - p. 517.
- [2] Michael Alba, What’s the Difference Between Parametric and Direct Modeling?, <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/16587/Whats-the-Difference-Between-Parametric-and-Direct-Modeling.aspx>, 06.03.2018.
- [3] Хейфец А.Л. 3D модели и алгоритмы компьютерной параметризации при решении задач конструктивной геометрии (на некоторых исторических примерах) // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2016. — Т.2, № 16. — С. 22-42.
- [4] Иванов А.В. Параметризация геометрических моделей / Иванов А.В., Гладилин А.В. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс — 2015. — Т.2, № 2. — С. 22-29.

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



УДК 681.3

Я.О. Рижук, студент гр. ПБ-81мп, доц. Стельмах Н.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація.** В роботі розглянуто питання розробки програмного забезпечення для розрахунку вартості та часу виготовлення деталей, в залежності від типу виробництва і спроектованого варіанту технологічного процесу.

**Ключові слова:** собівартість виготовлення, час виготовлення, оптимальний технологічний процес.

### ВСТУП

Собівартість продукції – це грошовий вираз затрат підприємства на виробництво і реалізацію продукції, яка характеризує ефективність всього процесу виробництва на підприємстві, оскільки у ній відображаються: рівень організації виробничого процесу; технічний рівень; продуктивність праці та інші важливі фактори.[1]

Собівартість продукції як показник використовується для контролю за використанням ресурсів виробництва, визначення економічної ефективності організаційно-технічних заходів, встановлення цін на продукцію. Тому швидкий та правильний розрахунок собівартості деталі, та часу її виготовлення, є важливим елементом технологічної підготовки виробничого процесу. Також необхідно обрати оптимальний варіант технологічного процесу в залежності від вартості виготовлення і часу виробництва. [2]

Для автоматизації розрахунку вартості і часу виготовлення деталей в роботі було розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке має назву «AUTO PRICE».

### ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

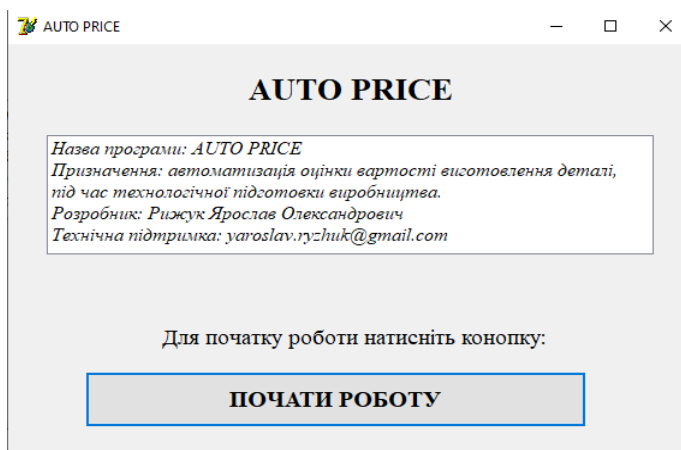


Рисунок 1. Стартове вікно програми

Головна сторінка програмного забезпечення «AUTO PRICE» рис. 1. представляє собою інформацію про назву програми її призначення, розробника та електронну адресу технічної підтримки.

Для демонстрації можливостей програмного забезпечення було обрано деталь типу – корпус шасі, яку показано на рис.2.

Розробка програмного забезпечення виконувалася на мові програмування Delphi. Delphi — це інтегроване середовище швидкої розробки програмного забезпечення. Середовище Embarcadero Delphi працює під Microsoft Windows і підтримує розробку програмного забезпечення для операційних систем Microsoft Windows x86 та x64, Mac OS x86, Apple iOS та Android.[3]

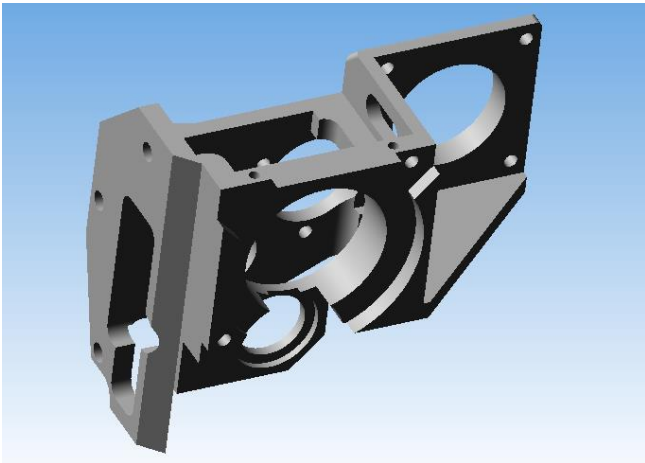


Рисунок 2. Приклад деталі для розрахунку вартості та часу виготовлення

На рис.3 зображено вікно розрахунку технологічних процесів, де вказано початкові дані та тех. процес для обробки деталі.

Для того, щоб внести початкові дані в програму нам необхідно відкрити текстовий файл «Початкові дані.dat», який знаходиться в папці з програмою та внести необхідні дані для розрахунку. Це програмне рішення було зроблено з метою скорочення часу при повторному розрахунку даного ТП, так як файл з даними можна використовувати

необмежену кількість разів і не потрібно кожного разу заново вводити початкові дані.

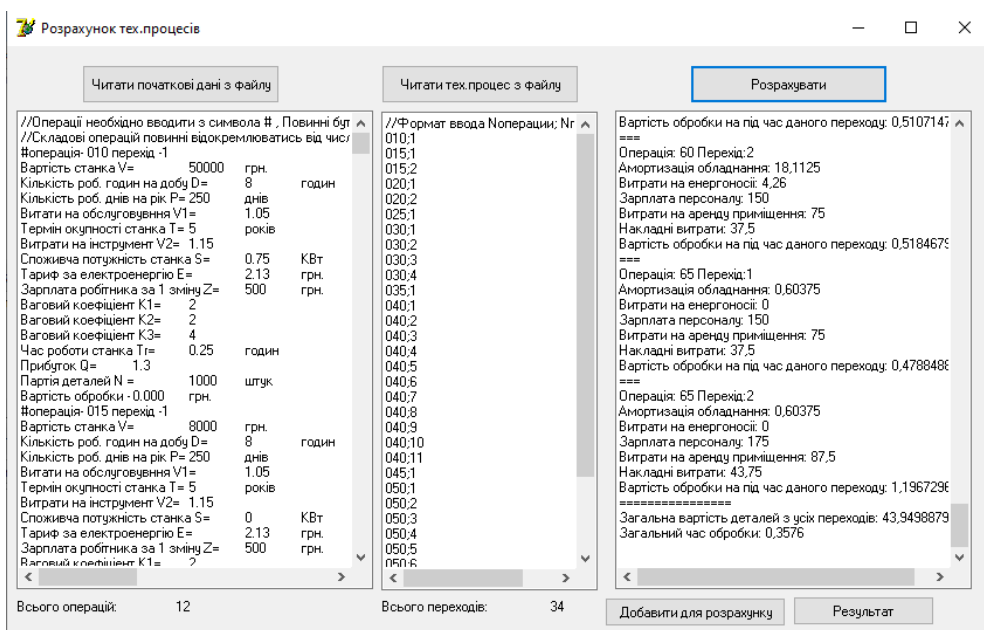


Рисунок 3. Розрахунок вартості виготовлення деталі в залежності від технологічного процесу та початкових даних

Також необхідною умовою роботи програми є правильно записаний технологічний процес, який знаходиться у текстовому файлі «Тех. процес».

Після того як початкові дані та ТП записані у файли необхідно у програмі натиснути, спочатку, кнопку «Читати початкові дані з файлу» для завантаження файлу в програму, а потім «Читати тех. Процес з файлу» для завантаження ТП. Тоді автоматично буде пораховано кількість операцій і кількість переходів у ТП, після чого ми можемо натиснути на кнопку «Розрахувати» для виконання розрахунку вартості виготовлення ТП.

Для розрахунку вартості виготовлення деталі, використовуються різні параметри, а саме:

- Витрати на амортизацію обладнання;

- Енергетичні витрати;
- Витрати на оплату праці;
- Витрати на оренду/амортизацію приміщення;
- Накладні витрати.

Натиснувши на кнопку «Добавити для розрахунку» програма запам'ятає результат розрахунку даного ТП, а саме вартість та час виготовлення, і ми зможемо завантажити інший ТП для розрахунку, та їх порівняння в подальшому.

Добавивши таким чином необхідну кількість ТП для порівняння, (програмою передбачено порівняння до 10-ти ТП одночасно) необхідно натиснути кнопку «Результат» для оптимального вибору ТП. Вікно з порівнянням різних ТП зображено на рис.4.

Технологічний процес	Вартість виготовлення (в гривнях)	Час виготовлення (в годинах)
Технологічний процес №1	70,765	0,421
Технологічний процес №2	68,353	0,401
Технологічний процес №3	58,247	0,388
Технологічний процес №4	61,054	0,368
Технологічний процес №5	50,165	0,523
Технологічний процес №6	48,151	0,620
Експертна оцінка	60%	40%

Визначити оптимальне рішення

Оптимальний технологічний процес для партії деталей 1000 штук: № 6 (Великосерійний тип)

Рисунок 4. Аналіз результатів розрахунку вартості та часу виготовлення деталі

Як бачимо з рисунка 4, було порівняно 6 різних технологічних процесів, та визначено для кожного вартість та час виготовлення. Далі необхідно ввести в програму експертну оцінку, для визначення коефіцієнтів вагомості різних параметрів. У ролі експерта, як правило, виступає замовник.

Натиснувши кнопку «визначити оптимальне рішення», ми отримаємо результат порівняння де вказано, який варіант оптимальний, для даної партії деталей.

## ВИСНОВКИ

В даній статті, на прикладі конкретної деталі, продемонстровано можливості програмного забезпечення для розрахунку вартості деталі, в залежності від типу виробництва і технологічного процесу. Вибрано оптимальне рішення, враховуючи вартість та час виготовлення, зважаючи на ваговий коефіцієнт який було обрано за допомогою експертної оцінки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Собівартість продукції. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Собівартість\\_продукції](https://uk.wikipedia.org/wiki/Собівартість_продукції) – 07.10.2019 р.
- [2] Рахуємо собівартість продукції. Режим доступу: <https://buduysvoe.com/publications/rahuemo-sobivartist-produkciyi> – 20.11.2019 р.
- [3] Embarcadero Delphi. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Embarcadero\\_Delphi](https://uk.wikipedia.org/wiki/Embarcadero_Delphi) – 23.09.2019 р.

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

УДК 681.2.082

*Сичевський В.С., студент групи ПБ-81мп.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ

**Анотація.** Описано задачі, що вирішує процес контролю шорсткості деталі в умовах виробництва. Наведено основні параметри, які визначає шорсткість поверхні деталі виробу. Наведено графічне відображення схеми класифікації методів контролю шорсткості поверхні деталей виробів. Методи класифікують на контактні та безконтактні. Розглянуто методи контролю шорсткості поверхні деталей виробів та названо основні завдання, які вони вирішують при контролі шорсткості поверхні. Розглянуто ефективність кожного з методів контролю шорсткості поверхні деталей з вказанням їх доцільності для конкретного випадку використання в процесі технологічного процесу виготовлення виробу. Проаналізовано проблеми контролю шорсткості поверхні та наведено шляхи для їх вирішення. За результатами проведеного аналізу методів контролю шорсткості поверхні деталей виробів було зроблено висновки.

**Ключові слова:** Шорсткість поверхні, методи контролю, мікронерівність, вимірювання.

### ВСТУП

Розробка сучасних високотехнологічних виробів, матеріалів і режимів їх обробки потребують ефективних методів контролю основних показників якості виробів безпосередньо в процесі виготовлення. Поява нових технологій вимагає удосконалення методів контролю шорсткості поверхонь, що є актуальною проблемою приладобудівної галузі.

Шорсткість поверхні – сукупність мікронерівностей профілю, що є важливим показником технологічного виробу [1].

Контроль шорсткості поверхні дозволяє вирішувати наступні задачі :

- забезпечення технічних характеристик виробу;
- досягнення точності виготовлення виробу;
- відповідність експлуатаційних властивостей виробу.

Шорсткість поверхні деталі визначає герметичність, корозійну стійкість, характеристики зносу, теплові, гідродинамічні, радіаційні, магнітоелектричні та оптичні властивості поверхні, а також якість матеріалу і виробу в цілому.

Основні тенденції сучасних наукових та інженерних розробок методів і засобів контролю шорсткості поверхні включають в себе атомно-силову мікроскопію, контактну профілометрію, оптичні методи мікроінтерферометрії і засоби рефлектометрії [2,3].

На основі цих розробок вдосконалюються існуючі методи контролю шорсткості поверхні деталей та приладів. Проводиться пошук найкращого методу для встановлення максимально точного значення шорсткості поверхні для різних типів поверхонь та деталей з різних матеріалів та різною геометрією профілю.

В загальному випадку, всі методи контролю шорсткості поверхні поділяються на контактні і безконтактні (на Рис. 1 показано класифікацію методів контролю шорсткості поверхні). Контактні методи поділяються на щупові та зліпкові методи. А безконтактні на інтерференційний, світлового перетину, тіньової проекції, растровий, рефлектометричний методи [2].

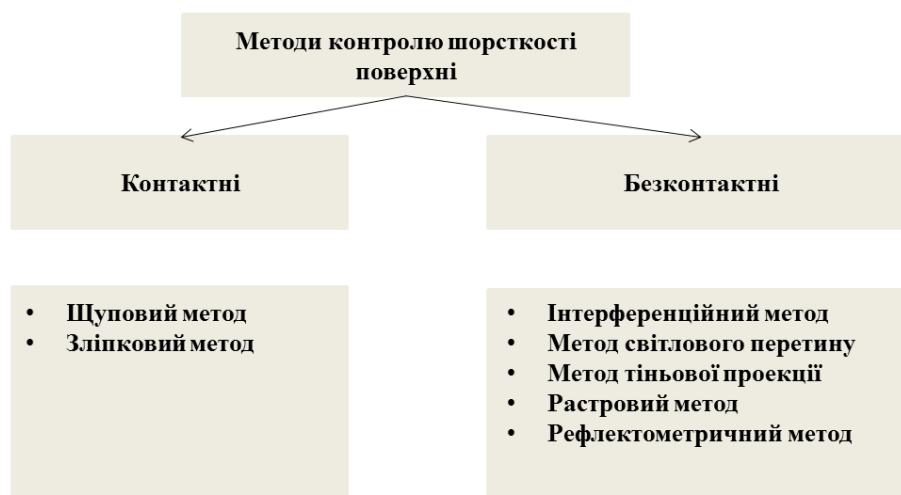


Рисунок 1. Методи контролю шорсткості поверхні

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ

Контактні профілометри, що використовують в якості датчика щуп, є чутливими до вібрацій, не дозволяють проконтролювати поверхні м'яких матеріалів (алюмінієві, мідні, срібні поверхні і т.д.), не можуть бути застосовані для проведення дистанційних вимірювань. Проблемою для цих приладів є контроль складних і важкодоступних поверхонь (вузькі і глибокі канавки) [3].

Метод зліпків являє собою процес зняття копій поверхні за допомогою воску, парафіну або гіпсу, а також подальше їх вивчення іншим методом. Метод є доцільним в умовах контролю складних поверхонь [3].

Інтерференційний метод реалізується за допомогою спеціалізованого вимірювального приладу, що складається з вимірювального мікроскопа та інтерферометра. Використовуючи інтерферометр, отримують інтерференційну картину поверхні досліджуваного об'єкта з викривленнями смуг в місцях нерівностей. Параметри шорсткості вимірюють за допомогою мікроскопа [3].

Метод світлового перетину зводиться до того, що: світловий потік від джерела світла, проходячи крізь вузьку щілину, перетворюється в тонкий, вузький пучок. Потім, за допомогою об'єктива, він направляється на досліджувану поверхню під певним кутом. Відбиваючись, промінь знову проходить через об'єктив і формує зображення щілини в окулярі. При цьому, абсолютно рівна поверхня матиме ідеально прямий світловий пучок (лінію), а шорстка поверхня – викривлений [3].

Метод тіньової проекції. Полягає у тому, що: недалеко від досліджуваної поверхні пристосовується лінійка зі скошеним ребром. Пучок світла долає ту саму відстань, проте, ніби ножем, зрізується ребром лінійки. При цьому, на вимірюваній поверхні можна спостерігати тінь, верхня частина якої в точності повторює досліджуваний профіль. За допомогою мікроскопа, таке зображення розглядають, аналізують і роблять висновки про параметри і характер шорсткості. Цей метод, як і метод світлового перетину, є найчастіше використовуваним в умовах технологічного виробництва [3].

Растровий метод. На досліджувану поверхню встановлюється скляна пластинка, з нанесеною на неї растровою сіткою (системою рівновіддалених паралельних ліній), з маленьким кроком. Потім, на пластинку подаються світлові промені під нахилом. При падінні світлових променів під нахилом в місцях мікроскопічних нерівностей, штрихи відображеної растрової сітки накладаються на штрихи реально намальованою сітки, в результаті чого виникають муарові смуги, які і свідчать про наявність виступів або западин на поверхні досліджуваного об'єкта. За допомогою растрового мікроскопа і визначають параметри нерівності [3].

Рефлектометричний метод ґрунтується на вимірі характеристик відбитого від досліджуваної поверхні світлового потоку, а вимірювальні прилади, які використовуються для цих цілей, називаються рефлектометри. По відношенню до атомно-силової мікроскопії, контактної профілометрії і оптичної мікроінтерферометрії, рефлектометричні методи практично не мають обмежень на відстань до контрольованої поверхні і мають низьку чутливість до вібрацій. Простота технічної реалізації методу дозволяє забезпечити малі габарити, зручність і надійність експлуатації, можливість контролю шорсткості поверхні з м'яких матеріалів і складного профілю, в тому числі у важкодоступних місцях, інтеграцію в автоматизовані технологічні комплекси, що дозволяє збільшити технологічність процесу контролю шорсткості поверхні деталей [4].

## **ВИСНОВКИ**

Розглянуто методи контролю шорсткості поверхні деталей, вказано їх принцип роботи та зазначено доцільність використання для певної задачі.

У даній роботі проведено аналіз основних проблем контролю шорсткості поверхні деталей.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А., Клочко Т.Р. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей: Монографія.– К.: НТУУ "КПІ", 2011. - 516 с., іл.
- [2] Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О., Тимчик Г.С. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології: Підручник. - м. Житомир: ЖДТУ, 2011.-876 с.
- [3] Ostafiev V.A., Sakhno S.P., Ostafiev S.V., Tymchik G.S. Laser diffraction method of surface roughness measurement.- Journal of Materials Processing Technology, 1997, N63, pp.871-874.
- [4] Цуканова Г. И. Геометрическая оптика / Г. И. Цуканова, Г. В. Карпова, О. В. Багдасарова. – Санкт-Петербург: Прикладная оптика, 2002. – 135 с.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.*

УДК 621.914

Смольніков Д.Р., магістрант, гр.ПБ-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОГО ПРОФІЛЮ НА ОБРОБЛЮЮЧИХ ЦЕНТРАХ**

**Анотація.** В роботі розглянуто методи підвищення точності виготовлення деталей, які в своєму складі мають поверхні складного профілю. Наведено методи підвищення точності виготовлення деталей складного профілю. Розглянуто типи траєкторій руху різального інструменту при обробці поверхонь складного профілю, наведено переваги та недоліки розглянутих методів, приведені рекомендації щодо використання комбінованих траєкторій руху при обробці поверхонь складного профілю.

**Ключові слова:** поверхні складного профілю, механічна обробка, точність.

### **ВСТУП**

Підвищення вимог до точності та якості обробки виробів, а також зменшення собівартості їх виготовлення, призводить до необхідності автоматизації процесів їх виготовлення

Виготовлення складнопрофільних деталей є одним з найбільш трудомістких й вартісних етапів механооброблюючого виробництва. Крім цього, зі збільшенням різноманітності форм деталей, підвищуються і вимоги, що пред'являються до точності їх виготовлення і профілю поверхні. Для досягнення високої якості та точності поверхонь застосовують механічну обробку.

Основним засобом автоматизації механічної обробки є оброблюючі центри з ЧПК (числовим програмним керуванням). Підвищення ефективності використання такого обладнання може бути досягнуто за рахунок підвищення точності фрезерування, що дає можливість, з одного боку, зменшити кількість переходів при машинній обробці поверхонь, а з іншого - зменшити шар металу, що знімається при подальшій слюсарній обробці, в результаті чого може бути знижена сумарна трудомісткість виготовлення деталі тощо.

### **МЕТА РОБОТИ**

Визначення методів забезпечення точності механічної обробки поверхонь складного профілю на оброблюючих центрах.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Точність – комплексне поняття, що включає оцінку відповідності реальної деталі по відношенню до деталі, що задана кресленням і технічними умовами виготовлення, тобто відповідність форми, розмірів, взаємного розташування оброблених поверхонь, шорсткості поверхні обробленої деталі. [1].

Один із методів управління точністю полягає в компенсації коливань пружних відтискань інструменту та деталі шляхом внесення поправок в розмір статичного налаштування [1]. Цей спосіб мало прийнятний для такого складного процесу як об'ємне фрезерування, так як при механічній обробці різанням поверхні складного профілю через змінності величини напрямки і пружних відтискань необхідно було б вносити на окремих ділянках поверхні різні поправки. Це значно ускладнює трудомісткий процес підготовки керуючої



програми, так як виникає необхідність коригування статичного налаштування розрахунку спотворень траєкторії для кожної окремої ділянки.

Інший метод полягає в безпосередній стабілізації динамічних похибок [1]. З метою керування точністю обробки для прямої стабілізації пружних переміщень використовують зміну жорсткості технологічної системи, зміну геометрії зони різання, зміну одного або декількох параметрів режиму різання, комбіноване використання перерахованих способів.

Одним з найбільш прогресивних способів забезпечення точності оброблюваних поверхонь на оброблюючих центрах з ЧПК є вибір оптимальної стратегії обробки [2]. Цей підхід пов'язаний з найменшими витратами, оскільки реалізується повністю програмними засобами, не вимагаючи конструктивних змін або модернізації устаткування, а також є найбільш гнучким, оскільки простий в реалізації за допомогою САМ систем.

На сьогодні є безліч систем автоматизованого проектування з можливістю постпроцесування технологічної інформації в керуючу програму. До того ж існує досить велика різноманітність стратегій обробки поданих в САМ системах, але критерії вибору, засновані на досвіді технолога-програміста, не дозволяють дати однозначну оцінку щодо вибору оптимального варіанта обробки.

Обробку поверхонь складного профілю на технологічному обладнанні з ЧПК виконують при різному поєднанні і послідовності виконання переходів з використанням керуючої програми [3, 5].

Кожна система з числовим програмним керуванням унікальна і має власний синтаксис керуючої програми. Тому процес підготовки програм для багатокоординатної обробки є досить складним. Найбільш зручним і широко поширеним методом розробки керуючих програм, є автоматизований метод із застосуванням САД/САМ систем. Застосування даного методу дозволяє задавати технологічні параметри обробки, створювати траєкторії руху інструменту, генерувати керуючу програму в кодах конкретного верстата.

САМ-системи дозволяють розрахувати траєкторії руху інструменту при обробці окремих ділянок поверхні різними схемами. Розглянемо деякі з них та визначимо їх особливості.

Схема зняття припуску зигзаг характеризується послідовним переміщенням уздовж паралельних рядів з подачею протилежного напрямку [4]. Недоліком цієї схеми є той факт, що на кожному суміжному ряду відбувається зміна характеру роботи фрези з попутного фрезерування на зустрічну або навпаки. Це призводить до постійної зміни характеру зняття матеріалу, нерівномірного характеру роботи фрези та підвищення зносу інструменту.

Зняття припуску по спіралі або еквідистанті застосовують при обробці заглиблень. При цих схемах здійснюється обробка контуру поверхні з періодичним поглибленням. Обхід контуру проводиться з однаковим напрямком робочої подачі [4]. Недоліками даної схеми є складність обробки поверхонь, що знаходяться під гострим кутом до нормального вектору обробки.



Це призводить до підвищених пружних деформацій ріжучого інструменту, а саме відгибання фрези.

При обробці за схемою зняття припуску петля, після проходу вздовж кожного ряду фреза піднімається на безпечну відстань і на прискореній подачі переміщається в початкову точку нового ряду. Відповідно до даної схеми, на всіх рядах має місце однаковий напрямок робочої подачі [4]. Даний факт є перевагою зазначеної схеми. Недоліком схеми, можна виділити підвищене число допоміжних ходів, що призводить до зниження продуктивності.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, можна зробити висновок, що використання комбінованих траєкторій руху інструменту на різних ділянках обробки з урахуванням всіх переваг та недоліків існуючих схем обробки, дозволить значно підвищити точність оброблюваних деталей, підвищити ефективність застосування програмних методів проектування та ефективність використання ріжучого інструменту.

## **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. и др. Исследование точности технологического процесса обработки типовых микромеханических компонентов //Високоєфективні технологічні процеси в приладобудуванні. – С. 83.

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

УДК 621.914:004.94

*О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-61, к.т.н, доц. Вислоух С.П.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЖАРОСТІЙКОЇ СТАЛІ ЗАСОБАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

*Анотація.* В статті розглядаються питання дослідження оброблюваності легованих сталей при їх механічній обробці. Наведено результати торцевого фрезерування жаростійкої сталі при різних режимах різання. Засобами пакету MatLab створено штучну нейронну мережу, що моделює досліджуваний процес. Вибрано ефективний метод навчання мережі і надано результати прогнозування потужності обробки при різних режимах різання.

**Ключові слова:** конструкційні матеріали, процес фрезерування, моделювання, штучні нейронні мережі, пакет MatLab.

### **ВСТУП**

В сучасному приладобудуванні для виготовлення деталей широко використовуються сталі та сплави з високими показниками твердості, жароміцності, жаростійкості, а також стійкості проти корозії. Жаростійкі сталі та сплави відносяться до важкооброблюваних матеріалів. Вони значно гірше піддаються обробці різанням в порівнянні з іншими конструкційними сталями. Низька оброблюваність даних матеріалів визначається їх фізико-механічними властивостями. Головна структура більшості жаростійких сталей зазвичай є твердим розчином аустенітного класу з гранецентрованою кубічною решіткою. Висока дисперсність структури деяких жаростійких перешкоджає утворенню та розвитку процесів ковзання, при цьому опір повзучості сплаву підвищується [1].

Основними особливостями процесу обробки жаростійких сталей та сплавів є високе зміцнення матеріалу в процесі деформації різанням; мала теплопровідність оброблюваного матеріалу, що призводить до підвищеної температури в зоні контакту, а як наслідок, до активації явищ дифузії та адгезії, інтенсивному зносу ріжучої частини інструменту; здатність зберігати вихідну міцність та твердість при підвищених температурах, що призводить до високих граничних навантажень на контактні поверхні інструменту в процесі різання; знижена вібростійкість руху різання, що обумовлено високою зміцнюваністю жароміцних матеріалів за нерівномірного протікання процесу їх пластичної деформації [1].

Тому поставлена задача виконати дослідження оброблюваності жаростійкої сталі фрезеруванням за різних режимів різання.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для реалізації поставленої задачі проведено експериментальне визначення потужності, що витрачається на фрезерування площинних поверхонь торцевими фрезами різних діаметрів заготовок зі жаростійкої сталі 10X11H20T3P. В таблицях 1, 2 та 3 наведено хімічний склад фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу [2].

Експериментальні дослідження виконувались на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6M11B торцевими фрезами, що виготовлені з швидкорізальної

сталі Р6М5К5 з охолодженням емульсією. При цьому використано фрези діаметрів 80 мм, 125 мм, 160 мм та 200 мм.

Таблиця 1. Хімічний склад сталі 10X11H20T3P.

Вуглець C	Крем- ній Si	Марга- нець Mn	Хром Cr	Нікель Ni	Титан Ti	Алю- міній Al	Сірка S	Фосфор P
≤0,10%	≤1,0%	≤1,0%	11,0%	20,0%	3,0%	≤0,80%	≤0,02%	≤0,025%

Таблиця 2. Механічні властивості сталі 10X11H20T3P при T=20°C.

Сортамент	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термо-обробка
Лист холоднокатан.	600		40			Загартування 1100°C, повітря
Пруток, ГОСТ5949-75	800	590	10	15	290	Загартування і старіння

Таблиця 3. Фізичні властивості сталі 10X11H20T3P при T=20°C.

$E \cdot 10^{-5}$ , МПа	$\alpha \cdot 10^6$ , 1/Град	$\lambda$ , Вт/(м*град)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1,6	-	15,2	7900

При фрезеруванні глибина різання  $t$  змінювалась в межах від 1 до 3 мм, подача  $s$  – від 75 до 150 мм/хв., а швидкість різання  $V$  від 19,0 до 41,5 мм/хв.

В результаті проведених досліджень встановлено, що потужність приводу верстату змінювалась в межах від 0,40 до 4,01 кВт в залежності від режимів різання та діаметра фрези.

Моделювання процесу торцевого фрезерування за результатами проведених експериментальних досліджень виконувалось з метою прогнозування потужності різання при різних умовах обробки.

В [3] встановлено, що використання штучних нейронних мереж є ефективним засобом моделювання технологічних параметрів.

Для прогнозування потужності процесу фрезерування в даній роботі застосовано інструменти програми MatLab, а саме: модуль Neural Network Toolbox. Вбудовані штучні нейронні мережі пакету MatLab дозволили навчити та використати вже існуючу нейронну мережу. Дана програма містить три алгоритми для навчання: алгоритм зворотного розповсюдження Левенберга-Марквардта (Levenberg-Marquardt); алгоритм маштабуємих спряжених градієнтів (Scaled Conjugate Gradient); алгоритм байесової регуляризації (Bayesian Regularization). Порівняємо дані алгоритми застосувавши їх на практиці для вирішення поставленої задачі.

В дослідженнях використано багатошарові мережі передачі вперед із сигмоподібними нейронами та лінійними вихідними нейронами. Тренування проходило на 70% даних, перевірка – на 15%, тестування також на 15%. Кількість прихованих шарів – 40. Нейронна мережа навчалася на 32 вимірах, в

які входять діаметр та ширина фрези, глибина фрезерування, подача, швидкість та потужність фрезерування.

На рисунках 1, 2 і 3 наведено результати навчання штучної нейронної мережі за різними алгоритмами навчання.

Встановлено, що тестування нейронних мереж при використанні різних алгоритмів на однакових даних дало різні значення та діапазон можливих похибок. Найбільш точним виявився алгоритм Bayesian Regularization, що має суттєвий вплив при вирішенні задач. Похибка даного алгоритму варіює в межах від -0,028 до 0,026.

Виконано прогнозування потужності процесу фрезерування за різними режимами різання за допомогою створеної штучної нейронної мережі, результати якого наведено в таблиці 4.

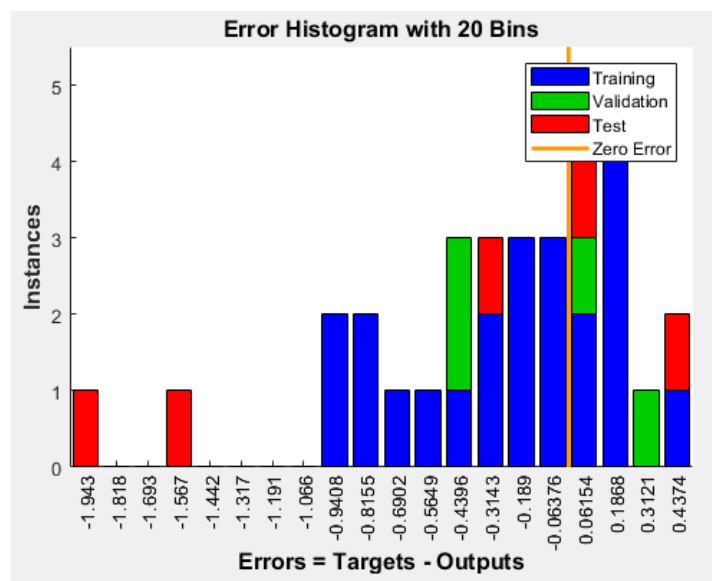


Рис. 1. Гістограма розкиду похибок навчання за алгоритмом Scaled Conjugate Gradient.

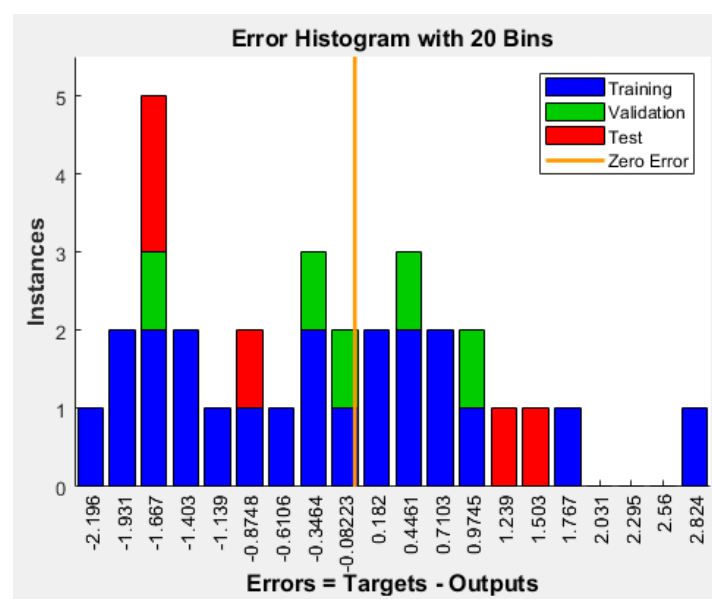


Рис. 2. Гістограма розкиду похибок навчання за алгоритмом Levenberg-Marquardt.

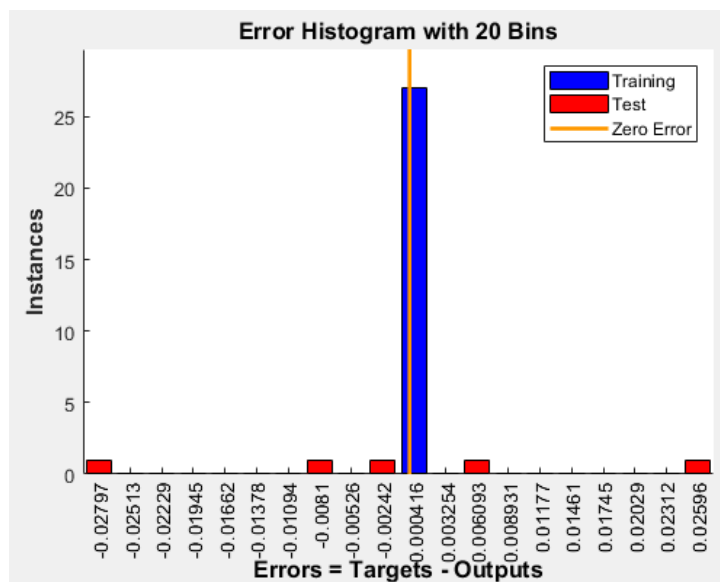


Рис. 3. Гістограма розкиду похибок навчання за алгоритмом Bayesian Regularization.

Таблиця 4. Результати прогнозування потужності процесу фрезерування.

<i>D</i> , мм	<i>B</i> , мм	<i>t</i> , мм	<i>S</i> , мм/хв.	<i>V</i> , м/хв.	<i>N</i> , кВт
160	100	3	115	21	3,4200
80	55	2	165	27,5	1,6300
200	100	3	135	23,3	3,4910
150	60	2,3	75	21	2,1742
160	80	3	150	40	1,5506

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили створити штучну нейронну мережу, що моделює процес торцевого фрезерування жаростійкої сталі. Встановлено, що ефективним інструментарієм для моделювання є використання модуля Neural Network Toolbox пакету MatLab. Для навчання нейронної мережі при моделюванні процесу фрезерування жаростійкої сталі доцільно застосовувати алгоритм байєсової регуляризації (Bayesian Regularization).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Исследование обрабатываемости резанием нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов / ДонНТУ – Режим доступа: [www.URL:http://masters.donntu.org/2005/mech/tkach/diss/index.htm](http://masters.donntu.org/2005/mech/tkach/diss/index.htm) – 19.04.2005
- [2] Марочник стали и сплавов – Режим доступа: [www.URL:http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=24](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=24).
- [3] Соколова О. А. Моделирование периода стойкости твердосплавных резцов при обработке титановых сплавов. / О.А. Соколова, С.П. Вислоух // Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю “ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ВЕРСТАТИ ТА ІНСТРУМЕНТ”, 6-9 листопада 2019 р. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка». – 2019. – С. 181-182.

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

УДК 519.682:621.7

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

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИЛАДОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

*Анотація.* В статті розглядається питання використання імітаційного моделювання при розв'язанні задач проектування технологічних процесів складання. Встановлено, що афективним засобом імітаційного моделювання є система AnyLogic. Наведено особливості використання AnyLogic для імітаційного моделювання технологічних процесів. Надано приклад моделювання технологічного процесу складання редуктора засобами системи AnyLogic.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, виробнича система, система AnyLogic, складання редуктора.

### **ВСТУП**

Моделювання є методом вирішення завдань, при якому досліджувана система (процес, явище) замінюється більш простим об'єктом, що описує реальну систему його моделлю [1].

Моделювання передбачає створення моделі об'єкта та подальше її дослідження з метою визначити поведінку системи, перевірити, як вона поводить себе при певних умовах, порівнювати різні сценарії і оптимізувати її. Після знаходження оптимального варіанта вирішення системи (процесу, явища) її можна запускати в виробництво.

Імітаційна модель – це комп'ютерна програма, яка описує конструкцію і відтворює поведінку реальної системи протягом визначеного часу. Імітаційна модель дозволяє отримувати розширену статистичну інформацію про роботу системи, що обумовлено різними вхідними даними.

Імітаційний підхід моделювання застосовують якщо досліджувана система (процес) характеризується великою кількістю параметрів, залежності, якими вона описується процес, є нелінійними і система має якісно різні стани (безперервні процеси перериваються дискретними переходами), траєкторію в часі (об'єкт еволюціонує), визначається імовірнісною поведінкою і зворотними зв'язками [2].

Бувають випадки, коли неприпустимо або безглуздо проводити експеримент над реальною моделлю в силу крихкості, або дорожнечі створення прототипу, або довгого часу проведення експерименту. Саме в таких ситуаціях доцільне застосування імітаційного моделювання [3].

З метою реалізації методів імітаційного моделювання, створення методики використання системи, поставлена задача вибору системи для створення імітаційної моделі технологічного процесу складання редуктора. Для вирішення цієї задачі була запропоновано використовувати систему імітаційного моделювання AnyLogic.

### **СИСТЕМА ANYLOGIC. МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ**

За допомогою системи AnyLogic є можливість оптимізувати та побудувати моделі діляниць виготовлення деталей та ліній складання складних виробів шляхом імітації всіх елементів технологічних процесів ще до початку запуску їх реального виробництва.

Перевагами програмного засобу AnyLogic є те, що це середовище моделювання підтримує проектування, розробку та документування моделі, дозволяє виконати комп'ютерні експерименти з моделлю, включаючи різні види аналізу – від аналізу чутливості параметрів моделі до їх оптимізації щодо вибраного критерію. Даний програмний продукт має можливість створювати моделі за допомогою всіх трьох сучасних підходів: дискретно-подієвого, агентного та системної динаміки [3].

Найчастіше вирішення проблем не можна знайти шляхом проведення натурних експериментів: будувати нові об'єкти, руйнувати або вносити зміни в уже наявну інфраструктуру може бути занадто дорого, небезпечно або просто неможливо. На сьогодні питання економії часу та коштів при збереженні якості відтворення певного процесу (системи) є надзвичайно актуальним [4].

Гнучкість AnyLogic дозволяє відобразити динаміку складних і різномірних економічних і соціальних систем на будь-якому бажаному рівні абстракції [5].

Використання засобів системи AnyLogic для імітаційного моделювання має такі переваги [6]:

- швидкість і економія. Імітаційні моделі дозволяють в стислі терміни відпрацювати різні варіанти роботи систем і значно заощадити на експериментах з реальними активами;

- точність. Можна задавати максимальний рівень детальності, наближаючи імітаційну модель до реальних процесів та отримувати точні прогнози для прийняття рішення;

- Безпека. Є можливість аналізу різних сценаріїв і оцінки ступеню ризику в імітаційних моделях до внесення змін в реальні процеси;

- наочність. У 2D- і 3D-моделях зручно перевіряти і обговорювати ефективність і динаміку процесів в залежності від заданих параметрів.

## **ІМІТАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Використовуючи вхідні дані та всю необхідну інформацію про технологічний процес складання редуктора, необхідно відтворити шлях проходження всіх технологічних операцій складання за допомогою інструментів цієї системи імітаційного моделювання.

Моделювання дозволяє аналізувати не тільки конкретний процес, а й систему виробництва в цілому, що дає можливість перевірити капіталомісткість тієї чи іншої стратегії управління. Проведення експериментів з використанням моделі позбавляє від необхідності проведення експериментів в реальному житті і не заважає роботі виробництва. Система AnyLogic дозволяє в приладобудуванні розв'язати задачі планування виробництва, проектування виробничих приміщень і планування продуктивності, вдосконалення технологічних процесів, аналіз слабких місць оптимізація виробничого циклу, оптимізація ресурсів, персоналу і устаткування, планування запасів (незавершене виробництво і сировина). AnyLogic пропонує великі можливості для проведення експериментів і аналізу результатів моделювання: можна управляти прогонами моделювання; збирати, переглядати і порівнювати результати моделювання; калібрувати і оптимізувати моделі [7].



На рисунку 1 наведено імітаційну модель технологічного процесу складання редуктора, що реалізована засобами системи AnyLogic.

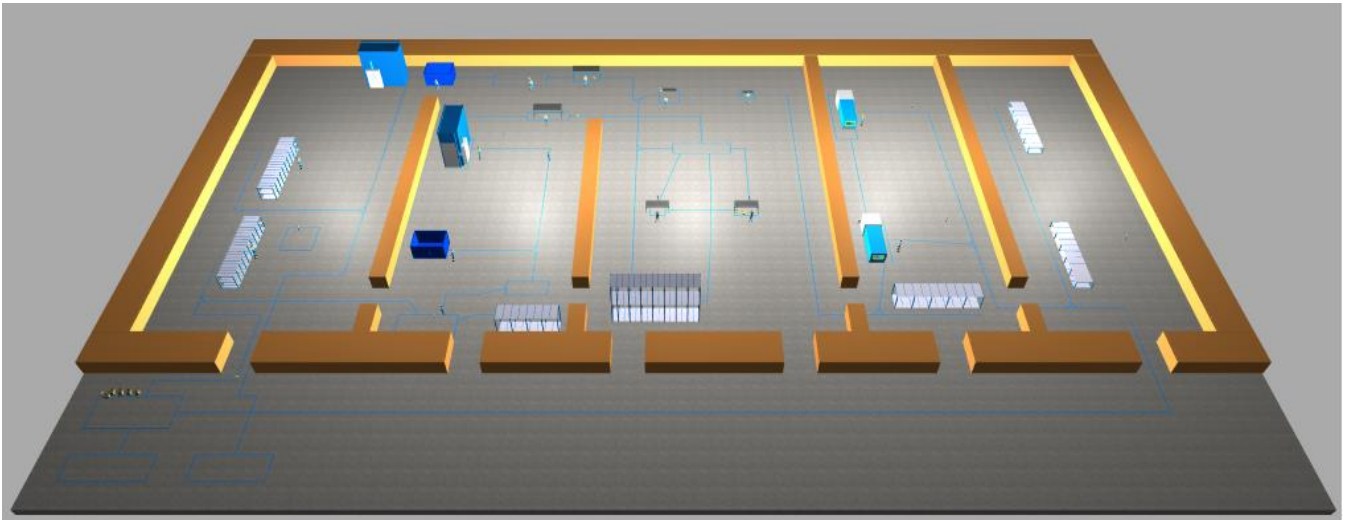


Рисунок 1. Імітаційна модель технологічного процесу складання редуктора

За допомогою імітаційного моделювання можна розв'язати різноманітні задачі промислового виробництва, фінансів, охорони здоров'я та інших. У кожній ситуації модель імітує, відтворює реальне життя і дає можливість здійснювати необмежено багато експериментів без впливу на реальні об'єкти (рис.2).

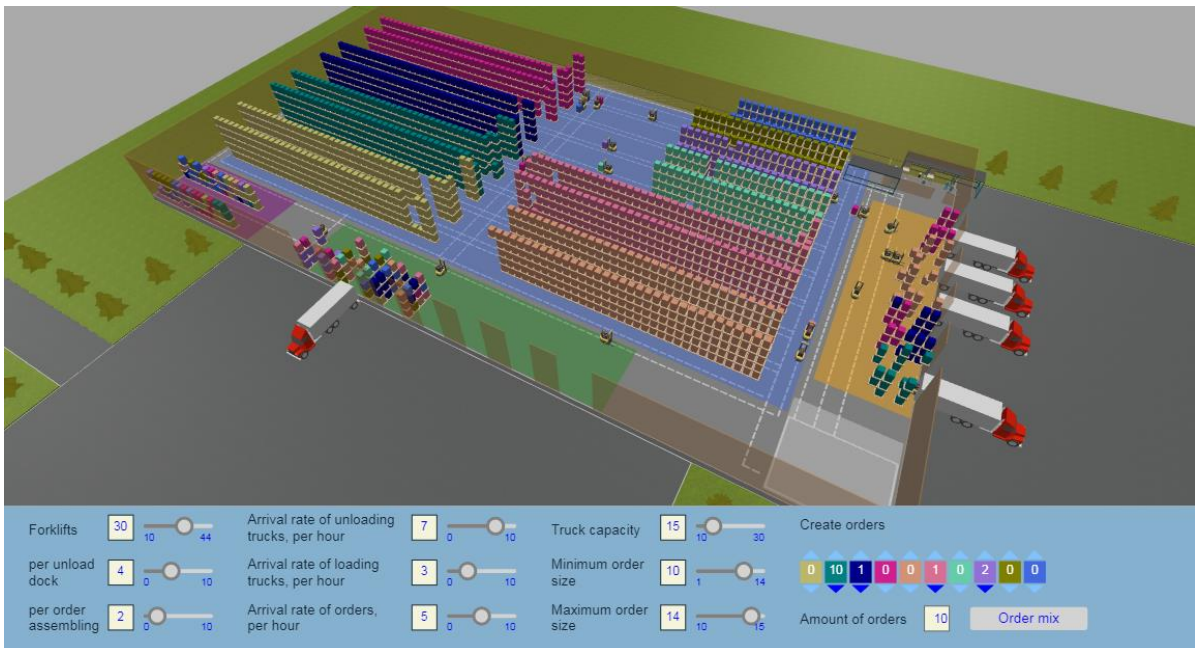


Рисунок 2. Схема імітаційної моделі складу та логістичних переміщень

На прикладі моделювання технологічного процесу складання редуктора засобами AnyLogic встановлено, що інструменти системи дозволяють відтворити такий процес, оскільки система охоплює моделювання різних видів виробництва. Система AnyLogic дає змогу без витрат коштів на обладнання, навчання робітників, створення ділянки під виробництво, за вхідними даними, змодельовати технологічний процес складання зі значною економією



фінансових, людських та витрат часу для моделювання технологічного процесу складання.

## **ВИСНОВКИ**

Можливості AnyLogic, дозволяють вирішити задачу оптимізації виробництва, зменшення часу виробничого циклу, збільшення об'ємів виробництва та моделювання процесу виробництва, технологічного процесу, роботи обладнання, виготовлення та складання об'єктів, що використовуються в приладобудівній галузі.

Оскільки одна галузей використання AnyLogic є виробництво, засоби системи дозволяють здійснювати моделювання технологічних процесів виготовлення деталей та складання будь-яких виробів.

Засоби імітаційного моделювання системи AnyLogic дозволяють виконувати моделювання різноманітних процесів та показати, як будуть виконуватись етапи технологічного процесу виготовлення деталей та складання виробів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Модели решения функциональных и вычислительных задач. [Електронний ресурс]. URL: [http://edu.tltsu.ru/sites/sites\\_content/site216/html/media67139/teor\\_53.pdf](http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site216/html/media67139/teor_53.pdf).
- [2] Програмні пакети для імітаційного моделювання. [Електронний ресурс]. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj\\_komp'yuterne\\_modelyuvannya\\_system\\_procesiv/t1/172..htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/172..htm).
- [3] ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=34161>.
- [4] Нестеренко А.О., Вислоух С.П. Імітаційне моделювання виробничого процесу складання. «Молодий вчений» № 3 (55), березень, 2018 р.
- [5] AnyLogic - система имитационного моделирования. [Електронний ресурс]. URL: <http://pro-spo.ru/linuxmat/307-anylogic->.
- [6] Среда многоподходного моделирования. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/features/>.
- [7] ПРОИЗВОДСТВО. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/manufacturing/>.

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

УДК 621.075

*Строкань Н.С., студентка гр. ПБ-81мн*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЧАСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*Анотація.* Розрахунок технологічного часу виготовлення виробів за допомогою генеративних технологій, передбачає на самперед, це розрахунок технологічного часу на виготовлення виробів за допомогою сучасного 3d друку, застосовуючи новітні матеріали та обладнання. Розрахунок технологічного часу дозволяє систематизувати процес виготовлення, і визначити можливості по вдосконаленню процесу виготовлення, при використанні різних видів матеріалів, або методів 3d друку.

**Ключові слова:** 3d друку, методи друку, новітні матеріали

### **ВСТУП**

Сучасний розвиток науки та техніки супроводжується значними ускладненнями технологій та методологій, зростає потреба у використанні сучасних мобільних систем, підвищенні їх оперативності і повноті всебічного забезпечення. Ефективні методи вирішення проблем можуть дати фаббер-технології, які також називаються технологіями швидкого прототипування (RapidPrototyping) або тривимірного друку [1].

Фаббер-технології – це технології швидкого макетування, тривимірного друку, отримання твердотільної фізичної форми за допомогою спеціальних цифрових фабрикатів – фабберів.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

3D-принтер – сучасний прилад, що для відтворення реального об'єкта або деталі використовує віртуальні 3D-моделі, що були спроектовані за допомогою сучасних комп'ютерних технологій.

3D-друк, як сучасний метод виготовлення деталей, або готових виробів, дозволяє застосовувати багатий спектр новітніх матеріалів, але особливість використання цих матеріалів є пошарове нарощування, або зростання деталі, що створюється (вирощування) до стану вже готового твердого сформованого виробу. 3D-друк на сьогоднішній день знайшов широке застосування в різних галузях промисловості, виробів дизайнерів, як заміна простих не складних виробів отриманих в умовах домашнього виробництва. Доступність і відносно не велика вартість обладнання для 3D-друку, а також матеріалів, дозволяє освоїти даний процес великій кількості бажаючих, за відносно не великий термін часу, з отриманням пристойних результатів, при цьому збільшити можливості використання технологій 3D-друку в різноманітних галузях, як народного господарства так і при особистому застосуванні.

У даний час в 3D-друку в більшості використовують дві різні технології а саме лазерний і струменевий друк. Самі по собі ці види друку поділяються ще на підвиди. В свою чергу, лазерний друк поділяється на три основних види друку а саме, лазерний друк, лазерне спікання та ламінування. Перераховані способи відрізняються один від одного різноманітною технологією процесу друку. Під час лазерного друку застосовується рідкий фото полімер, даний полімер засвічується за допомогою вмонтованої в принтер ультрафіолетової

лампи, застосовуючи фото шаблон. В результаті отримується закінчений виріб з твердого матеріалу.

Лазерне спікання має іншу технологію застосування процесу спікання, а саме відбувається те, що лазер шар за шаром випалює деталь, її контур, при цьому застосовується спеціальний порошок. Відповідно технологія відповідає утворенню готової деталі пошарово.

Третій спосіб виготовлення, є ламінування даний процес також відповідає певній послідовності дій, а саме, деталь, що виготовляється утворюється з заданої кількості різних за розміром шарів матеріалу, шари матеріалу накладаються поступово один за одним у строгій послідовності. Затвердіння матеріалу, що накладається відбувається при участі лазера.

У струменевого друку застосовується два найпоширеніших способи друку, а саме процес фізичного застигання матеріалу при зниженні температури матеріалу та спікання порошкоподібного матеріалу. При застосуванні методу фізичного застигання відбувається видавлювання матеріалу обмеженими порціями на основу деталі, що створюється, а другий спосіб по технології використання відповідає методу лазерного спікання. Даний метод відрізняється від методу лазерного спікання тим, що для склеювання порошку використовують клей, що призначений саме для даних дій [2].

## **МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Цикл створення виробів  $T_{\Sigma}$  ( $T_{\text{Sigma}}$ ) генеративними технологіями макрорівня можна представити у вигляді лінійної послідовності періодів:

$$T_{\Sigma} = T_{3Dmod} + T_{Form} + T_{PP1} + T_{PP2} + T_{PP3},$$

де  $T_{3Dmod}$  – час створення електронних 3D моделей виробів;

$T_{Form}$  – час формоутворення виробів (безпосередньо на установці пошарового вирощування);

$T_{PP1}$ ,  $T_{PP2}$ ,  $T_{PP3}$  – часи різних етапів пост обробки.

Стосовно до технологій лазерної стереолітографії (SLA) і вибірного лазерного спікання (SLS) використовують наступні постпроцеси:

$T_{PP1}$  – постпроцес № 1:

SLA – остаточна фотополімеризація виробу в спеціальній ультрафіолетовій камері;

SLS – очищення виробів від залишкового порошку;

$T_{PP2}$  – постпроцес № 2:

SLA – витримка виробу у спеціальній низько температурній термошафі (для підвищення температури плавлення полімеру);

SLS – випалювання полімеру, спікання основного матеріалу та інфільтрація олов'янистої бронзи при використанні інкапсульованих у полімер часток металевих порошоків (нержавіюча або вуглецева сталь);

$T_{PP3}$  – постпроцес № 3 (слюсарне шліфування, полірування, фарбування та ін.). У кожному періоді має місце процедура еволюції виробу і на кожному її етапі досягається певний еволюційний результат:

$T_{3D\ mod}$  – файл (або система файлів) тріангуляційного опису 3D моделей виробів (в STL-форматі);

$T_{Form}$  – пошарова матеріалізація 3D моделей, тобто прямий перехід від електронного образу виробу у твердотільний стан;

$T_{PP1}$ ,  $T_{PP2}$ ,  $T_{PP3}$  – додання виробам необхідних експлуатаційних властивостей і необхідної споживчої якості.

Таким чином, цикл створення виробів інтегрованими генеративними технологіями макрорівня складається з ряду закономірно розташованих та взаємозв'язаних періодів (ланок), що представляють собою тимчасовий ланцюг. Поняття тимчасових ланцюгів за аналогією з розмірними ланцюгами при рішенні технологічних задач введено Б.М. Базровим [1, 3].

## **ВИСНОВКИ**

Застосування 3D принтерів як основного новітнього технологічного методу виготовлення деталей, з новітніх матеріалів, дозволяє в значній мірі скоротити час, на запуск нових виробів.

Проводячи розрахунок технологічного часу для проектування при проектуванні, підготовці до процесу друку, і самому друку, дозволяє чітко визначити часові інтервали, які можна корегувати для зменшення витрат, як ресурсів, так часу на виготовлення деталі і готових виробів за допомогою 3D друку.

З розвитком сучасних комп'ютерних технологій, а також конструкцій 3D принтерів дозволяє створювати більш складні деталі і вироби, що в свою чергу зменшує як затрати матеріалу, так часу на запуск новітніх приладів. При цьому зменшується собівартість приладів, а також підвищується ефективність використання обладнання, як основного засобу обладнання.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Грабченко А.І. Доброскок В.Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей. Навчальний посібник Харків 2009. с. 12-18.
- [2] Сізонов В.Д. Основи 3D- друку. Навчальний посібник. Дніпро 2010 с.6-46.
- [3] А. И. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В. Л. Доброскок, Л. И. Пупань, В. А. Фадеев. Интегрированные генеративные технологии. Навчальний посібник. Харків 2011. с. 152-178.

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

**УДК 621.7.015:00.89**

*А.В. Сувала, студент гр. ПБ-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Анотація** В статті розглядаються питання створення системи проектування технологічних процесів з використанням елементів штучного інтелекту. При розв'язанні поставленої задачі створено програмне забезпечення експертної системи та відповідні бази знань і даних. В ході реалізації системи застосовано середовище Cygwin Terminal для забезпечення необхідних бібліотек даних та зв'язку з середовищем реалізації GNU Visual Prolog 7.

**Ключові слова:** Експертна система, проектування процесів, база знань, база даних, машинний інтерфейс, програмне забезпечення, технологія обробки.

### **ВСТУП**

Експертна система на основі знань або експертна система (ЕС) – комп'ютерна програма, яка має власні можливості прийняття рішень для вирішення поставленої задачі. ЕС є обчислювальною системою, яка імітує розумову поведінку людської експертизи. Вона володіє ключовими характеристиками, такими як адаптивний контроль, краща керованість та повторне використання збережених знань. Відповідно до витонченості, система ЕС виконує такі дії, як сприйняття, інтерпретація, міркування, навчання, спілкування та прийняття рішень для того, щоб знайти рішення задачі. Створення ЕС передбачає розробки, що розширюють її можливе застосування, включаючи розпізнавання образів, автоматизацію, комп'ютерний зір, віртуальну реальність, діагностику, обробку зображень, нелінійне управління, робототехніку, автоматизовані міркування, «майнінг» даних, планування процесів, інтелектуальний агент і контроль виробництва [1].

Основна проблема розв'язання задач такими системами пов'язана з використанням ними слабоформалізованих знань за певного програмного забезпечення (ПЗ) і не обчислювальним логічним, а змістовним опрацюванням інформації. Тому в основі архітектури сучасних інтелектуальних систем покладено бази знань (БЗ), що формуються відповідно до предметної області, в якій використовується інтелектуальна система [2].

### **МЕТА РОБОТИ**

Проектування технологічних процесів (ПТП) за допомогою ЕС автоматизує процедуру підготовки послідовності операцій, що пов'язані з виготовленням виробу. При цьому традиційні підходи використання ЕС передбачають використання експертів для вирішення задач ПТП. Експерти використовують свої знання та вміння для визначення етапів обробки, необхідних для виготовлення виробів. До проблем, що пов'язані із звичайним ПТП, відносять: залежність від експерта, трудомістка та непослідовна за своєю суттю обробка даних.

Механічна обробка – це процес видалення матеріалу з метою отримання частини продукту із сировини бажаної якості [3]. Якість результатів проектування залежить від експертів, які працюють із системою, та типу використовуваного інструментарію. ЕС не потребує досвіду людини при

прийнятті рішень щодо вибору технологічного процесу, умов різання, вимог до інструменту тощо.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Основними задачами при створенні ЕС є розробка програмного забезпечення та наповнення інформацією бази знань і бази даних, які в свою чергу включають ряд підзадач. Інтерпретація даних є однією з традиційних задач для експертних систем. Під інтерпретацією розуміють визначення змісту даних, результати якого мають бути узгодженими і коректними. Зазвичай передбачається багатоваріантний аналіз даних. При цьому має бути безперервна інтерпретація даних в реальному масштабі часу, тобто можливість оновлення існуючої інформації швидко, не впливаючи на працездатність програм проектування [4].

Багатоваріантність задач технологічного проектування відноситься не тільки до структури технологічного процесу. Вона охоплює всю множину часткових задач проектування. Можна оптимальним образом призначити різальний інструмент, вибрати модель верстата. Оптимізаційною також є задача розрахунку режимів різання на кожній операції. Таким чином із можливих варіантів рішення поставленої задачі вибирається оптимальний варіант [5].

Тому поставлена задача створення експертної системи проектування технологічних процесів механічної обробки деталей з врахуванням наведених вище особливостей технологічного проектування.

### **РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ**

Основними задачами експерта при роботі ЕС є класифікація знань, що відображає інформацію предметної області та внесення відповідних змін. Він синтезує технологічний процес виготовлення деталі на основі її форми, розмірів, матеріалу та інших змінних, що впливають на результат рішення поставленої задачі.

База знань (БЗ) містить експертні знання, що закодовані у факти, правила, евристику та процедури. Зазвичай ЕС складається з трьох елементів, що включає базу даних, базу знань та механізм висновку. База даних має інформацією з точки зору фактів або евристики відповідно конкретній проблемній області. База знань має доменні знання, що представлені засобами математичної логіки [6].

Програмний інтерфейс ЕС діє як керуюче середовище, що забезпечує взаємодію користувачем з системою. Він отримує дані від користувача про розв'язувану задачу та необхідну додаткову інформацію. За правилами бази знань сформулюються відповідні висновки та надаються поради експертам.

ЕС відіграє основну роль в інтелектуальному прийнятті рішень для розв'язання поставленої задачі і її вона широко використовується розповсюджуються завдяки унікальним можливостям. ЕС корисною для автономного прийняття рішень у широкій множині розв'язуваних задач. Як

правило, типовий технологічний процес складається з інформації про маршрут обробки деталі, використовувані операції, установи, переходи, обладнання, інструмент тощо, що дозволяють перетворити заготовку в готову деталь.

Структурна схема обробки інформації, що використано в ЕС, наведено на рис. 1.

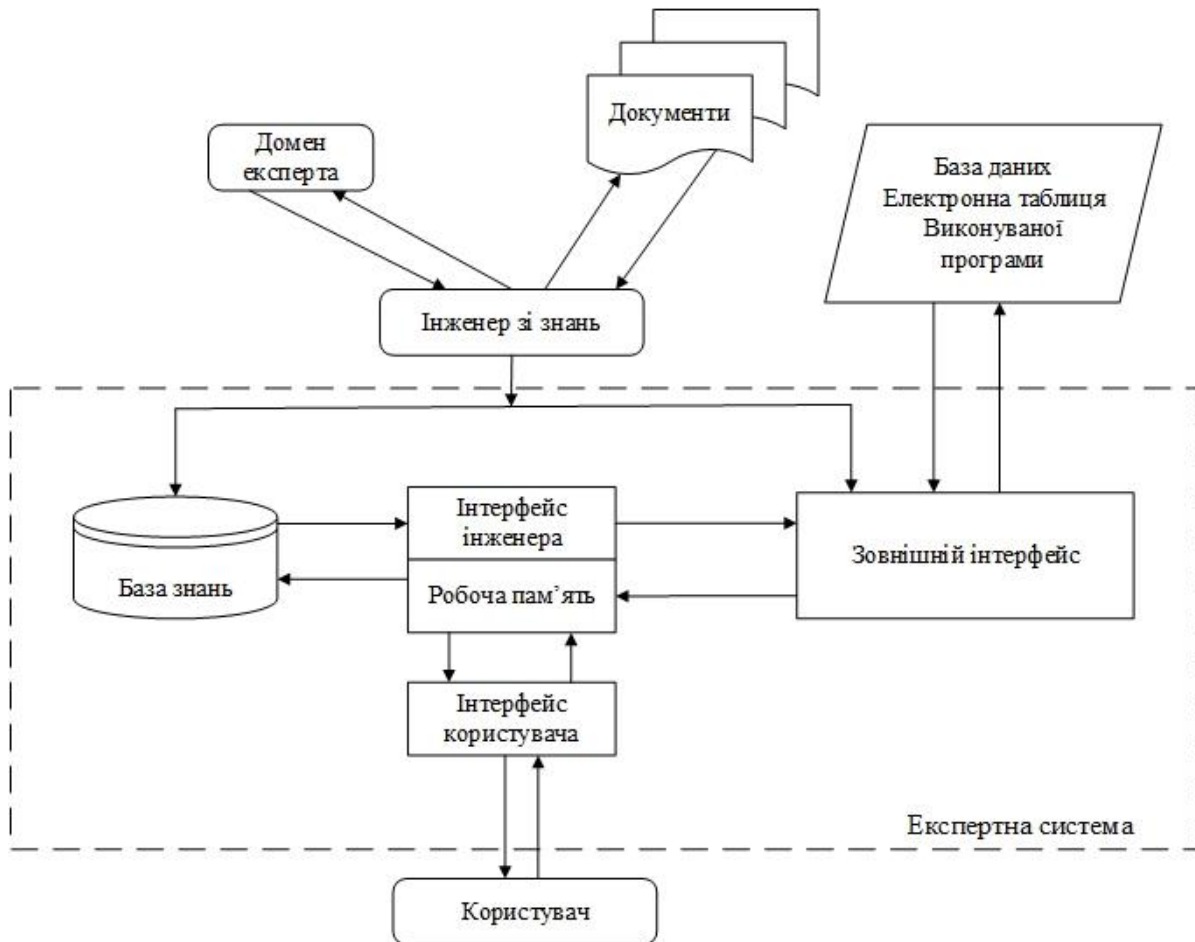


Рис. 1. Структурна схема обробки інформації в ЕС.

Важлива увага в ЕС приділяється заповненню бази знань, яка відіграє значну роль при реалізації проекту. Формат, згідно з яким заповнюється база знань, складається з ключових слів для формування та правильного застосування знань в програмі проектування. Для тестування бази знань вибрано середовище ESWIN 2.1 та середовище GNU Prolog з допоміжними модулями середовища Cygwin Terminal. Візуалізація системи проводилась в середовищі Visual Prolog 7.5 з підключенням розробленої бази знань. Система має консольний тип, спілкування з користувачем відбувається за допомогою форм та запитів. На рисунку 2 наведено діалогове вікно користувача при роботі з системою. При цьому користувач вводить запити для пошуку та вибору необхідної інформації. На основі отриманих відповідей формується кінцевий результат проектування.

## ВИСНОВКИ

Наведена в роботі структурна схема обробки інформації в ЕС дозволяє розв'язати задачу проектування технологічних процесів виготовлення деталей.

Середовища ESWIN 2.1 та середовище GNU Prolog з допоміжними модулями середовища Cygwin Terminal та Visual Prolog 7.5 дали можливість реалізувати процес діалогового проектування технологічних процесів.

Робота експертної системи буде більш досконалою, якщо постійно поновлювати дані в базі даних та правила в базі знань та при розробці програм застосовувати всі сучасні тенденції розвитку програмного забезпечення.

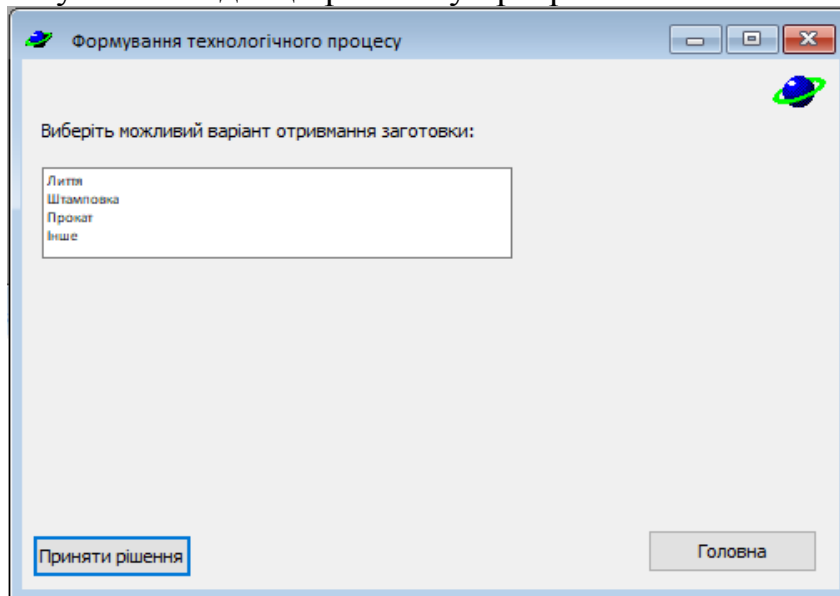


Рис. 2. Діалогове вікно з користувачем.

Застосування ЕС в приладобудуванні має велику перспективу завдяки використанню штучного інтелекту при прийнятті неформальних рішень процесі технологічного проектування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с.
- [2] Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений [Текст] / И. Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с. – ISBN 5-94157481-9.
- [3] Гапонкин В.А. Обработка резанием. Металлорежущий инструмент и станки: [учеб. для средн. спец. учебн. завед. по машиностроит. спец.] / В.А. Гапонкин, Л.К. Лукашев, Т.Г. Суворова – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
- [4] Ямпольський Л. С., Ткач Б. П., Лісовиченко О. І., Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні: підруч. для студ. вищ. навч. закл. – «Вид. Дім «Персонал», 2011. – 544 с.
- [5] Литвин. В.В. Інтелектуальні системи [Текст] : підручник / В. В. Литвин, В. В. Пасічник, Ю. В. Яцишин. – Львів : Новий Світ-2000, 2009. – 406 с. + Гриф МОН. – (Комп'ютинг). – 254 с.
- [6] Яρμοшенко О.В. Інтелектуальні системи прийняття рішень при проектуванні технологічних процесів [Текст] / О. В. Яρμοшенко, С.П. Вислоух // Молодий вчений. – 2017. – №2. – С. 229–234

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



УДК 681.6-3

О.В. Третьяк, студентка гр. ПБ-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕРМОПЛАСТІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ

**Анотація.** В роботі розглянуто найбільш популярні стандартні пластмаси, що застосовуються для 3D-друку, їх властивості, умови зберігання та взаємодію з навколишнім середовищем. Показано матеріали з позитивних та негативних сторін, наведено значення вартості.

**Ключові слова:** ABS-пластмаса, PLA-пластмаса, SBS-пластмаса, PETG-пластмаса, 3D-друк,

### ВСТУП

Існує немало матеріалів, які досліджувалися на предмет застосування в 3D-друку. На сьогоднішній день найпопулярнішими стали ABS, PLA, SBS і PETG.

Всі вони являються термопластами, тобто вони при нагріванні стають м'якими та пластичними, а при охолодженні – приймають тверду форму. Цей процес можна повторювати неодноразово, але не в лабораторних умовах перетворити вже готову модель у матеріал для 3D-друку малоймовірно. Властивості термопластів такі, як: схильність до плавлення і обробка – привели до того, що більшість видів пластику, з якими ми зіштовхуємося у побуті, – термопласти.

Термопласти – полімери, в яких при нагріванні не створюються поперечні хімічні зв'язки які при деякій характерній для кожного полімера температурі можуть багаторазово (повторно) розм'якшуватися та переходити з твердого у пластичний стан [1]. Полімери – це високомолекулярні з'єднання, що складаються з довгих молекул, що містять велику кількість однакових групоутворень, які з'єднані хімічними зв'язками [1].

### ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОПЛАСТІВ ПРИ РОБОТІ З НИМИ

Окрім того, що створені за допомогою вищезазначених пластмас вироби мають бути точно виготовлені, вони повинні виконувати необхідні функції. Тим не менш є деякі нюанси, які слід брати до уваги щодо нищезазначених видів пластмас.

Наприклад, ABS може приймати різні полімерні форми. Це міцна і більш піддатлива, порівняно з PLA, пластмаса. Натуральна ABS до набуття кольору має молочне забарвлення. Її пластичність дозволяє створювати елементи найрізноманітніших з'єднань і кріплень. Легко шліфується та піддається обробці. Так, як ABS розчиняється під дією ацетону, то можна склеювати деталі та легко отримувати гладку поверхню. При використанні цієї пластмаси єдиною істотною проблемою є те, що пластмаса загортається при контакті з поверхнею друку. Цей недолік легко усунути, якщо підігрівати сам предметний стіл, поверхня якого має бути гладкою, чистою і плоскою. Крім того, можна вдаватися до додаткових хитрощів, наприклад, нанести на поверхню суміш ABS і ацетон або збризнути її лаком для волосся. Добрі результати дає спеціальне покриття фіхрад і плівка для столу. Підігрітий стіл потрібен для забезпечення фазового стану контакту пластику з ним – він повинен бути у стані пружної деформації – для ABS це діапазон 105°-230°. При температурі нижче він

кристалізується і відшаровується, а вище – перейде текучий стан і теж відшарується. Зазвичай стіл нагрівають всього до 70°. Його підігрів забезпечує підтримку всього об'єму виробу за температури пружної деформації з мінімальним градієнтом шарами. Але якщо деталь досить велика – понад 5 см, забезпечити цю умову повною мірою можна тільки в закритій камері друку. Часто відчувається сильний запах гарячої пластмаси – комусь він доставляє дискомфорт, хтось не вважає надто неприємним. Для того, щоб зменшити запах у малих приміщеннях, слід забезпечити належну вентиляцію, також переконатися, що ABS не має домішок і нагрівається до потрібної температури у правильному екструдері [3]. Волога пластмаса в процесі друку буде пузиритися і бризкатися, що позначиться на зовнішньому вигляді, точності та міцності отриманого виробу, також сопло піддається ризику забитися розшарованою пластмасою; даний вид просто просушується теплим, сухим повітрям – наприклад, в електродуховій шафі за температури 70°.

PLA-пластмасу (біопластик, полілактид, полімер молочної кислоти) створюють шляхом синтезу з дуже різних сільськогосподарських продуктів, що містять крохмаль або цукор – кукурудзи, картоплі, буряка, зернових культур та ін. – та вважається більш екологічною, ніж ABS, в основі якої нафта. Спочатку пластмаса застосовувалась для продуктового пакування, легко утилізується в промислових компостних установках. Цей матеріал у первинному вигляді прозорий і легко піддається фарбуванню, а також можна регулювати його прозорість. PLA більш жорсткий, ніж ABS, тому його вже складніше застосувати для з'єднання різних елементів. Роздруковані моделі більш блискучі. PLA складніше піддається шліфуванню і обробці. Розчиняється у хлористому метилені (діхлорметані). Більш низька температура плавлення (200° -230°) робить пластмасу непридатною для деяких ситуацій – наприклад, за день в нагрітому салоні авто деталі можуть зазнати деформації та почати «танути». Порівняно з ABS, шари PLA скручуються набагато менше. Це дає можливість друкувати без підігріву столу і використовувати для кращої адгезії синію липку стрічку 3M, але вона нещодавно була знята з виробництва, на зміну прийшло універсальне покриття фіхрад; економічно доцільно використовувати ПВП-клей для адгезії виробу і столу [2]. Повна відмова від теплої поверхні столу може привести до невеликого скручування великих шарів – хоча і не завжди. При нагріванні PLA піддається більш значним фазовим змінам і стає більш текучим. При активному охолодженні при друці можна домогтися більш загострених елементів і кутів – без ризику отримати крихкий об'єкт. Підвищена тягучість забезпечує також краще зчеплення між шарами, і в результаті виріб виходить більш міцним. За недотримання умов зберігання PLA-пластмаса, крім пухирців та забиття сопла [4], так як PLA за високих температур вступає в хімічну реакцію з водою і піддається деполімеризації, то може спостерігатися знебарвлення і погіршення якості друкованих деталей. Хоча PLA теж легко просушити в звичайній духовці (за температури 50°-60°С); слід зазначити, що при цьому у пластмасі може змінитися ступінь кристалізації, в результаті чого

зміниться температура й інші характеристики екструзування. Для багатьох 3D-принтерів це становить серйозну проблему.

Міцність, пластичність і термостійкість роблять з SBS-пластмаси матеріал, якому віддається перевага в інженерних рішеннях. Модуль пружності значно менше, ніж у ABS, тобто надруковані деталі будуть більш гнучкими. Так звана, нитка для друку, на відміну від ABS, не ламається, не беручи до уваги PLA, який є більш ламким з усіх зазначених матеріалів. SBS не переломиться і не обірветься при друку, навіть, якщо пруток подається під кутом 90°; має подовження при розриві >250%. Матеріал дає 93% світлопроникності, його фарбування дає дуже гарний ефект. Зазвичай їм друкуються плафони світильників, прототипи прозорого посуду (дозволено контакт з холодними продуктами харчування), пляшок і т.д. Оброблюється лімоненом, діхлорметаном, сольвентом. Пластмаса не вбирає вологу, тобто пруток не стане крихким, тому зберігати можна у пакеті – щоб не потрапляв пил. При друці SBS не боїться відкритого повітря і протягів та добре прилипає до столу. Підходить для друку крупно-габаритних макетів, має чудову міжшарову адгезію, чим забезпечує міцність. Також за допомогою цього термопласту виготовляють медичні вироби та дитячі іграшки. Прозора пластмаса не має запаху в процесі друку, підфарбовану люди з гострим нюхом відчуватимуть у радіусі 30см запах барвника.

Вважається, що PETG поєднує в собі кращі якості ABS – надійність, термостійкість, довговічність, і PLA – легкість використання при друці. Він більш гнучкий, ніж PLA й ABS, але жорсткіший, ніж SBS. Має низьку термоусадку, тому не варто боятися спотворень розмірів у роздрукованих 3D-моделях. При друці відповідає таким же характеристикам, що і SBS, майже не має запаху. Підігрів предметного столу налаштувати не обов'язково, але це буде корисно, особливо при роботі з крупними деталями. Якщо робити 3D-друк без підігріву, доведеться приділити увагу налаштуванням. На PETG майже не має впливу звичайна волога повітря оточуючого середовища, тому зі зберіганням і використанням проблем не виникає, але бажано зберігати у більш сухих місцях, поруч з силікатними пакетиками [3].

Що стосується вартості матеріалів, їх ціни в перерахунок за 1 кг і діаметром прутка 1.75 мм варіюються в наступних межах:

- ABS: 250 – 608 грн.
- PLA: 390 – 720 грн.
- SBS: близько 1007 грн.
- PETG: 360 – 614 грн.

## **ВИСНОВКИ**

Підводячи підсумки, порівняємо види пластмас, що розглянуті вище.

ABS-пластмасу часто застосовують у інженерних і професійних додатках, бо вона надійна, пластична, легка при обробці і має високу термостійкість. Як і будь-яка пластмаса на основі нафтопродуктів, ABS має неприємний для багатьох запах, якщо його підігріти. Необхідно, щоб предметний стіл не був холодним для задовільної якості друку.

При використанні PLA маємо широку гамму кольорів, рівнів прозорості та глянцевої поверхню готових виробів. Багато хто відзначає походження цієї пластмаси і відсутність неприємного запаху, як у ABS. За використання правильного режиму охолодження, максимальна швидкість друку PLA вища, шари тонші та гостріші кути і, звичайно, надійність.

Новий та перспективний матеріал для 3D-друку SBS. Його властивості на рівень вище традиційних PLA й ABS. Він універсальний, не «капризний», зручний і гарний. Тривале зберігання цих двох пластмас у вологому середовищі погано впливає на них у процесі друку та на остаточно виготовлену продукцію.

PETG може замінити ABS і PLA у сфері друку, бо його показники перевершують ці матеріали. Також він зручний у використанні, довговічний та безпечний.

Застосування ABS, PLA та SBS дають кращі результати, якщо перед використанням зберігати матеріали в ізоляції від оточуючого середовища – у вакуумних або щільно закритих упаковках.

Економічно доцільно використовувати PLA- й ABS-пластмаси, враховуючи, що для кращої адгезії при друку можна використовувати ПВП-клей, що значно дешевше за малярну стрічку і спеціальне покриття fixedpad.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Э. Л. Калинин, М. Б. Саковцева Свойства и переработка термопластов: Справочное пособие, – Л.: Химия, 1983 – 288 с.
- [2] О. В. Третьяк «Практика використання ПВП-клею при 3D-друку з PLA-пластику» // *Погляд у майбутнє приладобудування: збірник праць XII науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених*, 15–16 трав. 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – с. 204-206.
- [3] Как избежать деформации моделей при 3D-печати – Режим доступу: [www.URL:https://3dtoday.ru/wiki/deformation/](http://www.URL:https://3dtoday.ru/wiki/deformation/)
- [4] Роман Строганов. 3D печать. Коротко и максимально ясно / Роман Строганов. – К.:LittleTinyHBooks, 2016 год. – 52 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.*

**УДК 681.2:538.5**

*В. Л. Федорчук, студент, гр. ПБ-91мп, к.т.н. доцент В. В. Шевченко*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ**

**Анотація.** В статті було проведено аналіз економічної доцільності та основних характеристик систем для неруйнівного контролю виробів з металу. Вибрано ряд параметрів, які надають оптимальні економічні показники для роботи в галузі.

**Ключові слова:** економічна доцільність, неруйнівний контроль, об'єкт контролю, діагностика.

### **ВСТУП**

В наші дні в приладобудуванні значна увага приділяється проблематиці керування якістю приладів. Від успішного вирішення цієї проблеми залежить дуже багато факторів в економічному житті приладобудівних виробництв. Ринок показує принципово нові вимоги до якості приладів. Це пов'язується з тим що потреба в продукції виробництва являється його стабільним положенням на ринку товарів і послуг, яке визначене рівнем конкурентоспроможності [1]. А, конкурентоспроможність зв'язана з великою кількістю факторів, більшість з яких не є більш вагомими ніж ті серед яких можна визначити два основних – рівень ціни деталі і якість її продукції. При цьому якість часто виходить на перше місце.

Продуктивність та економія усіх видів ресурсів поступаються якості. Сучасний підхід до стратегії підприємства закладається в тому, що якість являється найефективнішим способом задовільнити вимоги покупців і одночасно з цим – знизити затрати виробництва.

### **ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕМИ**

Якість – необхідна категорія властивостей та характеристик деталі, яка повністю задовольняє вимоги покупців при доцільному використанні матеріалів та ресурсів праці. Вона визначається двома факторами: шорсткістю поверхні та її фізико-механічними властивостями.

Коли поверхня деталі обробляється то можуть утворюватися виступи і впадини, також можуть бути внутрішні напруження викликані зміщенням різних шарів поверхні. Для уникнення нераціонального використання сировини, часу, трудових ресурсів та матеріалів потрібно контролювати якість поверхні. Непродуктивно вирішувати дану проблему старішими методами контролю, тому на їхнє місце приходять більш сучасні методи які мають підвищену надійність контролю якості, та підвищують економічну ефективність.

Доцільність використання різних методів складається з факторів, які одночасно ж прямо впливають на економічність його використання у промисловості. Так як головним завданням є зробити якісний продукт, та забезпечити йому достатній попит завдяки конкурентоспроможності його.

Таким методом є електромагнітний. Він є більш ефективним та безпечним методом контролю. На даний момент використовується у багатьох видах

промисловості, від оборонно-промислових комплексів до трубопровідного транспорту. Тому розвиток і вдосконалення його зумовлений складністю та чисельністю вимог виготовленої продукції в рядах заводів [2].

Електромагнітний метод контролю застосовується для контролю деталей, виготовлених з електропровідних матеріалів. Він дозволяє визначити форму і розмір деталі, виявити поверхневі і глибинні тріщини, порожнечі, неметалеві включення, міжкристалічну корозію і т. д. Суть методу - вимір рівня взаємодії електромагнітного поля вихрових струмів, що наводяться в поверхневих шарах контрольованої деталі, зі змінним електромагнітним полем котушки перетворювача. Цей метод дозволяє виявити поверхневі і під поверхневі дефекти глибиною 0,1-0,2 мм і довжиною понад 1 мм, розташованих на глибині до 1 мм від поверхні металу[3].

### МЕТОД КОНТРОЛЮ

Електромагнітний контроль - оптимальний метод при високошвидкісному русі об'єктів, що перевіряються, на неочищених від забруднень досліджуваних поверхнях і в широких діапазонах поверхневої шорсткості.

Електромагнітний перетворювач, що накладається, являється обмоткою збудження, яка розташована в корпусі з кабелем підведеним для його роботи. Знизу у нього знаходиться котушка з феритовим сердечником, для концентрації в контрольованій нами зоні магнітного потоку та зменшенні деформації перетворювача при терті на поверхні.

Також він використовується для постійного зазору між обмоткою та поверхнею деталі. Вихрові струми, наведені під впливом змінного електромагнітного поля індуктивної котушки в поверхневому шарі деталі формують змінне електромагнітне поле, а поле збудження з ним взаємодіє [3]. Через сталість відстані до деталі та незмінність його матеріалу виникає рівновага у взаємодії двох полів.

Довжина електромагнітної хвилі:

$$\lambda=2\pi/k,$$

де  $k$  – хвильове число

Якщо виявляється тріщина або інший дефект, прораховується інтенсивність і характер розподілу вихрових струмів електромагнітного поля, викликаний зміною результуючого електричного поля. Після цього прилад реагує і вказує на наявність дефекту [4]. За допомогою перетворювача ідентифікувати дефект можна по: розміру, розташуванню, характеру, відстані, структури, частоти.

Даний метод має ряд переваг, які напряду впливають на точність його роботи, це автоматизація контролю, можливість роботи через захисні матеріали (фарба, лак), простота та портативність приладів, а також висока роздільна якість.

## **ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ**

Головним і найбільш значним моментом економічної ефективності і доцільності використання даного методу є значне зменшення браку продукції виготовленої з металу. Датчики і вся система займають небагато місця, вони є компактними і легко переносимими. Сама система через достатньо високу точність може скоротити об'єм бракованої продукції з привичних 10-15% до 0.5-1%. Це дозволяє підняти кінечний прибуток підприємства до 20%. Так як системи контролю електромагнітним методом не мають захмарної ціни, то інвестиція в них окупається в найближчий час для підприємства.

## **ВИСНОВОК**

Контроль якості поверхні деталей за допомогою електромагнітного методу являється найбільш економічно доцільним, прогресивним та універсальним. Суть методу закладається в зміні електромагнітного поля при наявності деформації у матеріалі. Так як він є більш екологічним, то застосовується в найбільшій кількості випадків. Економічна доцільність. Головним і найбільш значним моментом економічної ефективності і доцільності використання даного методу є значне зменшення браку продукції виготовленої з металу. Датчики і вся система займають небагато місця, вони є компактними і легко переносимими. Сама система через достатньо високу точність може скоротити об'єм бракованої продукції з привичних 10-15% до 0.5-1%. Це дозволяє підняти кінечний прибуток підприємства до 20%. Так як системи контролю електромагнітним методом не мають захмарної ціни, то інвестиція в них окупається в найближчий час для підприємства.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Гличев А.В., Кпунорв М. И. Управление качеством продукции: Учебное пособие /Гличев А.В., Круглов М.И. // - Москва: Экономика, 1979. – 230 с.
- [2] Остафьев В. А. Адаптивная система управления. / Остафьев В. А.Тымчик Г.С., Шевченко В. В. // *Механизация и автоматизация управления.* – 1983. - №1. – С. 18-20.
- [3] Інтернет ресурс: <http://autocarta.ru/tex-sostojanie-machin-agregatov/tehnologiya-kontrolya/elektromagnitnyy-metod-kontrolya.html>
- [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] 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 615.471:616-07

Циба Т. Є., к.т.н., доцент, Шевченко В. В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Анотація.* У даній роботі розглядається система автоматичної розмірної настройки ріжучого інструменту та підвищення точності обробки деталей в автоматичному виробництві.

**Ключові слова:** автоматичне налаштування, датчик дотику, розмірне налаштування.

### ВСТУП

В ході автоматичного виробництва в приладобудуванні основним параметром є точність обробки поверхні деталі, для досягнення якої встановлюються оптимальні налаштування обробки деталей. На сьогоднішній день еталоном якості в даній галузі є використання верстатів з ЧПУ. Будь-який процес механообробки на верстатах супроводжується рядом похибок, що приводять до неточності виготовлення деталей.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

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.

Тому метою даної роботи є розробка системи автоматичної корекції і налагодження верстатів з ЧПК, яка б змогла забезпечити високу точність обробки деталей, скоротити час проведення операції налагодження, зменшити кількість бракованих деталей.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На підставі досліджень встановлено, що дія раніше перерахованих причин похибок носить незалежний характер і по величині впливу приблизно рівна, за винятком похибки від зношування інструментів. Більшість з факторів носить випадковий характер і викликані ним похибки повинні підсумуватися як випадкові величини. Тому сумарну величину похибки виготовлення деталей на верстатах з ЧПК можна оцінити приблизно по формулі:

$$\delta_{\Sigma} = (\overline{\delta_0} + \overline{\delta_{\text{вим}}} + \overline{\delta_{\text{тo}}}) + \sqrt{K_1^2 \delta_{\text{ст}}^2 + K_2^2 \delta_{\text{поз}}^2 + K_3^2 \delta_{\text{п.д}}^2 + K_4^2 \delta_{\text{д}}^2} \quad (1)$$

де  $\delta_i$  - полігон розподілу похибок, або їх можливі максимальні відхилення, обумовлені на підставі досліджень; перша сума похибок у дужках - сума систематичних похибок, що мають певний вектор напрямку; сума під коренем являє собою сумарну випадкову складову похибки;  $K_1, K_2$  і т.д. - коефіцієнти обліку закону розподілу похибок.

Зважаючи на те, що ГВС в основному застосовуються в дрібносерійному й серійному виробництві, де при виникненні випадкових похибок проявляються



асиметричні закони їхнього розподілу, коефіцієнти  $K_1, K_2, \dots, K_n$  можна приймати рівними 1,25. Тоді:

$$\delta_{\Sigma} = (\overline{\delta_0} + \overline{\delta_{\text{вим}}} + \overline{\delta_{\text{тo}}}) + K\sqrt{\delta_{\text{ст}}^2 + \delta_{\text{поз}}^2 + \delta_{\text{п.д}}^2 + \delta_{\text{д}}^2} \quad (2)$$

Зіставляючи вираження похибок будь-якого циклу роботи ГВС і сумарної похибки (2) [9], можна уточнити похибку обробки на  $i$ -му циклі.

Похибка налагодження:

$$\overline{\delta_0} = \overline{\delta_{\text{вим}}} + \overline{\delta_{\text{п.д}}} \quad (3)$$

Похибка від зношування інструмента  $\overline{\delta_{\text{вим}}} = m_i + \overline{a_1}$ , де  $m$  - число відпрацьованих циклів даним інструментом.

Похибка установки інструмента в робоче положення для різання:

$$\overline{\delta_1} = (\overline{\delta_{\text{ст}_1}} + \overline{\delta_{\text{поз}_1}} + \overline{\delta_{\text{тo}_1}}) \quad (4)$$

Похибка самого процесу різання:

$$\overline{\varepsilon_1} = \overline{\delta_{\text{п.д}_1}} + \overline{\delta_{\text{д}_1}} \quad (5)$$

На підставі отриманих висновків можна одержати вираження для визначення поточної похибки обробки на  $i$ -му циклі:

$$\delta l_i = (\overline{\delta_{\text{вим}}} + \overline{\delta_{\text{п.д}}}) + m_i \overline{a_1} + (\overline{\delta_{\text{ст}}} + \overline{\delta_{\text{поз}}} + \overline{\delta_{\text{тo}}})_i + \overline{\delta_{\text{п.д}_1}} + \overline{\delta_{\text{д}_1}} \quad (6)$$

Оскільки величина  $\delta l$  по всій довжині деталі звичайно різна, за характеристику точності береться її максимальне значення. Точність процесу обробки звичайно оцінюється відносною похибкою:

$$\delta_{\text{від}} = \delta l / l_0 \quad (7)$$

Якщо, як приклад, утворення такої похибки обробки розглянути процес точіння деталі на ГВС, то похибка отриманого діаметра деталі, характеризується відхиленням дійсного радіуса  $R_d$  від номінального  $R_0$ , відповідно буде:

$$\delta R = R_0 - R_d \quad (8)$$

У той же час дійсне значення розміру  $R_d$  звичайно не постійно в різних місцях деталі й може бути виражене так:

$$R_d = \rho_{\text{ср}} + \delta\rho(z) + \delta\rho(\psi) \quad (9)$$

де  $\rho_{\text{ср}}$  - середній радіус-вектор дійсного розміру, характеристика середнього значення профілю деталі як результат рівня установки інструмента при даному циклі проході спочатку обробки розглянутої поверхні;  $\delta\rho(z)$  і  $\delta\rho(\psi)$  - векторні збільшення дійсного радіуса-вектора по довжині деталі (уздовж осі  $Z$ ) і по куту її повороту у поперечному перерізі.

Зміна розміру  $R_d$  по ходу обробки проявляється у вигляді різних геометричних відхилень формованої поверхні від ідеальної циліндричної: хвилястість, гранність, овальність, конусність, бочкоподібність й інші похибки форми (ДЕРЖСТАНДАРТ 24642-81).

Різниця номінальних і середнього дійсного розмірів

$$R_0 - \rho_{\text{ср}} = \delta_R \quad (10)$$

являє собою детерміновану постійну складову похибки обробки даної поверхні, а величина  $\delta_R$  - її змінні складові[3].

Виходячи із цих передумов і враховуючи, що вплив змінних факторів викликає різні гармонійні коливальні переміщення вершини інструмента в

пружній технологічній обробній системі, отриману й утворену з погрішностями поверхня деталі можна представити у вигляді гармонійного ряду Фур'є. Вираження утворюючої циліндричної поверхні деталі уздовж її осі Z при гострінні або відповідно траєкторія переміщення вершини різця щодо деталі буде мати вигляд:

$$X(z) = X_{cp} + \sum_1^n \delta X_k \cos(k\varphi + \varphi_k), (k = 1, 2, \dots n), \quad (11)$$

де  $X(z)$  – поточна координата профілю деталі або вершини інструмента при роботі уздовж осі Z - Z ;  $X_{cp}$  – середня лінія профілю як рівень настроювання інструмента на даному циклі;  $\delta X_k$  – різні гармонійні зміни координати від різних що обурюють n гармонік, суммируемых у порядку убування ступеня впливу або зростання порядкового номера гармоніки k ;  $\varphi_k$  – початкові фазові зрушення гармонік.

Ці причини викликають змінну похибки установки інструмента у робоче положення  $\delta_i$ , що має нелінійну за часом залежність. Тоді загальна сумарна похибка обробки буде мати структуру на кожному циклі:

$$\delta l_i = \Delta_0 + \bar{a}_i + \bar{\delta}_i + \bar{\varepsilon}_i, (1 < i \leq n) \quad (12)$$

де  $\bar{\lambda}_i = \bar{a}_i + \bar{\delta}_i$  – погрішність настроювання обробної системи на i -м циклі роботи.

Як видно з отриманих рівнянь, величина похибки може бути істотною, що вимагає вживання певних заходів по підвищенню точності процесу обробки на ГВС, розробці і впровадженню методів керування якістю процесу [3].

## ВИСНОВКИ

Як показує практика, перші системи більш прості, але їхні можливості обмежені. Останні системи більше універсальні, мають більші можливості, але засоби їхньої реалізації вимагають глибокого пророблення інформативності параметрів процесу, їхнього дешифрування й розробки на цій основі складних алгоритмів керування за допомогою процесорної техніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Остафьев В.А., Тимчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивна система управління. -Механізація і автоматизація управління. -Київ, №1, 1983. -с. 18-20.
- [2] Шевченко В.В. Контроль стану ріжучого інструменту з допомоги електричних сигналів / В.В. Шевченко // Збірник наукових праць V науково-технічної конференції Приладобудування: можливості та перспективи. (Київ, 25-26 квітня 2006 р.) .- Київ, 2006. -С.112-113.
- [3] Шевченко В.В. Система контролю процесу обробки деталей в умовах «безлюдній технології» / В.В. Шевченко, І.В. Капінос, Д.О. Грабовський. // Прогресивні технології і прилади. Луцк.-2011. -С.142-143.

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

УДК 681.2.082

Е.Я. Чонка, студентка, гр. ПБ-81мп, д.т.н., професор Антонюк В.С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ВИГОТОВЛЕНИХ НА 3D-ПРИНТЕРІ

**Анотація.** У статті розглянуто аналіз параметрів шорсткості поверхні деталей виготовлених в умовах адитивного виробництва, внаслідок вибору програмного забезпечення в якому спроектована цифрова модель заготовки. Проведено експериментальні дослідження при різних режимах друку на 3D-принтері, та встановлено залежності класу точності отриманих поверхонь від технологічних режимів. Розроблено алгоритм підвищення точності друку деталей адитивними технологіями та здійснено його програмну реалізацію

**Ключові слова:** екструзія, 3D-принтер, друк, точність, шорсткість адитивні технології.

### ВСТУП

Підвищення ефективності сучасного виробництва потребує нових підходів, врахування додаткових факторів при виборі обладнання та технологій. Так, крім звичайних показників продуктивності, якості та безпеки, необхідно враховувати додаткові вимоги до сучасного виробництва.

Це можливо втілити за рахунок пошуку нових рішень, зокрема впровадженням технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі..

Використання є одним з найкращих прикладів того, як нові розробки і пристрої можуть значно покращити традиційні методи виробництва деталей та моделей і задати стрімкий розвиток сучасних галузей машино- та приладобудування. Впровадження 3D-принтерів в сучасні галузі промисловості дозволить значно зменшити витрати на виробництво.

Одним з ефективних напрямків розвитку адитивних технологій є методи виготовлення деталей на 3D-принтерах який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. Трьохвимірні принтери мають можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання. При цьому точність та якість виготовлення моделей та деталей залежить від вибору методу друку і матеріалу.[1-4].

**Метою роботи** є розробка алгоритму проведення аналізу залежності точності поверхні від режимів друку в умовах адитивного виробництва.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У роботі використано метод FDM (Fused Deposition Modelin) – метод, у якому суть друку полягає в пошаровому відтворенні об'ємних виробів на основі цифрових даних (3D-моделей). Як матеріал в FDM 3D-принтерах для цієї мети використовують спеціальні нитки пластика. Такі нитки можуть бути діаметром 1,75 мм, або 2,85 мм. Тобто, 3D-друк FDM – це безперервна подача нитки матеріалу в екструдер (друкуючу головку), оснащений нагрівальним елементом. [5]

Для дрібносерійного виробництва деталей та моделей на 3D-принтері доцільно використовувати метод FDM, оскільки він є дешевим, доступним, не

вимагає спеціального програмного забезпечення, та забезпечений великим вибором матеріалу для друку.

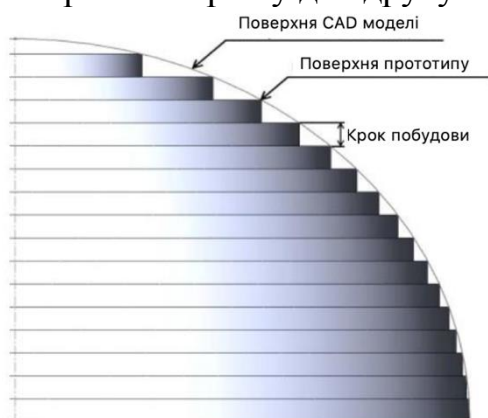


Рисунок 1. Схема побудови 3D-моделі

Життєвий цикл створення виробу – це певна послідовність дій, яка показує формоутворення моделі від базової концепції до її утилізації. Весь цикл можна описати наступними етапами: базова концепція – етап проектування – створення цифрової параметричної 3D-моделі – компіляція в формат STL – розбиття на шари – друк на принтері – обробка надрукованої деталі – використання – утилізація. [6, 7]

Так як 3D-модель друкується пошарово, то після закінчення друку поверхня буде ступінчатою, висота кожної сходинки

відповідає кроку побудови – висоті кожного шару (Рис.1).

Існує велика кількість САД програмних продуктів, здатних проектувати цифрові 3D-моделі будь-якої складності, але кожна програма має певні недоліки, які впливають на якість поверхні і досягнення геометричної точності прототипу.

Для аналізу поверхні виробу спроектовано однакову цифрову модель напівсфери радіусом 10 мм у програмних продуктах Solid Works та КОМПАС., і обрано її як дослідний зразок.

Спроектвані моделі компільовано в формат STL. Даний формат є основним для технологічного процесу друку на 3D-принтерах. Особливістю цього формату є розбиття геометрії цифрової моделі на модель, яка складається з набору рівносторонніх трикутників (Рис.2 а, б).

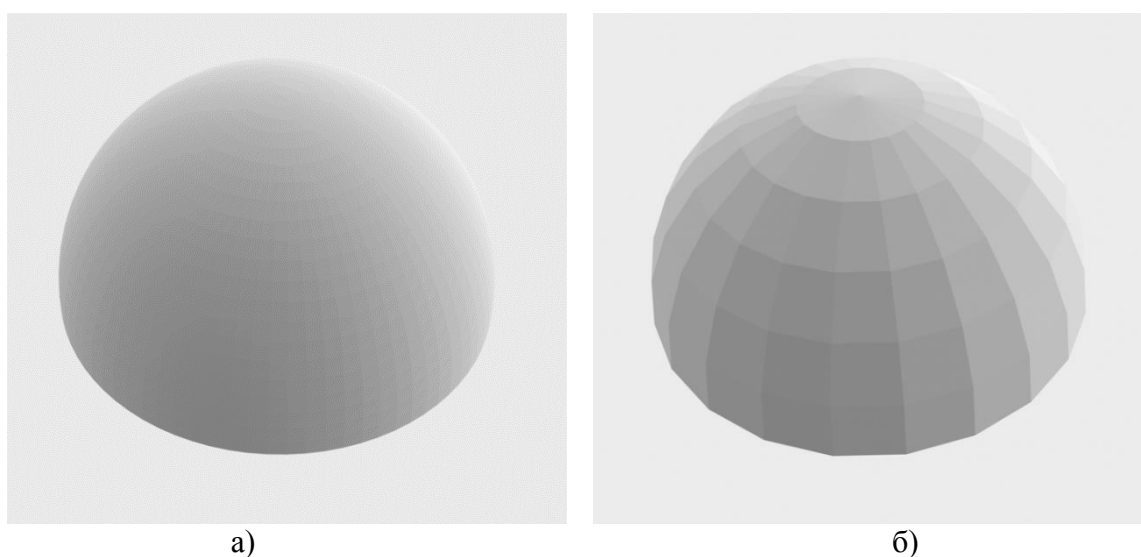


Рисунок 2. Представлення цифрових моделей в форматі STL:  
а) – Solid Works б) – КОМПАС

Як показано на рисунку 2. препроцес у програмних продуктів різний – у системи Solid Works є можливість отримати достатньо більш дрібну сітку трикутників, ніж в системи КОМПАС.

При друкуванні, 3D-принтер повністю повторює форму кінцевого продукту з формату STL, тому значення шорсткості Ra в одному із зразків (рис.2 а) буде значно нижчим. [8]

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для вирішення задачі розробки алгоритму коду програми необхідно розробити математичну модель аналізу деталей виготовлених на 3D-принтерах.

Для аналізу точності формування поверхонь створено алгоритм та вибрана мова програмування– Java.

На основі алгоритму розроблена програма забезпечення необхідної шорсткості виготовлення деталей на 3D-принтерах.

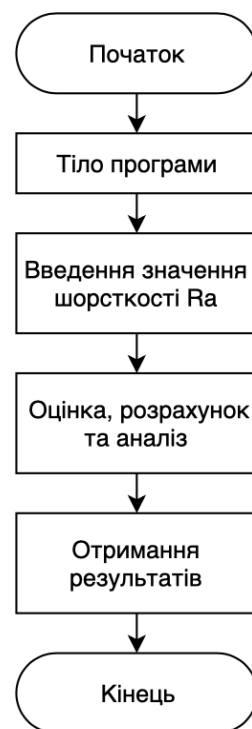


Рисунок 3. Блок-схема. алгоритму

На рисунку 3 показано алгоритм точності формування поверхонь на 3D-принтерах, який складається з наступних блоків:

- блок №1 – включення програми;
- блок №2 – тіло програми, складається з математичної моделі;
- блок №3 – введення параметру шорсткості, який необхідно досягти;
- блок №4 – оцінка вхідних даних, розрахунок та аналіз режимів друку;
- блок №5 – отримання результатів;
- блок №6 – кінець програми.

Розроблена програма має ряд переваг, а саме: вона автономна, не вимагає високих системних вимог, не потребує додаткового матеріального

забезпечення, може використовуватись на будь-якій платформі при встановленій утиліті мови Java.

### **ВИСНОВОК**

Встановлено, що для підвищення точності виготовлення деталей та моделей на 3D-принтері доцільно використовувати метод FDM-друку, при проектуванні кінцевого продукту в CAD системі Solid Works.

Розроблено алгоритм та здійснено його програмну реалізацію на мові програмування Java, який аналізує та дозволяє визначити режими друку моделей виробів на 3D-принтерах.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Автоматизированное проектирование технологических процессов // Антонюк В.С., Выслоух С.П., В.И. Аверченков. – Киев УМК ВО, 1989 – 116 с.
- [2] Интегрированные генеративные технологии / А.И. Грабченко, Ю.Н. Внуков, В.Л.Доброскок [и др.] ; под ред. А.И. Грабченко – Харьков : НТУ «ХПИ», 2001. – 396 с.
- [3] Новаковський А.Г., Антонюк В.С. Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству // Республиканский межотраслевой производственно практический журнал. - Минск – № 3(72) – 2016.– С. 11 – 12
- [4] Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Серов // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.
- [5] 3D друк методом наплавлення [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://pro3d.com.ua/a366711-druk-metodom-naplavlennya.html> (дата звернення 20.11.19). – Назва з екрана.
- [6] Петренко С.Ф., Новаковський О.Г., Антонюк В.С., Скорина Є.В., Бондаренко Ю.Ю. Особливості проведення досліджень мікрогеометрії та поверхневих властивостей діелектричних матеріалів для мікро- і наноелектроніки / С.Ф. Петренко, О.Г. Новаковський, В.С. Антонюк, Є.В. Скорина, Ю.Ю.Бондаренко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. 1/2018 – С. 5-13
- [7] Исследование закономерностей формирования точностных параметров деталей при прототипировании // Куликов М.Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В. – Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – Вып. 2(50). – С. 104–107.
- [8] Технологии 3D-печати для аэродинамических моделей РКТ // Куликов М.Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В. – Мир транспорта. – Вып. 4, т. 13. – 2015. – С. 54–57.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Антонюк В.С.*

**УДК 004.942**

*В.А. Яригін, студент гр. ПБ-61, к.т.н, доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ПРО СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ**

**Анотація.** В статті розглядаються питання підвищення ефективності та економічності проведення наукових досліджень. Визначається при цьому роль інформаційних технологій, методології статистичних досліджень та методів комп'ютерного моделювання за допомогою пакетів прикладних програм. Особлива увага приділяється вибору сучасних методів моделювання, які доцільно застосовувати в приладобудуванні.

**Ключові слова:** наукові дослідження, інформаційні технології, пакети прикладних програм, математичне моделювання, комп'ютерне моделювання.

### **ВСТУП**

Науково-технічний прогрес та останні зміни в українській освітній галузі, перехід до двоступеневої вищої освіти сприяли актуалізації питання про якісну підготовку науковців[1]. Проте кількість претендентів на науковий ступінь не завжди відповідає якості підготовлених ними наукових досліджень. Суттєво на якість досліджень впливає їх фінансове та матеріальне забезпечення. Навіть на потенційно перспективні дослідження часто нелегко знайти інвесторів. Бізнес шукає вигоди, держава ж ставить важко реалізуємі умови. Мало хто бажає вкладати кошти у тривалі проекти, що окупляться через місяці, а то й роки. Також інвестори часто вимагають мінімізації затрат. Враховуючи такий стан фінансування сфери науки в нашій країні, досить гостро постає питання про пошук методів зменшення затрат на дослідження за умови збереження їх якості.

### **СТАН ПИТАННЯ**

Для зниження витрат науковці почали використовувати сучасні методи наукового дослідження, що дозволяють суттєво зменшити кількість персоналу задіяного у дослідженнях та витрати матеріалів за рахунок більш детального попереднього моделювання, механізації процесів і використання більш дешевих матеріалів з отриманням того ж результату.

До таких методів можна сміливо віднести використання інформаційних технологій (ІТ). ІТ— це широкий клас дисциплін та галузей діяльності, що відносяться до технологій управління та обробки даних, а також створення даних, в тому числі із застосуванням обчислювальної техніки [2]. По суті ІТ мають справу з використанням комп'ютерів і програмного забезпечення, що використовуються для збереження, захисту, обробки, передачі й отримання інформації [3]. Основні риси сучасних ІТ: комп'ютерна обробка інформації за заданими алгоритмами, збереження значних обсягів інформації на машинних носіях, передача інформації на значні відстані за короткий час. У широкому розумінні ІТ охоплюють всі області передачі, збереження та сприйняття інформації, а не лише комп'ютерні технології.

Одним із методів досить дешевих та відносно швидких дослідів є методологія статистичних досліджень, що дають змогу досить точно прогнозувати зміну досліджуваного параметра, і є доволі наочними. Використання статистичних методів дозволяє створити математичну модель системи. Сутність таких методів є наступною: отримання великої вибірки даних

про досліджуваний об'єкт, а далі, в залежності від методу – використання спеціалізованих математичних пакетів або навчання штучної нейронної мережі (ШНМ). Спеціалізовані пакети дозволяють тільки обробити отриману інформацію заздалегідь відомими методами, тоді як ШНМ генерують наближену математичну модель процесу на основі отриманих даних. Також з їх допомогою можна відстежити зв'язки між змінюваними величинами. Головною перевагою таких методів є скорочення часу на дослідницьку роботу.

Під час досліджень важливим питанням постає зберігання і структуризація отриманої інформації. Сучасні інформаційні системи дозволяють досить просто створювати бази даних та взаємодіяти з ними – додавати, сортувати, змінювати та робити вибірку з отриманих даних. Це значно скорочує час на обробку інформації, а отже пришвидшує дослідження і зменшує їх вартість.

Популяризація 3D технологій, які швидко розвиваються, надає змогу відкривати для конструкторів технічних систем різних галузей нові можливості та знання в розумінні процесів виробництва від технічного завдання до готової деталі, глибше зрозуміти деякі процеси навчання при використанні прототипів об'ємних моделей та розвиватися в актуальних на сьогоднішній час сферах [4].

Використання 3D технологій в дослідженнях дозволяє суттєво підвищити їх ефективність за рахунок близькості віртуального комп'ютерного середовища до реального тривимірного світу. 3D друк дозволяє науковцям створювати тривимірну модель виробу на комп'ютері та за короткий час отримувати повноцінний фізичний об'єкт, що відповідає заданим параметрам [5]. Значна перевага використання сучасних 3D принтерів – зниження собівартості виготовлення продукції та скорочення термінів її появи на ринку, моделювання елементів будь-якої форми та складності, швидкість та висока точність виготовлення, можливість використання різних матеріалів.

Вагоме місце серед сучасних економних методів дослідження займає 3D моделювання. Цей метод дозволяє створювати детальні, об'ємні та реалістичні зображення існуючих або неіснуючих об'єктів будь-якого розміру. Створюється геометрична модель, віртуальний тривимірний макет з означеними лініями та точками, який в подальшому деталізується, доопрацьовується, та створюється в текстурі, кольорі, ідеально рівній формі, поміщається в сцену з виставленим світлом та фоном. По суті, комп'ютерна візуалізація – це нова реальність, яку можна створювати без негативного впливу будь-яких сторонніх факторів, передаючи до найменших подробиць особливості різних об'єктів.

Важливу нішу і піднятому питанні займає і комп'ютерне моделювання, в якому можна виділити три підходи: числовий, структурний та символічний [6]. У першому випадку вхідні параметри являють собою масиви чисел, або числові матриці, які обробляються відповідними програмами. Числовий підхід є основним для математичних пакетів MATHCAD і MATLAB. У другому випадку математична модель подається у вигляді структурної схеми із суматорів, інтеграторів та інших обчислювальних блоків. Такий підхід також називають – візуальне програмування. Він реалізований у програмних пакетах VISSIM, SIMULINK та LABVIEW. У третьому випадку математична модель



задається формулами, які записані відносно символічних змінних. Результати отримуються у вигляді математичних співвідношень між цими змінними. Символьний підхід втілений у пакетах DERIVE, MAPLE та MATHEMATICA.

### **ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ**

На жаль описані вище методи самі по собі не дозволяють достатньо знизити вартість досліджень. Тому пропонується використовувати поєднання різних способів досліджень, що дозволить зменшити час дослідження, а відповідно і їх вартість. На початкових стадіях доцільно використовувати моделювання процесу дослідження, де це можливо, і отримані данні зберігати в інформаційних системах, формуючи тим самим бази знань. Для створення та опису досліджуваної моделі доцільно використовувати програмне забезпечення типу MATLAB та MATCAD для математичних моделей, SolidWorks й інше типове програмне забезпечення для 3D моделювання. Перевагами такого варіанту дослідження є: отримання попередніх результатів, що допомагає задати вектор пошуку; відносна дешевизна; можливість зупинити і поновити роботу над дослідженням в будь-який момент; робота над дослідженнями в будь-якій точці світу, достатньо лише організувати доступ до мережі Інтернет машини, на якій вони виконуються; відносно проста зміна початкових умов і даних, а також параметрів, що керують процесом.

Якщо ж змоделювати процес змоги немає, або моделювання вимагає суттєвих потужностей комп'ютерних засобів, і за умови, що спрощення моделі приводить до високої похибки, можна використовувати статистичні методи дослідження. Тобто емпіричним шляхом зібрати опорний масив даних і за допомогою статистичних програмних пакетів, таких як SPSS або з використанням ШНМ, виготовити програмну модель дослідження. В такому разі доцільно вибрати для дослідження певний інтервал початкових та заданих значень, що цікавить науковця в даний момент. За умови, що спектр вимірюваних величин досить великий, доцільно розділити дослідження на декілька етапів, модифікуючи установку для кожного з них. Перевагами такого методу є: не потрібно тривалий час тримати дослідну установку в зібраному стані або постійно підтримувати можливість її функціонування, всі необхідні дослідження можна провести за досить короткий проміжок часу; при достатній кількості зібраних даних отримана модель буде відтворюватися з високою точністю; можливість отримання результатів за короткий час.

На всіх етапах роботи отримувану інформацію необхідно зберігати структуровано. В залежності від кількості та формату інформації доцільно використовувати різні пакети програмного забезпечення. За умови, що даних не багато та вони є однорідними, доцільно використовувати звичайні офісні пакети як Microsoft Excel й подібні. В протилежному випадку, краще використовувати системи керування базами даних (СКБД) такі як Microsoft Access та MySQL. Це дозволить: досить швидко отримати доступ до отриманої інформації, не прив'язуючись до місця її розміщення; за короткий час із всього переліку даних отримати бажану вибірку; досить легко та швидко передати інформацію до інших видів програмного забезпечення. Наступним етапом роботи із дослідженнями є обробка отриманої

інформації та виготовлення макетної моделі приладу або процесу, що був досліджуваний. Виготовити і дослідити таку модель можна в два етапи. Першим етапом є розробка 3D моделі деталі або приладу і його випробування. Найбільш розповсюдженим програмним забезпеченням, що дозволяє досить просто виконати ці операції є SolidWorks, в цьому пакеті ПЗ можна побудувати розмірну 3D модель приладу, дослідити його міцнісні характеристики, а також змоделювати роботу його рухомих частин. Другий етап – виготовлення макету. На даний момент найбільш дешевим та найменш трудоемним способом такого виготовлення є 3D друк, що дозволяє за відносно короткий час отримати досить якісну модель приладу або його частини із точністю приблизно 0,2 мм.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, поєднання сучасних методів моделювання досліджень дозволяє суттєво скоротити витрати та час на їх проведення. Перспективним є застосування сучасних ІТ для приладобудування, тому що в цій галузі можна найбільш широко використовувати поєднання описаних вище методів моделювання. При цьому данні, отримані в результаті таких досліджень, можна досить легко передавати в будь-яку точку світу в будь-якому потрібному форматі та використовувати повторно. Такий підхід вигідно спрощує процес навчання молодих спеціалістів наочною демонстрацією усіх етапів розробки та виготовлення приладів будь-якого рівня складності без зайвих витрат з боку навчального закладу. Також це дозволяє залучати молодь до досліджень на будь-якому з етапів, тим самим розширюючи їх діапазон практичних навичок. Важливим аспектом є і можливість проводити дослідження на базі не одного, а кількох наукових закладів, поєднуючи знання та навички науковців різних областей, підвищуючи тим самим ступінь обміну інформацією між великими науковими підрозділами й покращуючи якість та наукову новизну досліджень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Данильян О.Г. Методологія наукових досліджень: підручник / О.Г. Данильян, О.П. Дзьобань. – Харків: Право, 2019. – 6 с.
- [2] Онопрієнко М.В. Інформаційні технології в науці: методологічний вплив і проблеми. / М.В. Онопрієнко // Science and Science of Science, No 3, 01.02.2011, – К.: Аналітик-Інформ, – 2011. – С.48-58 – 49с.
- [3] Лазарева С.Ф. Економіка та організація інформаційного бізнесу: навч. посібн. / С.Ф. Лазарева. – К.: КНЕУ, 2002. – 667 с.
- [4] Роман Строганов. 3D печать. Коротко и максимально ясно / Роман Строганов. – К.:LittleTinyNBooks, 2016 год. – 52 с.
- [5] 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.
- [6] Чеботарёв С.В. Компьютерное моделирование.: Учебное пособие. Часть I. – Барнаул: БГПУ, 2004. – 240 с.

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

## **Секція 4.**

# **Ефективність інформаційних технологій при проектуванні систем вимірювання механічних величин**

## УДК 681.121

*В.В. Брацлавський, студент гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Писарець А. В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕПЮРИ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИТРАТОМІРА**

**Анотація.** Через порушення правил установки приладів обліку виникають спотворення епюри швидкості вимірюваного потоку, що призводить до зміни похибки вимірювання. Найбільш чутливими до цього фактору є ультразвукові витратоміри. Здійснено чисельне моделювання у SolidWorks Flow Simulation ультразвукового вимірювача витрати, геометричні параметри якого отримано у результаті оптимізації, за наявності гідравлічного опору, розташованого на різних відстанях від витратоміра, що дозволило визначити необхідну довжину прямої ділянки перед приладом.

**Ключові слова:** метрологічні характеристики, прилади обліку витрат рідин, епюра розподілу швидкості, ультразвуковий витратомір, місцевий опір.

#### **ВСТУП**

Спотворення епюри швидкості вимірюваного середовища виникають внаслідок порушення правил установки приладів обліку, які регламентують наявність і довжину прямих ділянок трубопроводу до і після місця встановлення вимірювального приладу [1 – 3], а також наявність гідравлічних опорів у межах цих ділянок.

Місцевими опорами називаються такі ділянки трубопроводів, на яких відбувається деформація потоку, тобто зміна швидкості потоку за величиною або напрямом [4].

Розрізняють чотири види місцевих опорів (МО):

- МО, на яких швидкість змінюється за величиною (раптове звуження, раптове розширення, дифузор, конфузор);
- МО пов'язані із зміною напрямку руху рідини (плавний поворот, різкий поворот);
- МО, на яких відбувається поєднання або розділення потоків (трійник, хрестовина);
- трубопровідна арматура (крани, вентилі, засувки, клапани, тощо).

Метою роботи є оцінка впливу епюри розподілу швидкості вимірюваного потоку на метрологічні характеристики приладів обліку витрати рідин.

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІСЦЕВОГО ОПОРУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВИТРАТОМІРА**

Серед багатьох приладів вимірювання витрати рідин найбільш розповсюдженими при організації вузлів обліку є ті, що реалізують тахометричний, вихровий, електромагнітний і ультразвуковий методи.

Вивчення метрологічних і експлуатаційних характеристик витратомірів зазначених класів свідчить про істотні переваги і перспективи приладів з ультразвуковими перетворювачами витрати [5, 6].

Порівняльний аналіз розповсюджених приладів вимірювання витрати показує, що найбільш чутливими до спотворення епюри розподілу швидкості потоку вимірюваного середовища є ультразвукові витратоміри.

Ультразвуковий метод вимірювання витрати рідин базується на використанні ефекту зсуву акустичних коливань потоком контрольованого середовища. Величина зсуву може бути виявлена шляхом вимірювання одного з параметрів, що характеризують ультразвукові коливання – фази, частоти, амплітуди, тощо [5 – 9].

Ультразвукові витратоміри класифікують за такими ознаками: спосіб руху ультразвукових хвиль, спрямованість ультразвукового променя відносно потоку, кількість каналів вимірювання, вид акустичного шляху, спосіб розміщення п'єзоперетворювача [7, 8].

Перевагами ультразвукових витратомірів є простота конструкції, відсутність рухомих елементів та частин, що виступають до потоку, висока точність вимірювання у широкому діапазоні витрат, стабільність метрологічних і експлуатаційних характеристик протягом тривалого часу, незначні втрати тиску, висока чутливість [7 – 9].

Дослідження здійснено для час-імпульсного ультразвукового перетворювача витрати складної геометричної просторової форми з номінальним діаметром DN40.

Для проведення досліджень створено 3D-модель гідравлічного тракту витратоміра. Модельована конструкція представляє собою почергове послідовне з'єднання прямих ділянок з конфузоровим і дифузоровим. Значення геометричних параметрів перетворювача витрати отримані в результаті оптимізаційних розрахунків.

Для вказаної моделі перетворювача витрати проведено чисельне моделювання у SolidWorks Flow Simulation для діапазону зміни витрати, що дозволило визначити епюру розподілу швидкості потоку вимірюваного середовища у певних дискретних перерізах моделі для кожної витрати, а також отримати залежність перепаду тиску від витрати в усьому діапазоні вимірювання приладу.

Подальші дослідження проведено за наявності перед приладом місцевого опору у вигляді коліна, де змінним параметром була відстань між вихідним перерізом МО і вхідним перерізом модельованого перетворювача витрати. Для кожного набору умов експлуатації отримано епюри швидкості у певних перерізах моделі.

Порівняння епюр розподілу швидкості на вході до витратоміра за різних умов експлуатації дозволило визначити довжину прямої ділянки перед приладом, необхідну для того, щоб зменшити вплив гідравлічного опору на метрологічні характеристики витратоміра.

## **ВИСНОВКИ**

Для оцінки впливу епюри розподілу швидкості потоку на метрологічні характеристики витратоміра обрано ультразвуковий час-імпульсний вимірювач витрати.

У системі SolidWorks відтворено просторову форму гідравлічного тракту ультразвукового витратоміра з геометричними параметрами, отриманими в результаті оптимізації.

Чисельне моделювання здійснено у SolidWorks Flow Simulation для модельованої конструкції за наявності і відсутності гідравлічного опору у вигляді коліна, що дозволило отримати епюри швидкості потоку у певних перерізах моделі за означених умов вимірювання.

Аналіз результатів порівняння епюр розподілу швидкості на вході до витратоміра за різних відстаней від МО дозволив визначити довжину прямої ділянки перед приладом, необхідну для зменшення його впливу на похибку вимірювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ISO 4064-1:2005 "Measurement of water flow in fully charged closed conduits - Meters for cold potable water and hot water. Part 1: Specifications" (ИСО 4064-1:2005 Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счетчики холодной питьевой воды и горячей воды. Часть 1. Технические требования.).
- [2] ISO 4064-2:2005 "Measurement of water flow in fully charged closed conduits – Meters for cold potable water and hot water – Part 2: Installation requirements" (ИСО 4064-2:2005 Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счетчики холодной питьевой воды и горячей воды. Часть 2. Требования по установке.).
- [3] Коробко І. В. Оцінка якості визначення об'єму та об'ємної витрати води [Текст] / І. В. Коробко, Є. В. Писарець, А. В. Писарець // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування.* – 2016. – Вип. 51(1). – С. 89 – 94.
- [4] Рабинович, Л. Л. Гидравлика. / Л. Л. Рабинович. – М.: Недра, 1974. – 266 с.
- [5] Расходомеры и счетчики веществ: Справочник: Кн. 1. / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.
- [6] Расходомеры и счетчики веществ: Справочник: Кн. 2. / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
- [7] Писарець А. В. Вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням ультразвукового методу [Текст] / А. В. Писарець, С. О. Поліщук // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування.* – 2017. – Вип. 53(1). – С. 56 – 61.
- [8] Коробко И. В. Ультразвуковой метод измерения расхода и количества жидкостей и газов [Текст] / И. В. Коробко, А. Н. Дидковская, П. К. Кузьменко // *Сантехника. Отопление. Кондиционирование.* – 2006. – №4. – С. 16 – 20.
- [9] Морозов В. Б. Сравнительные характеристики ультразвуковых расходомеров [Текст] / В. Б. Морозов // *Приборы и системы управления.* – 1997. – №11. – С. 19 – 20.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А.В.*

**УДК 620.179:621.3.014.4**

*Т.В. Брацлавський, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., доц. Дубінець В.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМИ МІКРОАПАРАТАМИ**

**Анотація.** В даній статті представлені перспективи розвитку підводної робототехніки. Оглянуті принципи побудови сучасних систем керування підводними мікророботами. Представлена структура системи автоматичного керування рухом підводного апарату.

**Ключові слова:** підводний мікроробот, математична модель.

### **ВСТУП**

Підводні мікророботи (ПМР) широко застосовуються в світі для виконання пошукових, інспекційних та інших видів робіт під водою. Практичне застосування ПМР характеризується складними умовами експлуатації, які обумовлені невідомою підводною навігаційною обстановкою, дією зовнішніх збурень, зміною власних масогабаритних і гідродинамічних параметрів ПМР в ході виконання підводних робіт. Автоматизація управління рухомими об'єктами різного призначення завжди перебувала в центрі уваги вчених.

### **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПМР**

Малогабаритний підводний робот можна уявити як складний об'єкт автоматичного управління, що складається з наступних складових елементів [1-2]:

- корпус ПМР як тверде тіло, що рухається в воді;
- рушійно-рульова система (РРС);
- інформаційна (сенсорна) система (ІС);
- система автоматичного управління рухом;
- комунікаційна система (КС).

Архітектура ПМР як керованого рухомого об'єкта приведена на рис. 1.

Елементи ІС включають датчики внутрішньої інформації про поточні параметри механізмів РРС, датчики інформації про просторові параметри руху і датчики для вимірювання параметрів зовнішнього середовища. До першої групи сенсорів відносяться датчики частоти коливань біоподібного рушія, датчики швидкості ПМР, датчики температури всередині герметичних корпусів з модулями електроніки. Другу групу утворюють датчики кутів ризику, крену і диференту, гідростатичного тиску, вимірювачі висоти ПМР над ґрунтом тощо.

До складу систем автоматичного управління (САУ) входить блок опорних програм, що надходять від комунікаційної системи, і містять дані про параметри заданих траєкторій руху ПМР, мікроконтролери, електронні перетворювачі цифрової і аналогової інформації, які обробляють інформацію від ІС і управляють механізмами РРС в реальному часі. Внутрішній інтерфейс зв'язку між системами ПМР і зовнішнім інтерфейсом, пов'язаним з оператором і іншим зовнішнім обладнанням, забезпечує комунікаційна система.

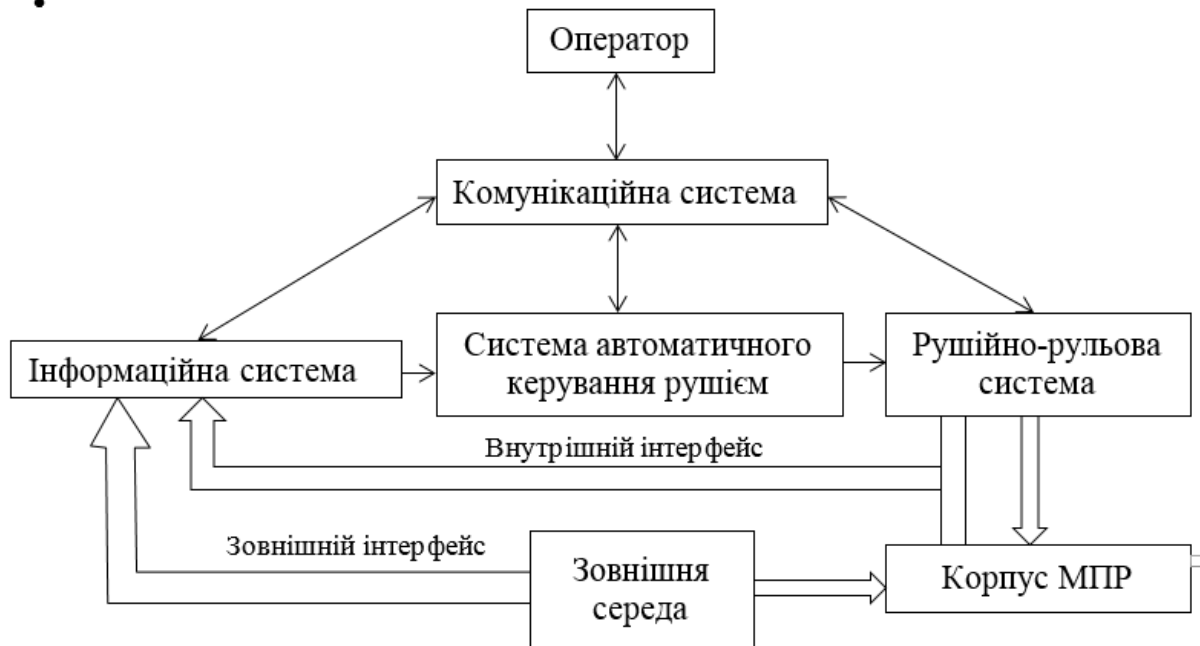


Рисунок 1. Архітектура ПМР як керованого морського рухомого об'єкта

## КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МПР

Виділяють наступні види автоматичного управління ПМР[3-4]:

- стабілізація параметрів руху - стабілізація курсу, швидкості, глибини тощо;
- програмне керування - автоматичний рух по програмно заданій підводній траєкторії;
- адаптивне управління - управління з автоматичним настроюванням регуляторів або систем управління при зміні параметрів ПМР або характеристик зовнішнього середовища;
- інтелектуальне управління - управління, засноване на застосуванні елементів штучного інтелекту для моделювання невідомих перешкод на основі локальної сенсорної інформації від ІС або від моделей віртуальної реальності, для моделювання коротких траєкторій руху ПМР в середовищі з відомими або невідомими перешкодами тощо.

## СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ МПР

Багаторівнева ієрархічна схема САУ ПМР наведена на рис. 2[5].

Верхній рівень ієрархії - це рівень оператора, який крім функцій завдання програм (режимів роботи) для ПМР і контролю за його роботою має можливість безпосередньо управляти виконавчими механізмами робота шляхом завдання сигналів управління на САУ локального рівня.

На середньому рівні ієрархії знаходиться бортова керуюча ЕОМ, яка забезпечує централізоване управління плоским просторовим рухом ПМР шляхом генерації вектора управління  $U = \{U_1(t), \dots, U_n(t)\}$  - опорних програм



САУ по кожній керованій осі руху як функції часу або відповідних контрольованих змінних - параметрів керованого руху.

Локальний рівень служить для автоматичного управління окремими виконавчими механізмами, які забезпечують керований рух МПР у водній товщі.

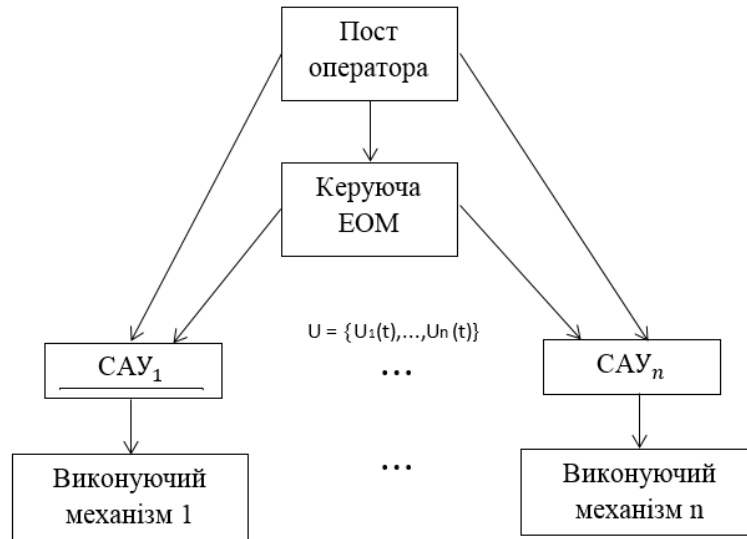


Рисунок 2. Структура багаторівневої ієрархічної розподіленої системи автоматичного управління рухом МПР

Таким чином, сучасні системи управління просторовим рухом МПР будуються, як правило, як багатоканальні, причому кожен канал (тракт) забезпечує управління окремим параметром просторового руху - глибиною, курсом, диферентом.

Ключовими питаннями при розробці зазначених апаратів є енергоефективність і малошумність. Основними джерелами шумів є гребні гвинти, гідравлічні шуми, створювані водяним потоком, обтікаючим корпус. Для підвищення енергоефективності необхідно використовувати двигуни з максимальним ККД. Для вирішення обох завдань перспективним представляється використання в конструкції апаратів рушіїв на основі штучних м'язів. Заміна двигунів штучними м'язами може призвести до повного шумозаглушення. Крім того, звичайні мотори не в змозі відтворити динамічний 3D-рух живих об'єктів, таких як риби [6].

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРОВАНОГО РУХУ ПІДВОДНОГО МІКРОРОБОТА

Для більшості підводних апаратів просторову траєкторію руху являють як сукупність ділянок руху горизонтальної та вертикальної площинах. Для отримання математичної моделі підводного мікроробота використовують наступні формули [7]:

- для вертикальної площини

$$f(x, \delta, t) = \begin{cases} D^{-1}(F - BDq) \\ \omega_z \\ v_x \cos\theta + v_y \sin\theta; \\ -v_x \sin\theta + v_y \cos\theta; \end{cases} \quad (1)$$

- для горизонтальної площини

$$f(x, \delta, t) = \begin{cases} D^{-1}(F - BDq) \\ \omega_y \\ v_x \cos\psi + v_y \sin\psi; \\ -v_x \sin\psi + v_y \cos\psi; \end{cases} \quad (2)$$

де  $x$  – вектор стану;

$\delta$  – вектор керуючих впливів;

$q$  – вектор узагальнених швидкостей;

$F$  – вектор зовнішніх сил и моментів;

$D$  – матриця приєднаних мас;

$B$  – матриця узагальнених швидкостей;

$V_x, V_y, V_z$  – лінійні швидкості руху;

$\omega_y, \omega_z$  – кутові швидкості руху;

$\psi$  – кут курсу;

$\theta$  – кут диференту.

## ВИСНОВКИ

В статі представлені принципи, по яких будуються сучасні підводні мікророботи, оглянута система автоматичного управління, та наведені загальні формули руху підводних роботів. Ця інформація є стартовою точкою в розробці підводного робота, але потребує доповнення у конкретних випадках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Розенблат Ф. Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга. Пер. з англ. / Під ред. С.М.Осовца. – М.: Мир, 1965. – 278 с.
- [2] Ульшин В.О., Євстигнєєв І.М., Теорія автоматичного керування. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 147 с..
- [3] Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др, Автономные подводные роботы: системы и технологии, М.: Наука, 2005. - 398 с. .
- [4] Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю., Нейросетевые системы управления. – М.: Высшая школа 2002. – 183 с.
- [5] Анучин О.Н., Емельянцеv Г.И. , Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1999. – 357 с.
- [6] Т.В. Брацлавський, В.І. Дубінець, «Підводний біоподібний мікроробот», Збірник статей ХІ науково-практичної конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ» с.495, 2018.
- [7] Малыгин Г.И. Разработка системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата. // Матер. ХІ конф. молодых учёных "Навигация и управление движением". С.-Пб: ЦНИИ "Электроприбор", 2009. С.301-307.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Дубінець В.І.*

УДК 681.269

О. М. Галузінський, студент гр. ПМ-81мп, старший викладач Зайцев В. М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ВАГИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

**Анотація.** Зазначається вплив позацентрального розміщення вантажів на економічні показники експлуатації рухомого складу та колійної інфраструктури залізничного транспорту. Для об'єктивного визначення відхилення центру ваги від поперечної та поздовжньої симетрії вагону вимагається розробка вимірювальних систем положення центру ваги рухомого об'єкта відносно рейок платформи. Метрологічні якості визначаються алгоритмічним забезпеченням функціонування даних систем. Проведені експериментальні дослідження для перевірки працездатності розроблених алгоритмів.

**Ключові слова:** ваговимірювальна система, центр ваги.

### ВСТУП

Залізничний транспорт сьогодні є стратегічно важливою для економіки артерією перевезення різних видів вантажів з країн Європи та Азії і застосовується практично на будь-якому великому підприємстві. Забезпечення ефективного використання шляхів сполучення одна із головних економічних задач держави. З цього випливає проблема забезпечення безпеки руху, недотримання правил якого призводить до швидкого зносу рухомого парку залізниці та самого залізнично-колійного господарства. Це в свою чергу підвищує затрати на їх експлуатацію та знижує економічну доцільність використання. Таким чином технічний рівень транспорту й самих залізничних шляхів безпосередньо впливає на економічні показники транспортної галузі та економіки України в цілому.[1]

Для залізничних вагонів встановлені правила перевезення і тарифів залізничного транспорту України, за якими загальний центр тяжіння вагонів центр ваги (ЦВ<sub>в</sub>) повинен розташовуватися, як правило, на лінії перетину поздовжньої і поперечної площин симетрії вагону. У випадках, коли дану вимогу неможливо виконати з об'єктивних причин, або виконання потребує значних додаткових витрат на обладнання та проведення процедури центрування вантажу допускається нормоване зміщення ЦВ<sub>в</sub> щодо поздовжньої і поперечної площин симетрії вагона.[3]

Для контролю їх завантаженості необхідне використання вимірювальних системи визначення положення центру ваги залізничних вагонів. Дане рішення зменшить аварії на шляхах та підвищить строк експлуатації залізничних колій.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи являється експериментальна перевірка функціонування розробленого алгоритмічного забезпечення систем визначення положення центра ваги.

Для перевірки був розроблений експериментальний стенд (рис. 1), який базується на металевій платформі на якій закріплено чотири ваговимірювальні тензорезисторні перетворювачі L6D паралелограмного типу виробництва компанії ZemicUSA (найбільша границя зважування 5 кг, категорія точності С3). До експериментальної установки входять чотири аналого-цифрових

перетворювачів тензосигналів сигма-дельта типу AD105 (АЦП) виробництва компанії НВМ (чутливість  $\geq 0,1$  мкВ/поділку, похибки  $e < 1/6000$  діапазону вимірювання), конвектор RS-485/USB, та персональний комп'ютер на базі процесору Intel Core i7-7700k під управлінням операційної системи Windows 10 Pro. Вантажоприймальна платформа виконана із скла на яку нанесена координатна сітка. Розроблені алгоритми функціонування вимірювальної системи реалізовані в вигляді програмного забезпечення на високорівневій мові програмування Python. Програмні структурні модулі забезпечують одночасне зчитування кодів з АЦП, їх алгоритмічну обробку та візуалізацію результатів.

Основну увагу було приділено дослідженню метрологічних характеристик вимірювальної системи. Основним критерієм були вибрані абсолютні похибки визначення загальної маси, координат центру мас та параметрів статичної характеристики.

Для цього були проведені експерименти по калібруванню системи, калібруванні кожного датчика та роботі системи в режимі вимірювань.

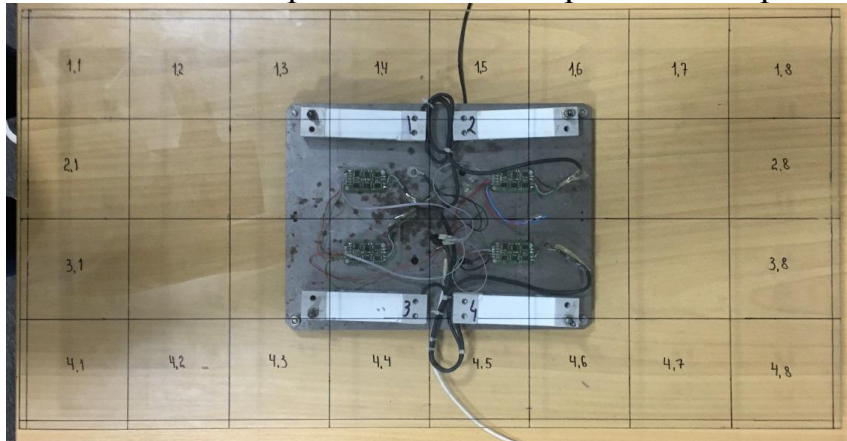


Рисунок 1. Експериментальний стенд

Математичну модель задачі аналізу можна записати у вигляді рівнянь статичної рівноваги:

$$\begin{aligned} G_0 &= R_1 + R_2 + \dots + R_n; \\ X_0 \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) &= X_1 \cdot R_1 + X_2 \cdot R_2 + \dots + X_n \cdot R_n; \\ Y_0 \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) &= Y_1 \cdot R_1 + Y_2 \cdot R_2 + \dots + Y_n \cdot R_n, \end{aligned} \quad (1)$$

де:

$G_0$  – вага;

$R_i$  – приріст зусилля, що викликане дією сили  $G_0$  при координатах центру мас  $(X_0, Y_0)$ ;

$X_i, Y_i$  – координати тензодатчиків де  $i = 1 \dots 4$ ;

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Градування датчиків.** Методика градування передбачала трикратне послідовне навантаження та розвантаження кожного окремо датчика 12 мірами маси. Результати регресійного аналізу отриманих даних представлені нижче на рис. 2 та рис 3.

Визначені чутливості датчиків становили для першого датчика – 200,08, другого – 192,74, третього – 193,13 і четвертого – 196,13, а відносні похибки

вимірювання приведені до верхньої границі зважування датчиків (5 кг) не перевищували 0,025%.

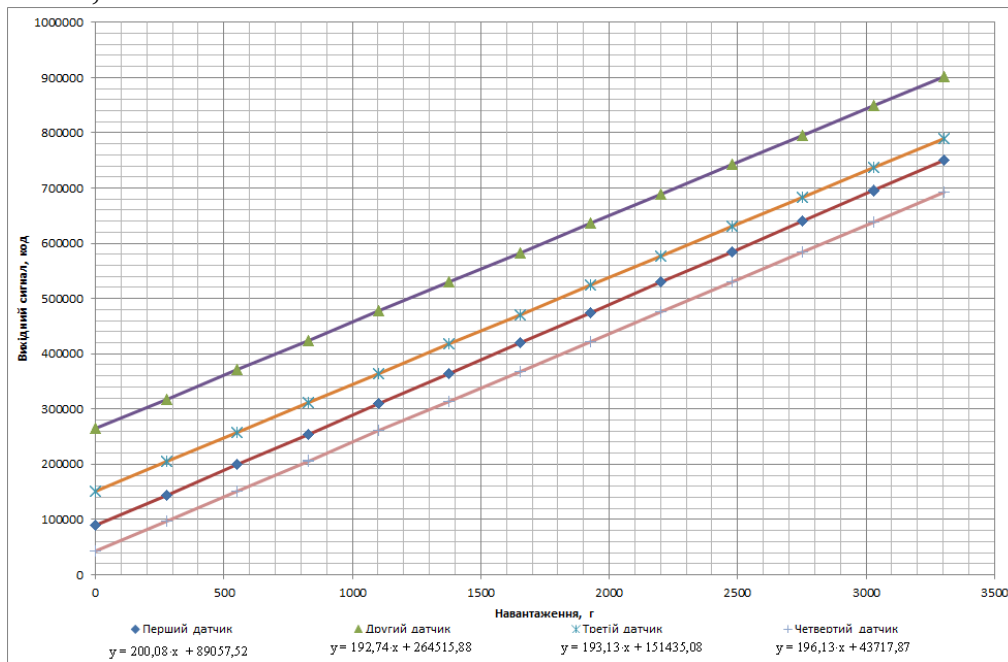


Рисунок 2. Статичні характеристики датчиків

Графіки похибок датчиків представлено нижче (рис. 3):

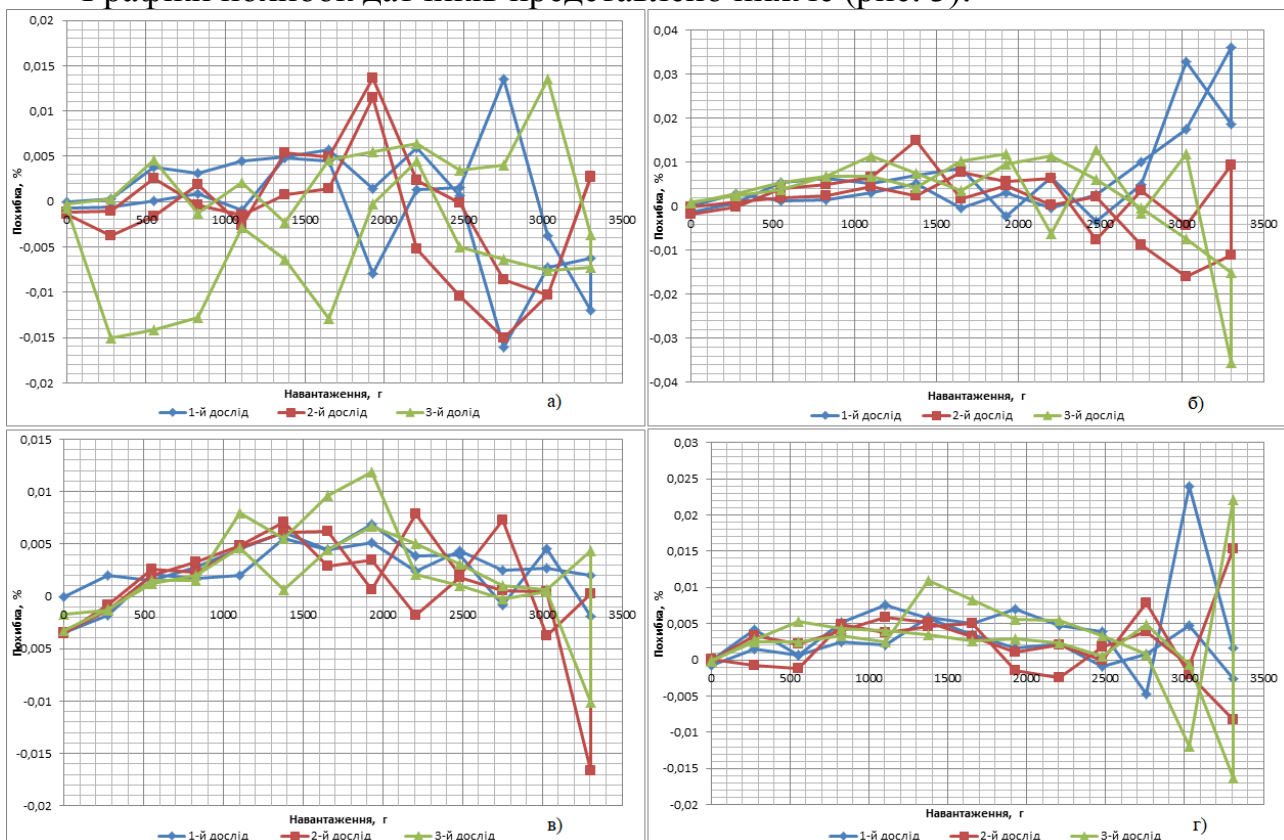


Рисунок 3. Похибки датчиків: а) похибка першого датчика, б) похибка другого датчика, в) похибка третього датчика, г) похибка четвертого.

**Калібрування системи.** Система рівнянь (1) для  $n$  перетворювачів по відношенню до координат точок силових реакцій  $(X_i, Y_i)$   $2 \cdot (n-1)$  раз статично невизначена. Для розкриття невизначеності її потрібно доповнити, наприклад

для  $n = 4$ , ще шістьма рівняннями. Таким чином модель прийме вигляд (2):

$$\begin{cases} R_{11} \cdot X_1 + R_{21} \cdot X_2 + R_{31} \cdot X_3 + R_{41} \cdot X_4 = G_1 X_{11} \\ R_{11} \cdot Y_1 + R_{21} \cdot Y_2 + R_{31} \cdot Y_3 + R_{41} \cdot Y_4 = G_1 Y_{11} \\ R_{12} \cdot X_1 + R_{22} \cdot X_2 + R_{32} \cdot X_3 + R_{42} \cdot X_4 = G_2 X_{22} \\ R_{12} \cdot Y_1 + R_{22} \cdot Y_2 + R_{32} \cdot Y_3 + R_{42} \cdot Y_4 = G_2 Y_{22} \\ R_{13} \cdot X_1 + R_{23} \cdot X_2 + R_{33} \cdot X_3 + R_{43} \cdot X_4 = G_3 X_{33} \\ R_{13} \cdot Y_1 + R_{23} \cdot Y_2 + R_{33} \cdot Y_3 + R_{43} \cdot Y_4 = G_3 Y_{33} \\ R_{14} \cdot X_1 + R_{24} \cdot X_2 + R_{34} \cdot X_3 + R_{44} \cdot X_4 = G_4 X_{44} \\ R_{14} \cdot Y_1 + R_{24} \cdot Y_2 + R_{34} \cdot Y_3 + R_{44} \cdot Y_4 = G_4 Y_{44} \\ R_{11} \cdot X_1 + R_{21} \cdot X_2 + R_{31} \cdot X_3 + R_{41} \cdot X_4 = G_1 X_{11} \\ R_{11} \cdot Y_1 + R_{21} \cdot Y_2 + R_{31} \cdot Y_3 + R_{41} \cdot Y_4 = G_1 Y_{11} \\ R_{12} \cdot X_1 + R_{22} \cdot X_2 + R_{32} \cdot X_3 + R_{42} \cdot X_4 = G_1 X_{22} \\ R_{12} \cdot Y_1 + R_{22} \cdot Y_2 + R_{32} \cdot Y_3 + R_{42} \cdot Y_4 = G_1 Y_{22} \\ R_{13} \cdot X_1 + R_{23} \cdot X_2 + R_{33} \cdot X_3 + R_{43} \cdot X_4 = G_1 X_{33} \\ R_{13} \cdot Y_1 + R_{23} \cdot Y_2 + R_{33} \cdot Y_3 + R_{43} \cdot Y_4 = G_1 Y_{33} \\ R_{14} \cdot X_1 + R_{24} \cdot X_2 + R_{34} \cdot X_3 + R_{44} \cdot X_4 = G_1 X_{44} \\ R_{14} \cdot Y_1 + R_{24} \cdot Y_2 + R_{34} \cdot Y_3 + R_{44} \cdot Y_4 = G_1 Y_{44} \end{cases} \quad (2)$$

де:

$R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}$  – значення навантажень перетворювачів в  $i$ -ому експерименті де  $i = 1 \dots 4$ ;

$X_i, Y_i$  – координати тензодатчиків де  $i = 1 \dots 4$ ;

$G_i = R_{1i} + R_{2i} + R_{3i} + R_{4i}$  – значення тестової ваги;

$X_{ii}, Y_{ii}$  – координати прикладання тестового навантаження.

Значення навантажень  $R_{ij}$  в системі рівнянь (2) визначаються згідно статичних характеристик тензоперетворювачів

$$R_{ij} = (K_{ij} - K_{0i}) / S_i, \quad (3)$$

де:

$S_i$  – чутливість  $i$ -го перетворювача;

$K_{i0}$  – початковий вихідний код  $i$ -го перетворювача;

$K_{ij}$  – вихідний код  $i$ -го перетворювача при  $j$ -ом навантаженні.

В загальному випадку визначення чутливостей та початкових вихідних кодів входять до процедур калібрування. Тому кількість коефіцієнтів, які потрібно визначити, і як наслідок кількість рівнянь збільшується до  $2 \cdot (2n-1)$ . При доекспериментальному визначенні  $K_{0i}$ , та  $n = 4$  кількість рівнянь системи становить 12.

Методика калібрування включала наступні процедури: 1) визначення  $K_{0i}$  кодів з датчиків ненавантажених ваг; 2) навантаження платформи ваг мірами мас відомих значень в точки з відомими координатами; 3) фіксація значень координат  $(X_{0j}, Y_{0j})$  розташування мір навантажень, вихідних кодів  $K_{ij}$  для  $i = 1 \dots 4$  датчиків, в  $j = 1 \dots 6$  навантаженнях; 4) визначення з системи дванадцяти рівнянь (2)-(3) восьми координат  $(X_i, Y_i)$  та чотирьох значень  $S_i$ .

В нашому випадку отримали в мм:  $X_1 = 28,014$ ,  $Y_1 = 31,483$ ;  $X_2 = 54,394$ ,  $Y_2 = 29,410$ ;  $X_3 = 28,175$ ,  $Y_3 = 9,012$ ;  $X_4 = 54,567$ ,  $Y_4 = 10,070$ .

**Задача вимірювання.** Із рівнянь статички (1) можна отримати систему рівнянь вимірювання ваги  $G_0$  та координати центра ваги вантажу  $(X_0, Y_0)$ . Із



першого рівняння можна знайти вагу вантажу. Оскільки вага дорівнює сумі реакції датчиків, то:

$$G_0 = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (4)$$

Із другого та третього можна знайти відповідно координати центру ваги  $X_0$ ,  $Y_0$ , таким чином маємо:

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{R_1}{G_0} \cdot X_1 + \frac{R_2}{G_0} \cdot X_2 + \frac{R_3}{G_0} \cdot X_3 + \frac{R_4}{G_0} \cdot X_4 \\ Y_0 &= \frac{R_1}{G_0} \cdot Y_1 + \frac{R_2}{G_0} \cdot Y_2 + \frac{R_3}{G_0} \cdot Y_3 + \frac{R_4}{G_0} \cdot Y_4 \end{aligned} \quad (5)$$

Підставивши координати датчиків отриманих на етапі калібрування та покази з датчиків за (5) можна отримати координати центру ваги.

Оцінку точності функціонування вимірювальної системи проводили:

- за відхиленнями значень отриманих з виразу (4)  $G_{0j}$  та значень ваги мір мас, які використовувалися при навантаженні платформ;
- за відхиленням значень отриманих з виразу (5)  $(X_{0j}, Y_{0j})$ , та координат встановлення тестових навантажень  $(X_{ii}, Y_{ii})$ ;
- за відхиленням значень  $S_i$  отриманих при рішенні системи рівнянь (2) та значень чутливостей, які отримані при індивідуальному градуванні кожного датчика окремо.

Основними складовими похибки визначення координат центру мас являються похибки вимірювання силового навантаження кожного датчика та похибок просторового розташування калібрувальних навантажень у вибраній системі координат.

За всіма критеріям відносні похибки не перевищили 0,025%.

## ВИСНОВОК

Експериментальні дослідження показали працездатність розроблених алгоритмів функціонування системи визначення загальної маси та координат центру ваги рухомих об'єктів в системі координат пов'язаних з вимірювальними перетворювачами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Швець А. О. Вплив позовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники [Текст] // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – 2018. - № 5. – С. 115-128.
- [2] 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.
- [3] Збірник № 17 Правил перевезення і тарифів залізничного транспорту України. – Київ : САМ, 2005. – 176 с.
- [4] Інструкція про порядок застосування засобів ваговимірювальної техніки на залізничному транспорті України: Наказ Міністерства інфраструктури України 31.07.2012 № 442.

*Науковий керівник – старший викладач Зайцев В. М.*

## УДК 532.217

*М.І. Літовко, студентка гр. ПМ-81мп, к.т.н., доц. Нікітін О.К.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ВАГИ ДЛЯ ВАГОВИХ РІВНЕМІРІВ**

**Анотація.** У статті представлено матеріали, за яких була проведена робота зі збору та аналізу даних. Розглянуто основні принципи дії вагових рівнемірів та огляд методів вимірювання рівня рідини за допомогою перетворювачів у вигляді пружних елементів. Окремо зібрані матеріали, їх опис та висновки приведені в даній статті.

**Ключові слова:** ваговий рівнемір, динамометр, пружний елемент.

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день вимірювання фізичних величин широко застосовуються в різноманітних галузях науки, медицині, промисловості, техніки, сільському господарстві, машинобудуванні тощо. Існує декілька способів вимірювання: електричні вимірювання електричних величин, неелектричні вимірювання неелектричних величин і електричні вимірювання неелектричних величин.

Перетворювачем механічного сигналу називають пружний елемент, що використовується майже в усіх датчиках сили, тиску та прискорення. Його вхідною величиною є сила (момент) або тиск, а вихідною – переміщення (лінійне або кутове) чи деформація. Такі пружні елементи краще розподіляти на перетворювачі «сила-деформація» і «сила-переміщення» (перетворювачі сили), «тиск-деформація» і «тиск-переміщення» (перетворювачі тиску), «момент-кут» тощо.

### **ВАГОВИЙ РІВНЕМІР**

За основу первинних перетворювачів у вагових рівнемірах застосовують вагові пристрої (динамометри). Застосовувати динамометри для вимірювання рівня заповнення ємності необхідно в таких випадках:

- заповнення резервуарів агресивними матеріалами, щоб контакт матеріалу з датчиком був відсутній;
- наявні нерівності у резервуарах (зазвичай характерно для сипких речовин);
- підсумовування результатів вимірювань у декількох резервуарах, що розміщені в різних місцях;
- використання змішувальних пристроїв при вимірюванні рівня, де вимірювальні складові інших систем вимірювання впливають на робочий процес.

Такий метод краще використовувати тоді, коли до динамометра чіпляють резервуар або його установка на динамометр не викликають труднощів у конструкції. Він доречний зазвичай для грубих сипких матеріалів: спочатку зважують резервуар, а потім після визначення усіх параметрів у тому числі і насипну вагу матеріалу, обчислюють рівень заповнення резервуара.

Використовуючи лише один динамометр при вимірюванні рівня можливо лише за такої умови, якщо в резервуарі міститься рідина. На рисунку 1



схематично зображено резервуар 1 з одним динамометром 2 на базі тензоперетворювача [1].

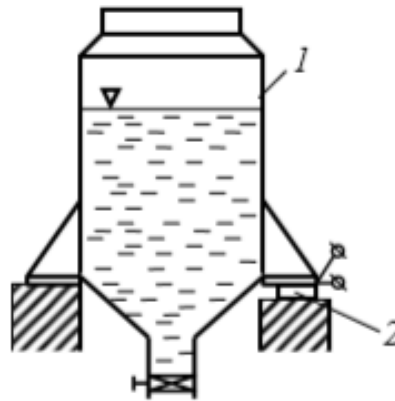


Рисунок 1. Схема вагового рівнеміра

В якості перетворювачів у вагових рівнемірах можливим є застосування пружних елементів таких як стержень, кільце, мембрана, або балка.

Основні види напруженого деформаційного стану пружних елементів:

- стиск (розтяг);
- згин;
- зсув;
- кручення.

Осьовий розтяг або стиск (залежно від напрямку сили по відношенню до стержня) – це прикладання зовнішніх сил у центрі ваги перерізів бруска, що діють вздовж його осі.

Якщо зовнішнє навантаження спричиняє скривлення прямолінійної осі елемента, то такий стан називається згином. Такий елемент називають балкою. При дії зовнішніх навантажень тільки в одній площині такий згин називається плоским.

Деформація зсуву – зміщення двох паралельних перерізів стрижня. Працюють на зсув багато деталей, наприклад штифти, заклепки, клеєні, зварені та паяні з'єднання тощо. При такому виді деформації можуть виникати дотичні напруження [2].

Кручення – це вид деформації стержня, при якому в поперечних перерізах виникає внутрішній силовий фактор під назвою крутний момент. Усіма внутрішніми зусиллями вважають нормальну і поперечну сили, згинальний момент, що при крученні є відсутніми. Кручення впливає на вали двигунів і верстатів, елементи просторових конструкцій, осі моторних двигунів тощо. Вважають, що деформація стержня залежить від форми його поперечного перерізу. Такі стержні називаються валами [3].

Широко застосовують суцільний стержень як пружний елемент при великій силі (понад 10 кН). Порожністі стержні підвищують чутливість перетворювачів, однак межа перетворювання не повинна досягати нижче ніж 0,5 кН. Тому важливим недоліком таких перетворювачів визнають малі вихідні переміщення [4].

Кільцеві пружні елементи досить прості у виготовленні. Для таких елементів доволі легко досягаються високі класи точності виконання

геометричних розмірів, чистоти обробки поверхонь. Крім того, пружні кільця широко застосовують при побудові датчиків з обмеженою масою і габаритними розмірами.

У вимірювальних перетворювачах використовують такі елементи як постійного, так і змінного перерізу.

Мембраною називається гнучка або пружна пластина, що закріплена по замкнутому контуру і розділяє дві порожнини з різними тисками чи відділяє замкнену порожнину від навколишнього середовища.

Розрізняють пружні і гофровані мембрани. Їх виготовляють з різних марок сталі, бронзи, томпаку, латуні і т. д.

Плоскі мембрани працюють зі значно меншими прогинами, ніж гофровані, а нелінійність їх статичної характеристики значно більша.

Найчутливішими до дії сил є балкові пружні елементи. Балки зазвичай працюють на згин або стиск (розтягнення). Таку складну деформацію при згині можна описати двома параметрами [5]:

1) прогин – зміщення центру ваги перерізу балки у напрямку, перпендикулярному до її осі. Найбільшим прогином балки називають стрілою прогину.

2) кутом повороту перетину називають кут, на який перетин повертається стосовно свого початкового положення (або кут між дотичною до пружної лінії і початкової осі балки).

## **ВИСНОВКИ**

Вимірювальні пристрої в різноманітних галузях науки та промисловості відіграють важливу роль. Завдяки різноманітній кількості опцій та модифікацій можливо підібрати економний, вигідний та правильний варіант. Слід дотримуватися менших похибок вимірювання, простоти у виготовленні, якісного обслуговування обладнання, менших витрат праці на монтаж та невеликих капітальних витрат при налаштуваннях.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – с. 199
- [2] Опір матеріалів. – Режим доступу: <http://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/Rozdil-2.pdf>
- [3] Кручення. Крутий момент. Епюри крутих моментів. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5397472/page:4/>
- [4] Кованько, В.В. Загальнотехнічні вимірювання і прилади: навч. посіб. / В. В. Кованько, В. В. Древецький, А. О. Христюк. – Рівне: НУВГП, 2013. – с. 13
- [5] Основные понятия и определения. – Режим доступа: [https://studopedia.su/10\\_97474\\_deformatsiya-balok-pri-ploskom-izgibe.html](https://studopedia.su/10_97474_deformatsiya-balok-pri-ploskom-izgibe.html)

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

## УДК 628.9.06

*Р.Р. Сніжко, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., доц. Киричук Ю.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОЗУМНЕ ОСВІТЛЕННЯ

**Анотація** В роботі був проведений аналіз сучасних елементів розумного освітлення приміщення з використанням існуючої в приміщенні електропроводки.

**Ключові слова:** розумний дім, освітлення, розумний світильник, розумний цокіль (патрон), розумна лампа.

### ВСТУП

Нікого з нас вже давно не дивує, що настільний вентилятор може оснащуватися цифровим таймером автоматичного відключення, а всередині електричного чайника може бути вбудований мікропроцесор, що дозволяє керувати температурою води і підтримувати її гарячою. В наших приміщеннях, де ми проводимо значну частину свого життя, працюємо відпочиваємо і розважаємося, більшість з нас задовольняється архаїчною електричною проводкою, яку була прокладена багато років тому.

Системи цифрового управління освітленням та домашньою електронікою отримали широке застосування на початку 1990-х і почали використовуватись в нових будинках елітного класу.

Найпростішу річ, що виконує «розумний дім» це включення і вимикання світла в приміщенні своїй квартирі. Світло в приміщенні може включатися за розкладом, затемнюватися і розпалюватися після заходу сонця за наявності в приміщенні людини і вимикається при виході з приміщення. Його можна пов'язати з датчиками руху або присутності та з іншими розумними пристроями та системами. Такими вимикачами світла можна управляти голосом, пультом або через смартфон.

Метою цієї роботи є розглянути способи як створити вдома систему розумного освітлення приміщення з використанням існуючої електропроводки.

### ОГЛЯД ЕЛЕМЕНТІВ РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Розглянемо кілька способів зробити світло в приміщенні або по всьому будинку розумним (без затратного ремонту з використанням існуючої електропроводки).

*Першим способом* є купівля розумного світлодіодного світильника стельового/настінного або настільного (рис. 1) [1]. Робота такого світильника управляється за допомогою пульта. Залежно від налаштованої користувачем колірної температури випромінювання відтінок корпусу буде змінюватися від теплого до нейтрального або холодного (в діапазоні від 3000 до 6000 К).

Переваги таких світильників: при низькій потужності споживання випромінює значну потужність випромінювання (наприклад світильник потужністю 70 Вт випромінює 630 Вт); можна настроїти колір температури випромінювання; вимикання світла через запрограмований виробником час (в залежності від моделі 30 хв.); робота світильника в режимі нічника. Крім того такими світильниками можна управляти за допомогою звичайного вимикача

Шляхом вмикання та вимикання світильника в проміжку до 10 с відбувається перемикання кольору на холодний, теплий, нейтральний та режим нічника.



Рисунок 1. Стельовий розумний світильник

Другим способом є оснащення звичайної лампи розумними патронами (рис. 2) [2]. Такі «перехідники» допоможуть перетворити будь-яку лампочку або світильник у розумний. Цей перехідник встановлюється між стандартним патроном освітлювача і звичайною лампою.



Рисунок 2. Розумний патрон

Такий спосіб підходить тільки для освітлювальних приладів, в які встановлюють лампочки розжарювання. На кожен патрон треба встановлювати свій перехідник, крім того конструктивно вони підходять не до всіх світильників. Звичайний вимикач є лишньою ланкою, його треба або прибирати або тримати весь час увімкнутим.

Такі пристрої розраховані на потужність зазвичай 200 Вт (максимум 400 Вт) і керуються за допомогою смартфона по WiFi або пультом по радіоканалу, вони підтримують безкоштовні додатки для iOS і Android (Mobile eWeLink, Ready for Sky), можливість синхронізації - статус пристрою в режимі реального часу, що надається з додатком; встановлення таймерів/таймерів зворотного відліку для включення/вимикання в зазначений час, можливість керування освітленням з будь якого куточка світу, створення сценаріїв роботи освітлення.

Третій спосіб є встановлення самої розумної лампи (смарт-лампа) (рис. 3) [3]. На відміну від стандартних ламп розжарювання їх смарт-лампи дозволяють повністю контролювати роботу всієї системи. Підключення за допомогою бездротових мереж Bluetooth і Wi-Fi надає можливість налаштувати освітлення з будь-якого зручного місця в будинку для цього знадобиться лише ноутбук, планшет або смартфон.



Рисунок 3. Розумна лампочка

Такі смарт-лампочки мають наступні переваги: дистанційне керування за допомогою смартфона; низький рівень споживання енергії за рахунок спеціальних світлодіодів для тривалого користування і економії; велика кількість відтінків і кольорів освітлення, деякі моделі можуть перемикаєти колір під відповідну музику; вибір рівня яскравості і насиченість кольору; таймер для планування включення або відключення лампочки в визначений час.

За допомогою смартфона можна керувати одночасно кількома смарт-лампами або розумними патронами.

До недоліків таких пристроїв (смарт-ламп і розумних патронів) є можливість злому лампочки хакерами. При цьому їх конструкція досить складна, що значно підвищує ризик поломки і зменшує термін експлуатації. Але остання проблема вирішується шляхом покупки пристроїв у перевірених виробників.

Конструктивно такі смарт-пристрої складаються з мікроконтролера, приймача, драйвера для світлодіодів. Також в них вбудовують сенсори (мікрофони, динаміки, точки доступу WiFi, датчики руху та присутності) для розширення функцій.

Крім того існують лампочки з вбудованим сенсором руху. Їх єдина функція полягає у вмиканні світла при появі людини в приміщенні.

## **ВИСНОВКИ**

Як показано вище існують багато способів для створення розумного освітлення в приміщенні, квартирі, будинку використовуючи існуючу електричну проводку. З розвитком сучасних технологій можливі відкриття нових областей використання розумного освітлення.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Світильник стельовий Trio Shogun з пультом ДК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://rozetka.com.ua/ua/trio\\_628513001/p24559600/](https://rozetka.com.ua/ua/trio_628513001/p24559600/)
- [2] Розумний цоколь Redmond Skysocket 202S [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://redmond.company.ua/products/sky-home/skysocket-202s/>
- [3] Розумна лампочка NOUS Smart Wifi Bulb P1[Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1070294116-umnaa-lampochka-nous.html>

*Науковий керівник д.т.н., доц. Киричук Ю.В*

## УДК 681.5.08

*О.І. Фасоля, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### СМАРТ-ШОЛОМ ВЕЛОСИПЕДИСТА

**Анотація.** В статті виконано огляд матеріалів для створення пристрою підвищення безпеки велосипедиста в момент руху містом в нічний час. Розглянуто можливість побудови пристрою на базі платформи швидкої розробки Arduino використовуючи радіо модулю NRF24L01, дисплей, адресну діоду стрічку та акселерометру.

**Ключові слова:** Arduino, мікроконтролер ATmega328, модуль радіо зв'язку NRF24L01, акселерометр.

#### ВСТУП

На даний момент у світі набирає популярності тенденція використання екологічного транспорту, а саме велосипеду. Оскільки, використовуючи велосипед зменшується кількість шкідливих викидів в атмосферу та поліпшується фізичний стан велосипедиста.

Люди, які їздять на велосипеді довше живуть та в середньому менше хворіють за рік.

За статистикою, якщо їздити на велосипеді протягом 20 хвилин щодня, зменшується ризик передчасної смерті на 20%.

А також, користуючись велосипедом дозволяє зекономити витрати на використання автомобіля та громадського транспорту.

#### ПІДГОТОВКА ТЕКСТУ СТАТТІ

Під час руху велосипедист повинен надягати шолом, який виконує функцію забезпечення безпеки у разі настання аварійної ситуації.

Пропонується додати до шоломи функціональності, а саме обладнати його світловими індикаторами, які будуть вказувати наміри велосипедиста – це сигнали повороту та сигнал зупинки. Додавання таких складових до шолому дозволить виділити велосипедиста в нічний період часу та збільшить видимість свого розташування на проїжджій частині дороги.

При проведенні огляду існуючих пристроїв для велосипедистів було запропоновано створити пристрій, який складається з двох частин шолома та блока керування (див. рис. 1). Для зручності використання пристрою основні частини поєднуються між собою за допомогою бездротового зв'язку, це зменшує кількість дротів, що в свою чергу робить прилад компактним та практичним.

Принцип дії блоку керування полягає у наступному, контролер отримує інформацію від акселерометра та перемикача. Від акселерометра він отримує інформацію про значення прискорення і оброблює отримані дані для того, щоб визначити момент початку періоду гальмування та передає керуючий сигнал до передавача радіо сигналу, а також одночасно проводить інтегрування отриманого значення прискорення і в результаті вираховується значення поточної швидкості, яка в подальшому відображається на екрані.

Перемикач повинен мати три положення роботи, перше положення сигнали повороту вимкнені, другий – поворот ліворуч та третє – поворот праворуч. Контролер отримує сигнал від перемикача та передає його через

передавач радіо сигналу до шолому і відповідно до сигналу починають працювати сигналізатори повороту.

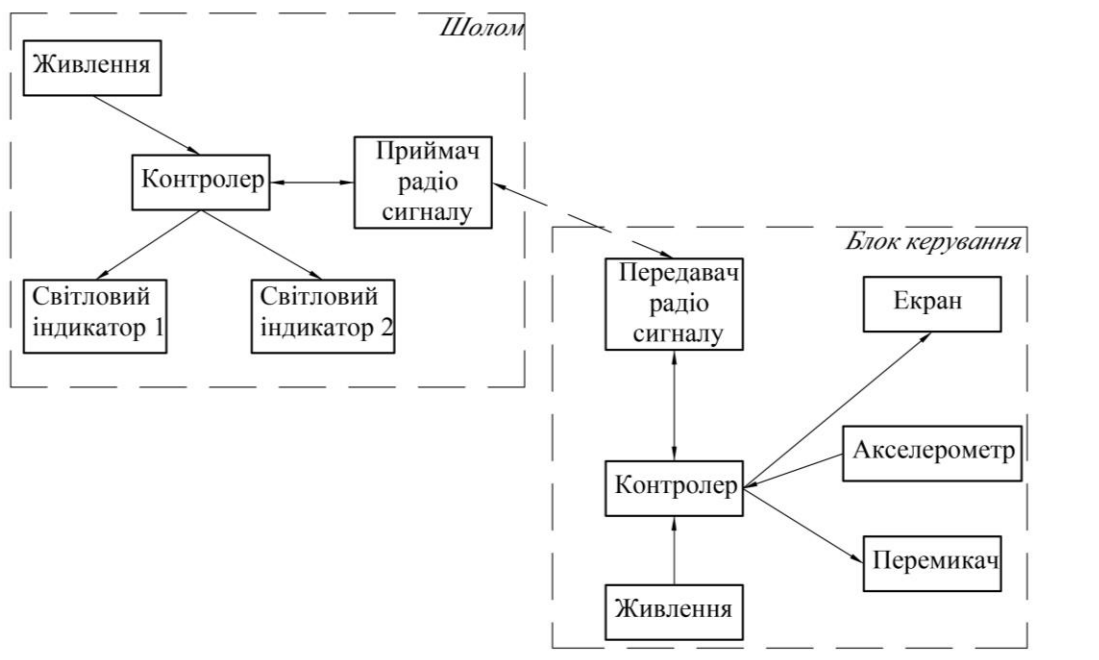


Рисунок 1. Структурна схема смарт-шолому

Шолом за допомогою приймача радіо сигналу отримує керуючий імпульс від блоку керування і передає його до контролера, який встановлено на шоломі. Контролер здійснює керування світловими індикаторами в залежності від значення сигналу, відображається напрямок повороту або сигнал зупинки.

Для реалізації цього пристрою запропоновано використати платформу швидкої розробки електронних пристроїв – Arduino. Це призведе до спрощення схеми пристрою та зменшенню вартості, бо ця платформа користується попитом завдяки зручності, простоті в налаштуванні та відкритому програмному коді.

Програмування Arduino можливо проводити використовуючи розповсюдженні мови програмування, такі як C/C++, Python.

В блок керування розглядається можливість використання контролера Arduino Uno (рис. 1).

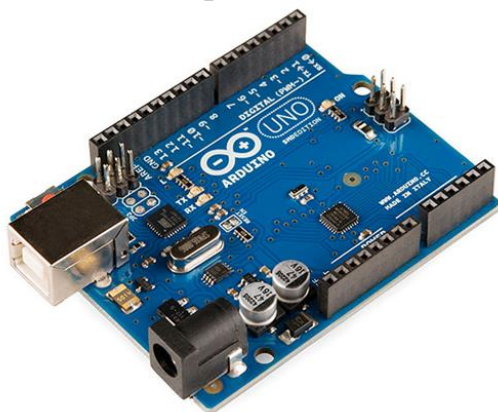


Рисунок 2. Загальний вигляд контролера Arduino Uno

В основі контролера Uno лежить мікроконтролер ATmega328.

Мікроконтролер має процесор, а також фіксований обсяг оперативної і постійної пам'яті та інших периферійних пристроїв, вбудованих в один чіп. Час від часу це також називають міні комп'ютером або комп'ютером на одній мікросхемі. Сьогодні різні виробники випускають мікроконтролери з широким спектром функцій, доступних в різних версіях [2].

Мікроконтролер має більш ніж



вартість, а ніж мікропроцесор. В пристроях замість мікропроцесора можна використовувати мікроконтролер, а замість мікроконтролера не рекомендується використовувати мікропроцесор, оскільки це робить кінцевий пристрій досить дорогим. Мікропроцесор не можна використовувати окремо, оскільки всі периферійні пристрої мікроконтролера знаходяться на одному кристалі, він компактний, а мікропроцесор громіздкий [3]

Характеристики платформи Arduino Uno наведені в табл. 1 [4].

Таблиця 1. Загальні характеристики плати Arduino Uno

<i>№ n/n</i>	<i>Назва параметру</i>	<i>Характеристика</i>
1	Мікроконтролер	ATmega328
2	Робоча напруга	5 В
3	Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
4	Вхідна напруга (гранична)	20 В
5	Цифрові входи/виходи	14
6	Аналогові входи	6
7	Вхідний/вихідний постійний струм	40 мА
8	Флеш-пам'ять	32 кбайт
9	ОЗУ	2 кбайт
10	Тактова частота	16 МГц



Рисунок 3. Загальний вигляд контролера Arduino Nano

Оскільки, шолом має менший простір для розміщення електронних компонентів планується використовувати контролер Arduino Nano (рис. 3), бо він має більш компактні габаритні розміри.

Цей контролер також оснований на мікроконтролері ATmega328 і має такі ж характеристики, що й контролер Uno.

Щоб здійснити бездротове з'єднання двох запланованих частин пристроїв використаємо радіо модуль NRF24L01+ (рис. 4).

NRF24L01+ - модуль радіо зв'язку працює на частоті 2,4 ГГц та заснований на чіпі від Nordic Semiconductor nRF24L01+, підтримує передачу даних до 2 мбіт/с, має можливість працювати на 126 каналів.

На модулі розташована основна мікросхема nRF24L01+, поруч встановлено кварцовий резонатор, антенна та електрична обв'язка. Зв'язок здійснюється у двоканальному режимі по інтерфейсу SPI (Serial Peripheral Interface), для цього використовується восьми контактний роз'єм [5].



Рисунок 4. Загальний вигляд модуль радіо зв'язку NRF24L01+

Характеристики модулю радіо зв'язку NRF24L01+ наведені в табл. 2 [6].

Використовуючи вище описаний модуль радіо зв'язку можливо вирішити технічні проблеми телемеханіки і збору інформації з датчиків та інших пристроїв.



Таблиця 2. Загальні характеристики модулю радіо зв'язку NRF24L01+

<i>№ n/n</i>	<i>Назва параметру</i>	<i>Характеристика</i>
1	Напруга живлення	1,9 – 3,6 В
2	Потрібний струм при потужності 0 dBm	11,3 мА
3	Потрібний струм при передачі 2 Мбіт	13,5 мА
4	Частота	2,4 ГГц
5	Швидкість передачі	250 Кбіт, 1 Мбіт або 2 Мбіт
6	Габаритні розміри	29 мм x 16 мм x 11 мм
7	Гранична температура повітря	-40...85 °С
8	Модуляція	GFSK

## **ВИСНОВКИ**

В статті наведено опис основних компонентів для створення пристрою на базі платформи швидкої розробки Arduino. Використання цієї платформи дозволяє створити функціональний пристрій за відносно низькою вартістю.

Реалізувавши описаний пристрій стає можливим підвищити безпеку велосипедиста при русі за поганої видимості у міському трафіку.

Також розглянутий пристрій має на меті підвищити зацікавленість велосипедистів у використанні захисного шолом під час їзди на велосипеді. На сьогоднішній день спостерігається, що велосипедисти забувають про свою безпеку.

Перспективою розвитку приладу є додавання додаткового функціоналу, а саме встановлення датчиків температури, пульсометру та розробка додатку для смартфона, що буде відображати інформацію про активність користувача.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] ЯКА КОРИСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛОСИПЕДА У СВІТОВОМУ МАСШТАБІ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://velodom.kiev.ua/novini/statti/vykorystannya-velosypeda-economica.html>.
- [2] Know About Difference Between Microcontroller and Microprocessor [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.tektrong.com/knowdifference-microcontroller-microprocessor/>.
- [3] What is the difference between a microprocessor and microcontroller? [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-microprocessor-and-microcontroller//>.
- [4] Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464с.: ил. – (Электроника).
- [5] Обзор радио модуля NRF24L01 [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://robotchip.ru/obzor-radio-modulya-nrf24l01/>.
- [6] nRF24L01 Datasheet [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf).
- [7] Работа с беспроводным трансивером nRF24L01 [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://blog.sci-smart.ru/2013/06/nrf24l01.html>.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*

УДК 621:658.512

*Ю.Ю. Хазанович, студент гр. ПМ-81мн, ст. викл. Толочко Т.О.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФИКСАТОРА

**Анотація.** Одной из задач, решаемых при создании механических узлов, предназначенных для реверсирования чувствительных элементов навигационных приборов, является задача обеспечения повышенной точности их фиксации в контрольных положениях. В данной статье рассмотрены экспериментальные исследования отдельных элементов фиксирующего узла макета поворотного-арретирующего устройства. Целью проведения эксперимента является изучение степени влияния параметров пружин на точность фиксации подвижных элементов.

**Ключові слова:** погрешность фиксации, поворотного-арретирующее устройство, жесткость пружины.

### ВСТУПЛЕНИЕ

Одной из задач, решаемых при создании механических узлов, предназначенных для реверсирования чувствительных элементов навигационных приборов (ЧЭ), является задача обеспечения повышенной точности фиксации ЧЭ в контрольных положениях [1].

Величина допустимых погрешностей фиксации ЧЭ определяется исходя из общих требований, предъявляемых к конкретным навигационным системам.

Величина погрешности фиксации ЧЭ во многом зависит от формы, размеров, жесткости и других параметров деталей и узлов, входящих в конструкцию поворотного-арретирующего устройства (ПАУ). Одной из основных деталей, определяющих точность фиксации, является плоская П-образная пружина. При решении общих вопросов расчета и проектирования пружин, предназначенных для установки на ПАУ, могут быть успешно использованы рекомендации, имеющиеся в технической литературе, посвященной разработке узлов и деталей точных приборов общего назначения [1, 2, 3]. Для разработки рекомендаций по расчету и проектированию пружин, учитывающих специфику их работы на ПАУ необходимо проведение дополнительных аналитических и экспериментальных исследований.

Необходимо отметить, что разработка механических узлов, предназначенных для реверсирования ЧЭ проводится сравнительно недавно и поэтому не накоплен в достаточной мере экспериментальный материал, характеризующий зависимость погрешностей фиксации от отдельных конструктивных элементов ПАУ.

### ЦЕЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные ранее экспериментальные исследования макета ПАУ, показали, что величина погрешности фиксации ЧЭ во многом зависит от конструктивных и упругих параметров плоских П-образных пружин. С целью дальнейшего изучения степени влияния параметров пружин на точность фиксации подвижных элементов были проведены дополнительные экспериментальные исследования, включающие в себя:

- Определение жесткости пружин при изгибе и кручении;

- Определение зависимости погрешности фиксации подвижных элементов от формы и размеров пружин в целом и отдельных их элементов;
- Определение зависимости величины погрешности фиксации подвижных элементов от угла подъема рабочих поверхностей паза.

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено специально экспериментальное устройство.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Общий вид устройства, использованного для экспериментального исследования отдельных элементов фиксирующего узла макета ПАУ приведен на рис. 1. Данное устройство позволяет проводить измерение жесткости плоских пружин (441.120.0008., 441.130.00.14) при кручении, а также позволяет определять погрешности фиксации подвижного элемента.

Устройство включает в себя массивную шлифованную плиту 1 (смотри рис. 1), на которой жестко закрепляется одна из промежуточных плит 3. На промежуточную плиту винтами закрепляется исследуемая пружина 4.

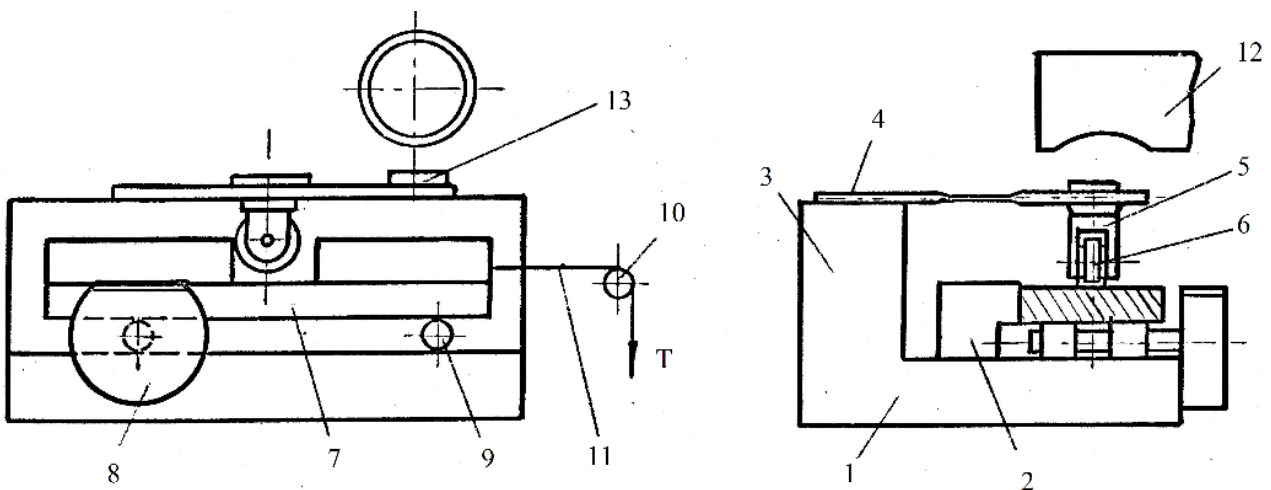


Рисунок 1. Схема экспериментального устройства для измерения жесткости пружин при изгибе

При измерении жесткости плоской пружины при кручении в отверстие, выполненное в консольной жесткой части пружины устанавливалась цилиндрическая деталь 5 в нижней части которой закреплен радиальный шарикоподшипник 6. Указанный шарикоподшипник вводился в паз прямоугольной формы, выполненный в гребне подвижного элемента 7, базирующегося на подвижной опоре 8 и шарике 9. Диаметры цилиндрической части подвижной опоры и шарика равны 10мм. Изгибающее усилие  $T$  создается при помощи, переброшенной через шкив 10 нити 11, один конец которой соединен с подвижным элементом, а другой с чашкой для установки грузов.

Для измерения угла поворота пружины при кручении был использован автоколлиматор 12 типа АКТ-400 с ценой деления 1 угловая секунда. Для отражения светового луча на верхнюю плоскость жесткой части пружины было наклеено зеркало 13.

Базирование подвижного элемента при нагружении осуществлялось по базовому упору 2, неподвижно закрепленному на основной плите.

При определении погрешности фиксации подвижного элемента (смотри рис. 2) на консольной части пружины закреплялась втулка с шариком 1, который вводился в треугольный паз подвижного элемента 2. Базирование подвижного элемента и схема нагружения были аналогичны базированию и схеме нагружения описанных выше.

Величина смещения подвижного элемента при приложении нагрузки, а также погрешность фиксации, преобразованные в угол поворота подвижной опоры 3 измерялись при помощи автоколлиматора 4 типа АКТ-400. Для отражения светового луча на плоскость подвижной опоры закреплено зеркало 5.

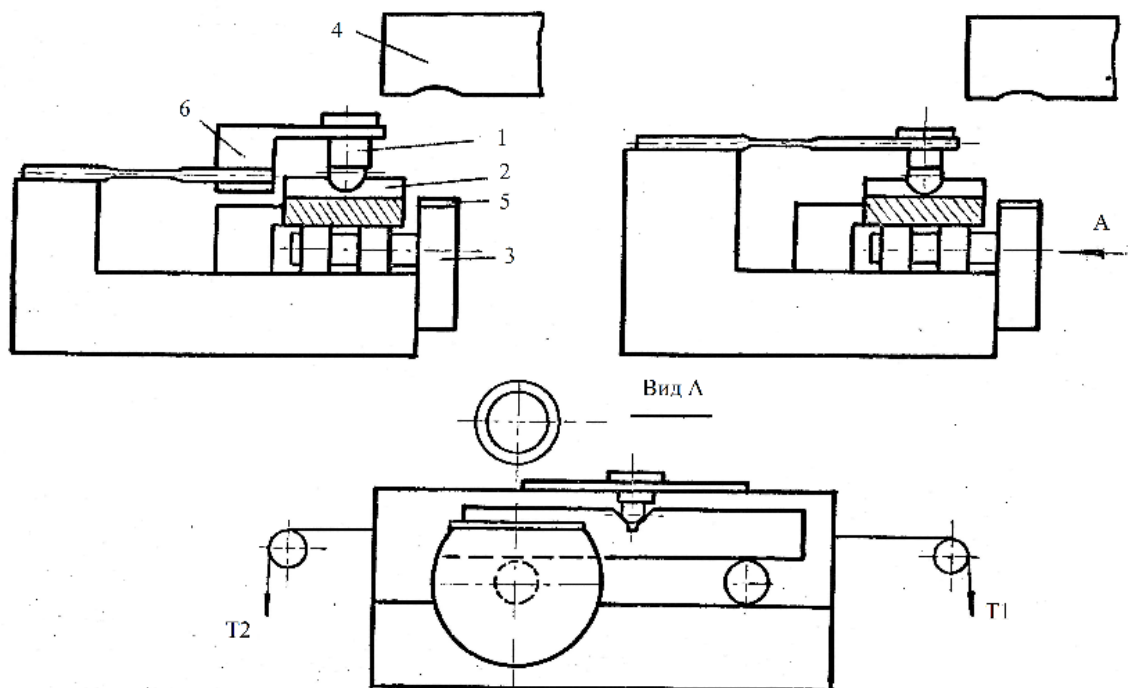


Рисунок 2. Схема экспериментального устройства для измерения погрешности фиксации подвижного элемента

Измерение погрешности фиксации подвижного элемента осуществлялось по схеме, приведенной на рис. 2. Были исследованы два варианта расположения шарика:

- центр шарика находится ниже плоскости жесткой консольной части пружины;
- центр шарика лежит в срединной плоскости жесткой консольной части пружины.

Для определения влияния угла подъема рабочих поверхностей паза подвижного элемента на погрешность фиксации, были использованы три подвижных элемента, углы подъема у которых составляли  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ .

Результаты, полученные при измерении погрешностей фиксации подвижных элементов, показывают, что наличие трения в сопряжении шарик-паз приводит к влиянию остаточных смещений подвижного элемента, т.е. к появлению погрешностей фиксации. Величина погрешностей фиксации зависит

от жесткости пружин при кручении. Увеличение жесткости пружин в основном приводит к уменьшению указанных погрешностей. Увеличению угла подъема рабочих поверхностей паза приводит к возрастанию величины остаточного смещения подвижного элемента. Имеющие место отдельные отклонения от общего характера изменения погрешностей обусловлены значительным влиянием сил трения в сопряжении шарик-паз.

Особо следует отметить что погрешность фиксации подвижного элемента, при расположении центра шарика в средней плоскости консольной жесткой части пружины, равна нулю. Это объясняется значительным увеличением условной изгибной жесткости данной пружины по сравнению с условной жесткостью, соответствующей положению центра шарика ниже консольной части пружины, при незначительном уменьшении усилия, с которым шарик воздействует на элементы паза. Увеличение погрешностей фиксации при срединном расположении центра шарика, по сравнению с его нижним расположением, связано с уменьшением усилия давления шарика на элементы паза в связи с увеличением расстояния от рабочего участка пружин до центра шарика.

## **ВЫВОД**

Погрешности фиксации подвижных элементов зависят от сил и моментов сопротивления, приложенных данным элементом, а также от жесткости П-образных пружин. П-образная пружина, установленная в поворотнo-арретирующее устройство, при нахождении шарика в пазу, представляет собой пространственную конструкцию. При кручении пружины её консольная жесткая часть поворачивается относительно условной оси, положение которой определяется формой деформированной пружины. Жёсткостью пружины при кручении зависит от расстояния между центром шарика и условной осью вращения. Наиболее рациональное размещение шарика соответствует совмещению центра шарика с условной осью вращения. Указанное положение шарика следует определять экспериментально для каждого типо-размера пружин.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- [1] Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1981. — 392 с.
- [2] Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов М.: Машиностроение, 1980. — 326 с.
- [3] Курендаш Р.С. Конструирование пружин М.: К.: Машгиз, 1958. — 110 с.

*Наук. керівник – ст. викл. Толочко Т.О.*

УДК 621.6.04

Ходячий В.В. аспірант гр. ПМ-81ф, к.т.н., доц. Нікітін О.К.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ТВЕРДИХ ТІЛ

**Анотація.** В даній статі був наведений приклад станда для визначення параметрів потоку сипкого матеріалу, який знаходиться на рухомій платформі. Була наведена принципова схема і як працює даний стенд, і як його можна використовувати в якості витратоміра.

**Ключові слова:** сипкий матеріал, тіла обтікання, витратомір, тензорезистори, рухома платформа.

### ВСТУП

Для вирішення поставленої задачі був розроблений та виготовлений лабораторний стенд. Стенд призначений для вивчення взаємодії тіл обтікання з потоком сипучої речовини. Стенд складається з рухомої платформи, на якій знаходиться сипуча речовина, та чуттєвого елемента, на якому кріпиться тіло обтікання та тензорезистори з яких сигнал надходить до комп'ютера. Стенд дозволяє міняти швидкість руху платформи, висоту слою сипучої речовини, форму та розміри тіла обтікання тощо. Принципова схема станда наведена на рисунку 1.

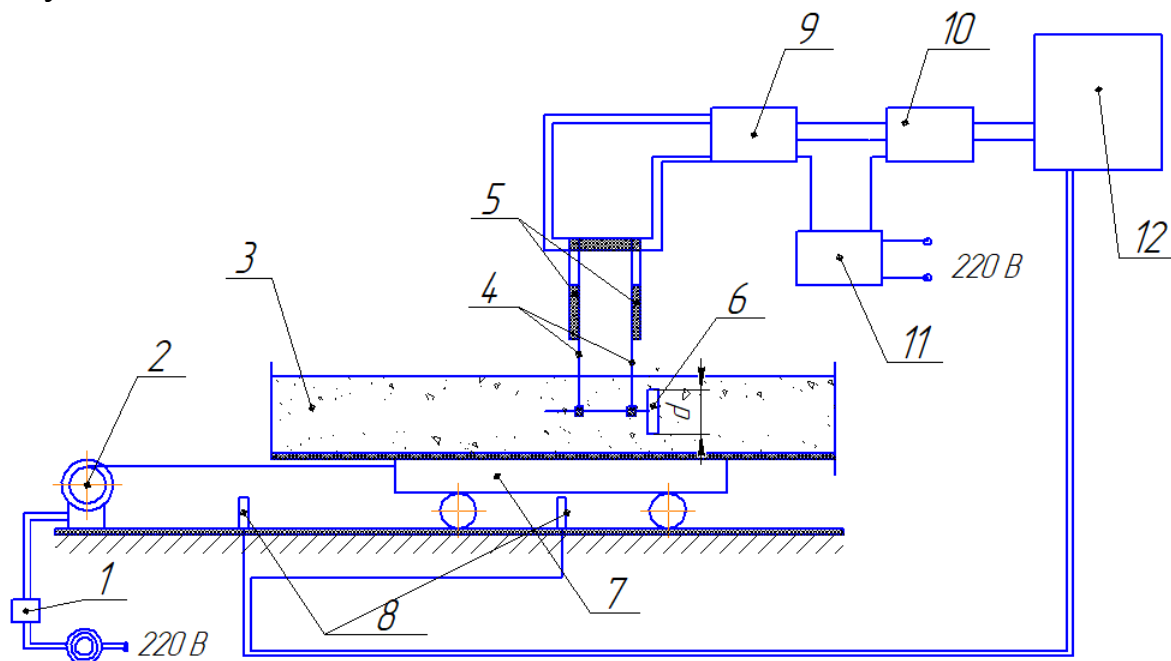


Рисунок 1. Принципова схема станда

Стенд розташований на дерев'яній основі. До неї кріпиться електродвигун постійного току 2 з редуктором та кронштейн для закріплення чуттєвих елементів. Електродвигун 2 живиться постійною напругою через випрямляючу схему (діодний міст) 1 та лабораторний автотрансформатор (ЛАТР) 13 із мережі 220В. Електродвигун зроблений з редуктором що дозволяє отримати на виході невеликі швидкості обертання. На вихідному валі редуктора кріпиться шків, до якого причеплений тросик. Тросик кріпиться до рухомої платформи. Таким чином при підключенні в мережу двигун починає обертати шків, тросик

намотується та платформа рухається. Зміна швидкістю руху досягається зміною вихідної напруги трансформатора.

Рухома платформа 7 складається з теліжки на колесах, на яку кріпляться два бортики. Між бортиками насипається сипуча речовина 3. Платформа рухається по напрямним, які прибиті до основи, для стабілізації руху.

Далі на основі кріпиться кронштейн до якого приєднуються чуттєві елементи 4. Чуттєві елементи – дві сталеві смужки довжиною 220 мм, шириною 10 мм, та товщиною 0,3 мм. Вони кріпляться до кронштейна за допомогою болтів та прокладок паралельно на відстані 12 мм між ними. Знизу до обох смужок кріпиться тіло обтікання 6. Таким чином утворюється паралелограмна чутлива конструкція, яка має кращі динамічні та статичні характеристики ніж одна балочка. В місцях найбільшої деформації (біля закріплення смужок та біля тіла обтікання) клеється чотири тензорезистори 5 (два зверху та два знизу) утворюючи таким чином мостову схему. Два верхні працюють на розтяг, два нижні – на стиск, що підвищує чутливість (рисунок 2).

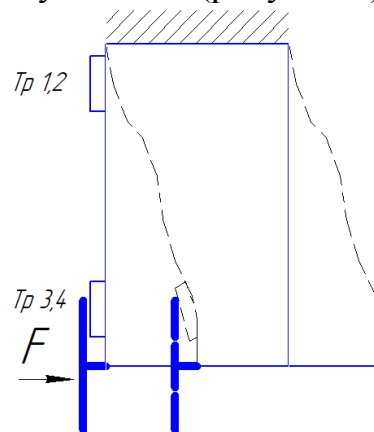


Рисунок 2. Принцип дії чутливого елемента

На чутливих елементах кріпляться різні тіла обтікання 6. Вони мають форми чашки, конуса та диску.

Для перетворення сигналу, який видають тензорезистори, застосовуються модулі-конвертори фірми ICP DAS типів I-7520 (10). Конвертори живляться постійним струмом напругою 24В через блок живлення 11 та видають цифровий сигнал прямо до комп'ютера 12.

I-7016 це аналого-цифровий перетворювач з широкими можливостями призначений для роботи з тензорезисторами. Він отримує команди з комп'ютера і живить тензорезисторний міст напругою, яку можна задати програмно, і знімає аналоговий сигнал з виходу моста. Цей сигнал він перетворює на цифровий. Модуль дає великий простір діяльності щодо калібрування вхідної та вихідної напруги, задавання інтервалів вхідного сигналу, частоти опиту тощо.

Для комп'ютера була написана програма на мові Delphi за допомогою бібліотек для модулів ICP DAS яка під час роботи стенду циклічно опитує конвертори, а через них тензорезистори, отримує данні в мілівольтах, зберігає масив даних в файли та будує графік залежності напруги від часу.



Отже роботу стенда можна описати так: вмикається двигун, він обертається зі швидкістю визначеною трансформатором, тягне платформу із сипучою речовини деформує чутливий елемент, деформацію обробляють тензорезистори. В той же час програма на комп'ютері починає циклічно опитувати тензорезистори за допомогою конверторів і записує вихідний сигнал пропорційний силі діючій на тіло обтікання.

Мета проведення дослідів на даному стенді є вироблення методичних вказівок по взаємодії тіл обтікання з потоком сипучої речовини. Тому під час експериментів необхідно було дослідити вплив на цю взаємодію таких факторів як швидкість руху речовини, висота слою речовини або глибина занурення тіла обтікання в речовину, розмір та форма тіла обтікання, вид сипучої речовини та інше. Взаємодія вивчається через вимірювання сили, що діє на тіло обтікання.

При експериментах застосовувалися наступні речовини:

- гречка (густина –  $450 \text{ кг/м}^3$ , розміри зерна –  $\text{Ø}3 \text{ мм}$ );
- рис (густина –  $920 \text{ кг/м}^3$ , розміри зерна –  $6 \times 2 \text{ мм}$ );
- цукор (густина –  $800 \text{ кг/м}^3$ , розміри зерна –  $\text{Ø}0,5\text{-}1 \text{ мм}$ ).

Швидкість з якою рухається платформа:  $0,06 \text{ м/с}$ ,  $0,14 \text{ м/с}$ ,  $0,24 \text{ м/с}$ . Висота слою сипучої речовини:  $42 \text{ мм}$ ,  $58 \text{ мм}$ . Діаметр тіл обтікання:  $30,24$  та  $18 \text{ мм}$ .

Схема експерименту така: сипимо на платформу сипучу речовину визначеної щільності, вирівнюємо її на висоту необхідного слою, прикріплюємо до паралелограма необхідне тіло обтікання; потім вмикаємо електродвигун на певній швидкості та програму опитування тензорезисторів. В результаті отримуємо графік залежності «напруга-час» як на Рисунку 3 та масив паралельною осі абсцис за допомогою методу найменших квадратів та за допомогою градуїрочної характеристики переводимо показання з мілівольтів в ньютони та отримуємо величину сили, що діє на тіло обтікання. Швидкість руху при цьому контролюється кінцевими вимикачами через комп'ютер.

Спочатку проводимо експерименти з однією сипучою речовиною на першій висоті слою речовини. Міняємо при одній швидкості типи та розміри тіл обтікання, потім змінюємо швидкість та знов міняємо типи та розміри тіл обтікання і т.д. Потім досипаємо речовини до наступної висоти слою і теж саме. Потім міняємо сипучу речовину і по новому і т.д. Кожний експеримент проводимо по 3-5 разів.

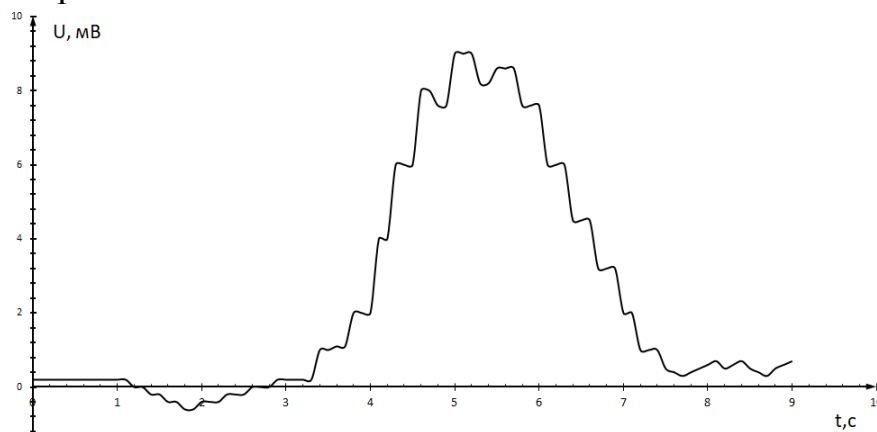


Рисунок 3. Графік взаємодії сипучої речовини з тілом обтікання (густина  $920 \text{ кг/м}^3$ , швидкість  $0,24 \text{ м/с}$ , конус діаметром  $30 \text{ мм}$ )



## **ВИСНОВКИ**

В роботі були проведені дослідження пов'язані з механікою сипучих речовин, взаємодії цих речовин з тілами обтікання. Був розроблений стенд для вивчення взаємодії сипучих речовин з тілами обтікання та розроблена програма для сполучання цього стенду з комп'ютером через мікроконтролери.

Була проведена низка експериментів на цьому стенді по вивченню взаємодії тіл обтікання з потоком сипучої речовини. На основі експериментів були побудовані залежності сили, діючої на тіло обтікання, від впливу різноманітних параметрів (швидкості, густини, діаметру тощо).

На підставі результатів експериментів можна зробити такі висновки:

1) На основі взаємодії тіл обтікання з потоком сипучої речовини можна будувати різні витратоміри оскільки існує чітко виражена залежність між масою сипучої речовини і силою, що діє на тіло обтікання, але для цього необхідно знати параметри потоку.

2) При однакових параметрах потоку із тіл обтікання при одному діаметрі більш велике силовий вплив перетерплює диск. Дещо менш вплив на тіло обтікання чашка і самий менший на конус. Звісно чим більш діаметр тим більш вплив.

3) Залежність сили від швидкості має чітко виражений квадратичний характер, що підтверджує теоретичні відомості. Наприклад залежність сили напору для рідини має такий вигляд:

$$F = \frac{\rho V^2}{2} S_{mo} \quad (1)$$

4) Залежність сили від густини майже лінійна, що підтверджує вище згадана формула.

5) Залежність від діаметра тіла обтікання має квадратичний характер оскільки сила залежить від площі взаємодії тобто від діаметра в квадраті.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
- [2] Інформативність фізичних процесів. Експериментальна механіка: метод, вказівки до викон. лаборатор. робіт / Уклад. : О.К. Нікітін, В.М. Зайцев – Вид, 2-ге, перероб. – Київ: ім. Ігоря Сікорського вид-во «Політехніка», 2017.- 154 с.
- [3] Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 183 с.
- [4] Сігодзінський А. В. Визначення витрат сипких матеріалів / А. В. Сігодзінський, Ю. О. Корнева, О. К. Нікітін. // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №2. – С. 91–94.

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



## **Секція 6.**

# **Економічні засади аналітичного та екологічного приладобудування**

## УДК 551.501

*В.І. Артемчук, студентка гр. ПН-91мп, Б.І. Мединцев студент гр. ПН-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **КОНТРОЛЬ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ**

**Анотація.** У даній статті доведено актуальності контролю запиленості повітря з застосуванням мобільного додатку для швидкісного інформування про стан запиленості повітря з можливістю встановлення додаткових параметрів. Надає візуалізовану інформацію користувачу та допомогу орієнтуватись в сучасному інформаційному просторі шляхом моніторингу екологічної ситуації.

**Ключові слова:** забрудненість повітря, моніторинг повітря.

#### **ВСТУП**

Стан повітря – найважливіший природний ресурс, без якого життя було б абсолютно неможливим. Забрудненість повітря є глобальною проблемою, що завдає непоправної шкоди здоров'ю людини та знищує флору та фауну планети. Через забруднене повітря від захворювань дихальних шляхів у світі щорічно помирає близько семи мільйонів людей.

Наявність виробничих процесів та великої кількості викидів різних часток пилу в повітря є актуальною проблемою країни. Велике значення має антропогенний фактор. Адже, виробничі процеси, призводять до вивільнення частинок пилу. Одним із чинників збільшення пилового забруднення є автотранспорт, який вивільняє під час згорання палива тверді частинки в атмосферу, які осідають разом із газами, на довколишні об'єкти.

У містах спостерігається збільшення конденсації формальдегіду та азоту зафіксовано утворення стійких атмосферних утворень – смогів. Через відсутність системи оповіщення, людина піддається впливу шкідливого повітря, без змоги захистити себе.

Небезпечні речовини знаходяться у формі твердих або рідких аерозольних часток, газів, парів або випарів. Чим менше розмір частинок пилу, тим довше вони знаходяться в повітрі у зваженому стані і тим вище ймовірність того, що вони проникнуть в легені. [1]

Дуже небезпечні дрібнодисперсні частинки пилу, які здатні проникнути в легені і, маючи велику площу контакту з тканиною легень, здатні швидко у великій кількості всмоктуватися, викликаючи інтоксикацію організму. Ураження верхніх відділів дихального апарату пилом пов'язують з наявністю в ньому ліберину і гістаміну, які спричиняють вивільнення медіаторів запалення з тканинних базофілів і виникнення реакції запалення не імунної форми (атопічної). Основним чинником дії пилу на організм є хімічний вміст пилових часток, таких елементів, як свинець марганець, фтор, а також токсичних органічних сполук, що надає пилу властивості виробничої отрути. Залежно від своїх фізико-хімічних властивостей пил спричиняє алергенну, мутагенну, канцерогенну і подразнюючу дію, а також призводить до радіоіндукційного ефект.[1]

Відсутність портативного онлайн ресурсу та візуалізації інформації, для повідомлення людей про безпеку. Та внаслідок відсутності моніторингу

вимірювання забрудненості ускладнюються щоденне зведення статистичних даних.

## **АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ**

Якість повітря у виробничих, офісних, житлових приміщеннях, громадських місцях та місцях великого скупчення людей повинна відповідати законодавчо встановленим санітарно-гігієнічним нормам країни. Контроль рівня забрудненості повітря є не просто необхідністю, а запорукою збереження здоров'я і життя людей. Тому, необхідний постійний моніторинг якості повітря. За допомогою мобільного додатку, користувач має змогу візуалізувати інформацію та за допомогою функцій фільтрувати дані.

## **ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ**

В останні роки зростає забруднення повітря, в зв'язку з розширенням осередків промисловості, з автоматизацією, механізацією багатьох сфер нашого життя. Вплив шкідливих речовин, що потрапляють у повітря, може посилити їх взаємодію між собою, накопиченням, довготривалістю знаходження в повітрі, сприятливими для цього метеоумовами та іншими факторами.

Спостереження високої щільності населення, збільшення заводів і фабрик, великого потоку транспорту, у таких районах, забрудненість повітря особливо зростає. При збільшенні забруднення повітря, багато людей страждає від головного болю, подразнення носоглотки та очей, нудоту й погіршення самопочуття.

Тому, для поінформування більшості людей, пропонуємо використовувати мобільний додаток. Отже, мобільний сегмент ринку, активно розвивається. Мобільні пристрої використовують не тільки для сервінгу в Інтернеті, але й для оплати, покупок, відстежуванням міського транспорту.

Мобільний додаток інструмент прямої взаємодії із користувачем, та оптимально підходить для частого і багаторазового використання. Використовуючи мобільний додаток можна збирати безліч корисної інформації для подальшого аналізу.

Використання мобільного додатку для отримання контролю запиленості повітря, дозволяє забезпечити зручність у використанні, спростити час моніторингу, швидкість отримання інформації, та пошуку її.

## **ВИСНОВОК**

Сьогодні проблема забрудненості повітря є однією з актуальних. Одним із негативних факторів, який погіршує умови, є пил, який не найкраще впливає на внутрішні органи та центральну нервову систему людей, сприяючи виникненню та інтенсивному протіканню захворювань.

Моніторинг запиленості повітря за допомогою мобільного додатку, дозволить отримувати дані про стан повітря, та створювати безліч цікавої статистики, яку потім можна використати в будь яких цілях.

Використання мобільного додатку користувачеві надає ряд переваг. Не витрачається час на знаходження відповідного ресурсу для отримання

інформації про стан повітря. Швидке зібрання інформації, встановлення додаткових параметрів при необхідності. Поінформування стану повітря в необхідний для користувача час. Збереження даних для подальшого використання та порівняння.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Н.В. Защепкіна Н.Р. Терентьева, «Розробка та контроль якості матеріалів для захисту людини від дії пилу», // *Вісник Хмельницького національного університету* - № 2, с.221-223, 2016.
- [2] Защепкіна Н.М. Захист органів дихання людини від негативного впливу навколишнього середовища / Н.М. Защепкіна, Н.Р. Терентьева // *Вісник Житомирського державного технічного університету*. – 2014 – № 3(70). – С. 109–112.
- [3] Бахарев В.С. Теоретичні аспекти формування регіональної екологічної небезпеки, пов'язаної з пиловим забрудненням атмосферного повітря / В.С. Бахарев // *Вісник КДПУ : зб. наук. праць*. – Кременчук : Вид-во КДПУ. – 2005. – № 2(31). – С. 92-95
- [4] Бахарев В.С. Особливості формування екологічної небезпеки в умовах пилового забруднення атмосферного повітря / В.С. Бахарев // *Біосферно-ноосферні ідеї В.І. Вернадського та еколого-економічні проблеми розвитку регіонів : тези доп. V-ої Всеукр. наук.-практ. конф.* – Кременчук : Вид-во КДПУ, 2005. – С. 85-86.
- [5] Защепкіна Н.М. Удосконалення методу визначення пилопроникності матеріалів / Защепкіна Н.М. Мелконян А.А. Довгалюк Р.Ю. Недобойко С.О. // *Вісник Житомирського державного технічного університету*. – № 1(79). – 2017. – С. 52-57. 10
- [6] Защепкіна Н.М. Інженерні методи проектування заданих властивостей матеріалів / Монографія. ТОВ «Нілан-ЛТД». - Вінниця. – 2016. – 207с

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.*

УДК 535.016

Г. В. Дорожинська, аспірант  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЧИСЕЛЬНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМУМУ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДБИТТЯ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

**Анотація.** В аналітичному приладобудуванні досить стрімко розвиваються прилади на основі явища поверхневого плазмонного резонансу, які дають змогу реєструвати ледь помітні зміни в досліджуваних середовищах. Основною вихідною характеристикою цих приладів є резонансна характеристика відбиття. Точність визначення мінімуму характеристики відбиття суттєво залежить від математичних методів його визначення. В порівнянні з найпоширенішими методами апроксимації поліномами новий метод середньої лінії забезпечує меншу похибку вимірювання при зміні показників заломлення з 1,33 до 1,5 в порівнянні з методами апроксимації поліномами. При цьому зі збільшенням показника заломлення досліджуваної речовини абсолютна похибка вимірювання зменшується для методів апроксимації поліномами через розширення характеристики відбиття. В порівнянні з поліноміальними методами метод середньої лінії має більшу точність визначення мінімуму характеристики відбиття, через те що на метод апроксимації поліномами суттєво впливає антисиметричність характеристики. Ефективність застосування нового методу в порівнянні з найпоширенішими поліноміальними методами полягає в збільшенні корисного ефекту за рахунок зменшення похибки вимірювання досліджуваних середовищ близько у 8 разів.

**Ключові слова:** поверхневий плазмонний резонанс, кутове положення мінімуму характеристики відбиття.

### ВСТУП

Останнім часом в аналітичному приладобудуванні досить стрімко розвиваються прилади на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР), які дають змогу реєструвати ледь помітні зміни в досліджуваних середовищах. Сенсорні прилади на основі ППР містять елементи з тонкого провідного шару, на поверхні якого збуджуються поверхневі плазмони – квазічастинки, що описують електромагнітне коливання електронів. Резонансне збудження коливань поверхневих плазмонів в тонкому шарі провідного матеріалу, розміщеного між двома середовищами з різними показниками заломлення, називається явищем ППР [1]. Якщо протилежна сторона провідного шару контактує з досліджуваним середовищем, то електричне поле електромагнітної хвилі проникає в нього, але лише на відстань, не більшою за довжину хвилі світла при умові падіння р-поляризованого світла під кутом більшим за кут повного внутрішнього відбиття (ПВВ). Зміна в досліджуваному середовищі викликає зміну характеристики відбиття, яка є залежністю інтенсивності випромінювання (коефіцієнта відбиття) від кутів падіння цього випромінювання (рис. 1). При резонансному поглинанні енергії випромінювання поверхневими плазмонами реєструється мінімум інтенсивності на характеристиці відбиття при певному куті (кут мінімуму ППР). Зміни в досліджуваному середовищі призводять до змін характеристики відбиття, що дає можливість досліджувати процеси в аналізованому середовищі в реальному часі, реєструючи параметри характеристики відбиття. Визначення мінімуму положення для резонансної характеристики відбиття відбувається шляхом її математичної обробки.

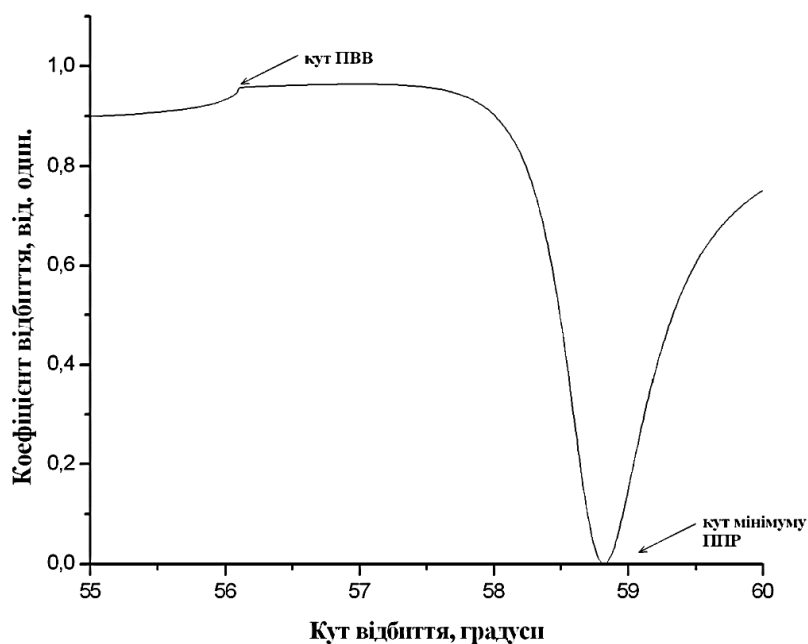


Рисунок 1. Резонансна характеристика відбиття

Точне визначення мінімуму характеристики відбиття за умов спостереження явища ППР є досить важливим питанням для визначення показника заломлення, концентрації та товщини досліджуваного середовища.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Розроблено численні методи для визначення реального мінімуму характеристики відбиття при ППР: поліноміальний метод [2], центроїдний метод [3], інтерпольований центроїдний метод [4], метод динамічної базової лінії [5], швидкий центроїдний метод [6], метод з застосуванням перетворення Радона [7], метод аналізу форми лінії [8]. Найпоширенішими методами аналізу характеристики відбиття ППР є метод поліномів та метод центроїда. Метод поліномів аналізує всю характеристику відбиття ППР, або частину, близьку до області мінімуму, за допомогою многочлена ступеня  $n$ . Центроїдний метод знаходить геометричний центр мінімуму характеристики відбиття. Для цього застосовується попередньо встановлений базовий рівень. У цих методів є свої недоліки: вони чутливі до шуму або до дрейфу джерела світла. Оскільки крива ППР несиметрична, будь-які зміни в діапазоні даних призводять до помилкового зсуву обчисленого мінімуму. Альтернативний метод визначення резонансного кута – метод середньої лінії [9]. 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 відбиття.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Було досліджено зміну похибки вимірювання трьома методами визначення мінімуму характеристики відбиття відносно зміни показника заломлення у діапазоні від 1,33 до 1,50, притаманних для переважної більшості досліджуваних рідких середовищ, починаючи з дистильованої води з



показником заломлення 1,33. Оцінка впливу математичних методів на величину абсолютної похибки проводилася за допомогою побудови теоретичної резонансної характеристики для багаточислової системи "скло-золото-досліджуване середовище" та р-поляризованого монохроматичного випромінювання, використовуючи формули Френеля і математичний формалізм матриць розсіювання Джонса. Реальні значення кутів мінімуму характеристики відбиття порівнювалися з визначеними значеннями кутів мінімуму трьома математичними методами: методом середньої лінії, методами апроксимації поліномами 2-го та 3-го ступенів.

Дані з рисунка 2 свідчать про те, що більша похибка визначення мінімуму характерна для методу поліномів. Методи апроксимації поліномом 2-го та 3-го ступенів мають майже однакові абсолютні похибки, які зменшуються зі зростанням показника заломлення досліджуваної речовини. Похибка зменшується зі зростанням показника заломлення для методів апроксимації поліномами через зміну форми характеристики відбиття.

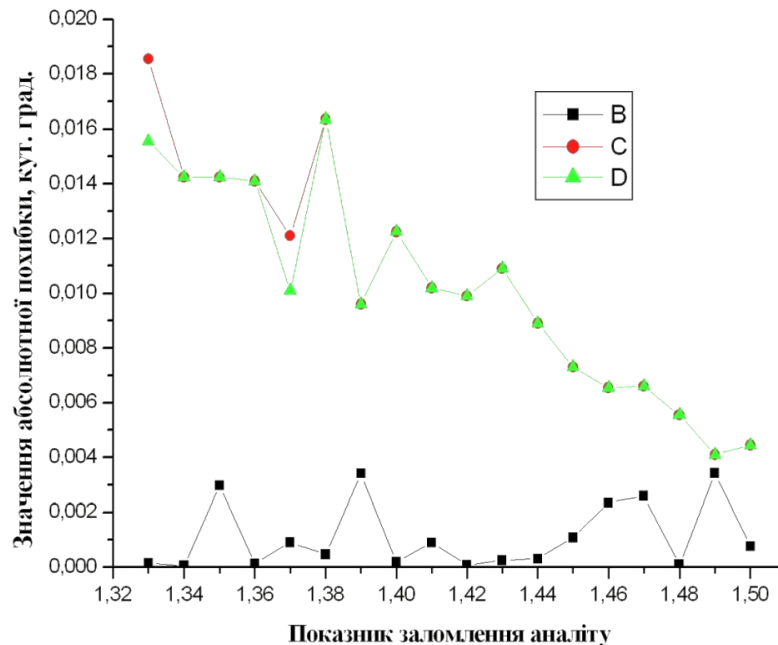


Рисунок 2. Залежність розрахованої абсолютної похибки від показника заломлення для трьох методів: методу середньої лінії – B, апроксимації поліномом 2-го ступеня – C, апроксимації поліномом 3-го ступеня – D.

При цьому зі збільшенням показника заломлення досліджуваної речовини абсолютна похибка вимірювання зменшується для методів апроксимації поліномами через розширення характеристики відбиття. В порівнянні з поліноміальними методами метод середньої лінії має більшу точність визначення мінімуму характеристики відбиття.

## ВИСНОВКИ

Основною вихідною характеристикою приладів на основі явища ППР є резонансна характеристика відбиття. Точність визначення мінімуму характеристики відбиття суттєво залежить від математичних методів його визначення, які впливають на ефективність дослідження аналізованих

середовищ. Найпоширенішими методами визначення мінімуму характеристики відбиття є методи апроксимації поліномами. Метод середньої лінії забезпечує меншу похибку вимірювання при зміні показників заломлення з 1,33 до 1,5 в порівнянні з методами апроксимації поліномами. При цьому зі збільшенням показника заломлення досліджуваної речовини абсолютна похибка вимірювання зменшується для методів апроксимації поліномами через розширення характеристики відбиття. В порівнянні з поліноміальними методами метод середньої лінії має більшу точність визначення мінімуму характеристики відбиття, через те, що не залежить від її графічної форми, оскільки на метод апроксимації поліномами суттєво впливає антисиметричність характеристики. Ефективність застосування нового методу в порівнянні з найпоширенішими поліноміальними методами полягає в збільшенні корисного ефекту за рахунок зменшення похибки вимірювання досліджуваних середовищ близько у 8 разів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Kretschmann, E. and Reather, H. (1968). Radiative decay of nonradiative surface plasmon excited by light. *Z.Naturf.*, 23A, 2135-2136.
- [2] Chinowsky, T.M., Jung, L.S., Yee, S.S. (1999). Optimal linear data analysis for surface plasmon resonance biosensors. *Sens. Actuator B-Chem.*, 54, 89–97.
- [3] Kukanskis K., Elkind, J., Melendez, J., Murphy, T., Miller, G. (1999). Detection of DNA hybridization using the TISPR-1 surface plasmon resonance biosensor, *Anal. Biochem.*, 274, 7–17.
- [4] Nenninger, G.G., Piliarik, M., Homola, J. (2002). Data analysis for optical sensors based on spectroscopy of surface plasmons. *Meas. Sci. Technol.*, 13, 2038–2046.
- [5] Thirstrup, C., Zong, W. (2005). Data analysis for surface plasmon resonance sensors using dynamic baseline algorithm. *Sens. Actuator B-Chem.*, 106, 796–802.
- [6] Zhan, S., Wang, X. and Liu, Y. (2011). Fast centroid algorithm for determining the surface plasmon resonance angle using the fixed-boundary method, *Measurement Science and Technology*, 22 ( 2), 025201.
- [7] Karabchevsky, A., Karabchevsky, S. and Abdulhalim, I. (2011). Fast surface plasmon resonance imaging sensor using radon transform, *Sensor. Actuat. B-Chem.*, 155, 361 – 365.
- [8] Souza Filho, C. A., Lima, A. M. N., Moreira, C. S., Thirstrup, C. and Neff, H. (2010). Line shape analysis and extended instrumental operation of surface plasmon resonance sensors, *Plasmonics*, 5 (3), 259-266.
- [9] Maslov V.P., Ushenin Yu.V., Dorozinsky G.V., Dorozinska H.V., Kudryavtsev A.A. (2017). New method for determining the angular position of the light reflection intensity minimum observed in surface plasmon resonance. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 3 (3), 1514-1518.

**Наук. керівник – д.т.н., проф. Маслов В.П.**

## УДК 620

Б.І. Мединцев, студент гр. ПН-81мп, В.В. Богданов, студент гр. ПН-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ПРОДУКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАВОДІВ

**Анотація.** Дослідження з метою підвищення точності вимірювання геометричних, динамічних та енергетичних параметрів об'єктів в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням шляхом вдосконалення інструментально-методичного забезпечення телевізійного вимірювального засобу.

**Ключові слова:** ТІВС – телевізійна інформаційно-вимірювальна система, СЕП – світло електричний перетворювач, ТЗВ – телевізійний засіб вимірювання, ПТТ – передавальна телевізійна трубка, ПВВК – пристрій введення відеосигналу в комп'ютер, ПК – портативний комп'ютер, ЕСП – електросвітловий перетворювач, ТП – телевізійний пірометр

#### ВСТУП

Концепція застосування ТІВС для дослідження динамічних, геометричних, та енергетичних параметрів об'єктів обґрунтовано на СЕП як незалежну, ідентичну, упорядковану сукупність мікроперетворювачів випромінювання. Реально вимога ідентичності забезпечується програмовою корекцією, а вимога незалежності сусідніх піксел виконується при роботі СЕП в діапазоні лінійності.

Використання ТІВС має широке застосування в різних сферах таких як: охорона, наукові дослідження, промислові технології, екології, медична діагностика, в астрономії та в космічному матеріалознавстві, транспорті, криміналістичних експертизах, біотехнологіях, в мікроелектроніці, в військовій справі тощо.

Одна з найважливіших проблем, які постали перед дослідниками мікрозображень, є вимірювання різноманітних параметрів, зокрема, площі, периметру, характеристик потоку випромінювання фрагментів зображень. В традиційній мікроскопії користуються шкалами, окуляр-мікрометрами, що може займати багато часу. В той же час телевізійна апаратура в поєднанні з сучасними засобами обчислювальної техніки знімає цю проблему навіть у випадку великої кількості різноманітних об'єктів.

#### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Найбільш досліджуваними в технологічних та наукових сферах, припадає на долю оптичних полів видимого та інфрачервоного діапазонів. Це, оптичні поля, утворені природними чи антропогенними ландшафтами, біологічними об'єктами, технологічними макро- і мікрооб'єктами, об'єктами військової техніки тощо.

В загальному випадку випромінювання елементарної поверхні оптичного поля характеризується просторовими координатами  $x, y, z$ , координатами часу  $t$  та довжини хвилі  $\lambda$ , фазою та трьома кутами, що визначають площину поляризації. У випадку, коли некогерентне і неполяризоване випромінювання реєструється плоским приймачем, кількість просторових змінних зменшується до двох, а загальна сукупність характеризуючих потік аргументів — до чотирьох:  $x, y, t, \lambda$ .

Основною кількісною характеристикою оптичного поля, утвореного потоком з поверхні елементарного об'єму в тілесний кут, який спирається на вхідну апертуру, може бути функція яскравості  $L(x,y,t,\lambda)$ , яка, в свою чергу визначається як відношення елементарного потоку до добутку тілесного кута, в якому він поширюється, площі, з якої він випромінюється та косинусу кута між напрямком поширення і нормаллю.

Далі врахуємо, що характер оптичних полів, які будуть досліджуватись в роботі, дозволяє зробити припущення про їх незмінність за час  $\tau$  формування сигналу

$$L_{\lambda}(x, y, t) = L_{\lambda}(x, y) \text{rect}(t, \tau), \quad (1)$$

де  $\text{rect}(t, \tau) = \begin{cases} 1, t \in [0; \tau] \\ 0, t \notin [0; \tau]. \end{cases}$

Отже, оптичне поле будемо характеризувати тривимірною функцією яскравості  $L(x,y,\lambda)$  або спектральною яскравістю  $L_{\lambda}(x,y)$ .

Вигляд функції  $L_{\lambda}(x,y)$  в кожному конкретному випадку обумовлений внутрішнім станом об'єкту, станом поверхні та характером взаємодії з оточуючими його тілами.

У випадках, коли аналізується власне випромінювання об'єкту з температурою  $T$ , спектральна яскравість в точці  $(x_0; y_0)$  визначається формулою Планка

$$L_{\lambda}(T) = \varepsilon_{\lambda}(T) \frac{C_1}{\lambda^5} \left[ \exp \frac{C_2}{\lambda \cdot T} - 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_{\lambda}(T)$  — спектральний коефіцієнт випромінювальної здатності поверхні об'єкта в точці  $(x_0; y_0)$ ,

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{мкм}^4 \cdot \text{м}^{-2};$$

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{К}$$

При дослідженнях об'єктів за відбитим випромінюванням спектральна яскравість визначається так:

$$L_{\lambda}(x, y, t) = \rho_{\lambda}(x, y) E_{\lambda}(x, y, t), \quad (3)$$

де  $\rho_{\lambda}(x,y)$ ,  $E_{\lambda}(x,y,t)$  — спектральний коефіцієнт відбиття та освітленість поверхні.

У випадку, коли прозорий об'єкт розташований між джерелом випромінювання, спектральна яскравість поверхні визначається у такий спосіб

$$L_{\lambda}(x, y, t) = k_{\lambda}(x, y) E_{\lambda}(x, y, t), \quad (4)$$

де  $k_{\lambda}(x,y)$  — спектральний коефіцієнт пропускання.

Розгортання зображення, що здійснюється засобами електронної техніки. сфокусованим електронним променем чи переносом зарядів, називають електронним розгортанням зображення [1, 2]. В подальшому в роботі розглядаються тільки прилади з електронним розгортанням зображення.

Введемо також обмеження на спектральний діапазон випромінювання, вибравши його в інтервалі від 0.3 мкм до 14 мкм, що обумовлено наявністю відповідної приладової бази, на яку можна спиратися при розв'язанні прикладних проблем аналізу оптичних полів.

При такому підході попадають в один клас і можуть розглядатися з позиції спільної методології найбільш важливі з точки зору використання в засобах аналізу оптичних полів типи світлоелектричних перетворювачів — ПЗЗ а також піровідікони. Зчитування заряду у піровідіконах відбувається сфокусованим електронним пучком. Таким чином, піровідікон є своєрідною ланкою зв'язку між телевізійними системами і традиційними системами теплобачення. Підкреслимо також, що до аналізу процесу формування сигналу у вказаних випадках застосовується математичний апарат теорії лінійних систем.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати досліджень представлен в структурній схемі телевізійного засобу вимірювання на рис. 1.



Рис.1. Узагальнена структура телевізійного засобу вимірювання

Провдне місце серед аналогічних засобів є наявність в структурі ТВЗ ПК та використання потужного арсеналу програмного забезпечення.

Фізично робота ТВЗ базується на послідовності перетворень вхідного сигналу під яким розуміємо яскравість. В найбільш загальному вигляді формування зображення здійснюється за такою структурною схемою (рис.2).

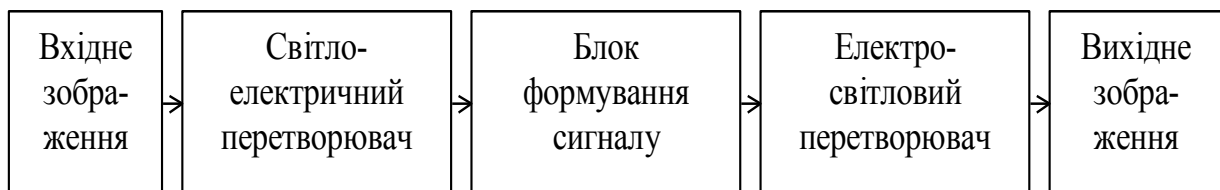


Рис.2. Структурна схема процесу формування зображення

СЕР перетворює вхідне зображення в електричний сигнал (сигнал розгортання). Цей сигнал формується в блоці формування і передається на вхід електросвітлового перетворювача (ЕСП), де і утворюється вихідне зображення. Аналіз оптичного поля (вхідного зображення) може відбуватися шляхом дослідження електричного сигналу чи вихідного зображення.

Перетворення освітленості зображення в первинні відеосигнали проводиться ділянками чутливої площини – елементами розкладу (пкселами).

Завдяки унікальній властивості ТЗВ, яка полягає в можливості забезпечити аналіз будь-якого оптичного поля за довільною траєкторією в реальному масштабі часу.

Успішно застосовується ТЗВ для потреб орієнтування та навігації, наведення зброї, виявлення та розпізнавання широкого класу об'єктів в тому числі вночі та в складних метеоумовах тощо. В [3] було розроблено методикау і виконано теоретичний аналіз функції передачі модуляції з подальшим дослідженням ефективності застосування піровідіконних систем за критерієм максимальної величини сигналу, що утворюється піровідіконом. Результат аналізу базувався на оцінках порогових характеристик піровідіконних приладів та враховував залежності величини вихідного сигналу від швидкості переміщення зображення по мішені СЕП. Отримані результати дозволили зробити висновок про доцільність застосування піровідіконних приладів в складі вертолітних комплексів для виявлення замаскованої важкої військової техніки (танків, гармат, вантажних автомобілів тощо) шляхом аналізу випромінювання в спектральному діапазоні 8—12 мкм, де спектральна щільність власного випромінювання при середніх температурах в умовах Європи максимальна, а поглинання атмосфери мінімальне. Очевидно, що вказані методики та критерії можуть бути застосовані і при обґрунтуванні параметрів систем невійськового використання, зокрема, призначених для аналізу низькотемпературних технологічних полів.

Найрізноманітніші практичні задачі розглядались і продовжують розглядатись сьогодні під кутом зору можливості та доцільності застосування телевізійних методів та засобів, сформувавшись цілі напрямки в розвитку ТЗВ.

Одним з таких напрямків є аналіз зображень біологічних мікрооб'єктів засобами телевізійної техніки (часто вживається термін телевізійна мікроскопія або відеоікроскопія, але на наш погляд, жодна з цих назв не може вважатися вдалою, бо кожна поєднує два слова, які є відповідниками в двох різних мовах video (лат.), skopeo (грецьк.) дивитися). Отже телевізійний мікроскоп або відеоікроскоп — це прилад, в якому збільшене зображення об'єкту формується в чутливій площині СЕП і спостерігається оператором на екрані монітора чи вводиться для обробки і аналізу в комп'ютер.

В цілому структура приладу аналізу мікрозображень відповідає узагальненій структурі ТЗВ, а акцент робиться на цифровій обробці зображення, хоча вагомі результати можливі тільки за умови використання вдосконалених (і тому надзвичайно дорогих) передавальних телевізійних камер.

Звернемо увагу на цикл ґрунтовних наукових праць [4, 5] співробітників Державного оптичного інституту (Санкт-Петербург, Росія), присвячених розв'язанню задач спектрального аналізу мікрооб'єктів та створення універсального комп'ютерного аналізатора мікрозображень. Розглянутий в [6] автоматизований комплекс побудований за модульним принципом, що дозволяє використовувати стандартні і добре відпрацьовані вузли. Основу комплексу складають світловий мікроскоп та телевізійна камера. Пристрій введення відеосигналу в комп'ютер розрахований на введення кадру форматом

512×512 і глибиною 8 біт. Програмне забезпечення комплексу дозволяє провадити різні види обробки сигналу (додавання, виділення контурів тощо) та кількісні вимірювання характеристик зображення.

В даній роботі вперше чітко сформульована загальна концепція використання ТЗВ, в основу якої покладена можливість розглядати СЕП як сукупність незалежних і ідентичних мікроприймачів випромінювання. Визначена та проаналізована сукупність факторів, які можуть суперечити концепції використання приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу світлових полів. В також вміщено матеріал, який дає уявлення про можливості сучасних відеомікроскопів.

Наведені матеріали можуть слугувати орієнтиром при розробці нових методів та засобів аналізу оптичних полів.

З розвитком уявлень про можливості ТЗВ вони починають використовуватись і для вимірювання температури.

Найбільш показовою є ситуація в пірометрії випромінювання, де на перший план виходять телевізійні пірометри (ТП), які при контролі температурних полів забезпечують вибірку тисяч точок в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням. Така властивість ТП створює умови для підвищення ефективності контролю, а отже підвищення якості продукції в багатьох провідних технологіях, таких як лазерна обробка, електронно-променева технологія очистки та наплення в вакуумній камері [22] тощо.

Провідні позиції в розвитку телевізійної пірометрії сьогодні займають США, де цими питаннями займаються всесвітньовідомі компанії. Наприклад, “Stratronics, Inc.”, якою розроблена серія телевізійних пірометричних приладів “ThermaViz”. Прилади цієї серії використовуються в різноманітних технологічних процесах та в наукових дослідженнях для вимірювання температури поверхонь і мають високі технічні характеристики: два діапазони вимірювання температур — 600°C...1500°C та 1200°C...2700°C. Похибка не перевищує 3°C та 10°C відповідно. Формат зображення 480×300. Прилади реалізуються за двоспектральною схемою.

Компанія “MIKRON Instruments, Inc.” створила серію телевізійних пірометричних приладів M9100. Робочий діапазон приладів M9100-600°C...4000°C. Похибку вимірювання зменшено до 1°C, що досягається застосуванням односпектральної схеми та вузькополосного ІЧ-фільтра. При цьому аналізується зображення форматом 640×480 зі швидкістю 30 кадрів/сек.

Оригінальне конструктивне рішення має серія “ThermoImager” компанії “Optical Insights, LLC”. Більшість приладів цієї серії побудовані за чотирьохспектральною схемою, з використанням оптичного ділення світлового потоку на 4 компоненти, кожен з яких через 4 окремих нерухомих світлофільтра падає на окрему ділянку ПЗЗ-матриці. “ThermoImager” працює в спектральному діапазоні від 350 нм до 2.2 мкм.

Більше того, в ході подальших досліджень з’ясувалося, що ТЗВ в задачі вимірювання геометричних, енергетичних та динамічних параметрів різних об’єктів мають конкурентів серед технічних засобів, які реалізують оптичні

методи контролю. Навіть найдосконаліший на сьогодні прилад з оптико-механічним розгортанням Thermovision-1000 не в змозі забезпечити просторове розрізнення на рівні сформованих вище вимог, оскільки лінійний розмір елемента розкладу в чутливій площині становить 0.07 мм. Лінійний розмір пікселя серійних ПЗЗ-камер на сьогодні становить 0.005...0.01 мм, а в перспективі - зменшення до 0.003 мм.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Госсорг Ж., Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц.—М.:Мир, 1988.—416 с.
- [2] Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники.—К.: Вища школа, 1983.—455 с.
- [3] Порев В.А. Телевизионный пирометр // Приборы и техника эксперимента, 2002, №1, С.150-152.
- [4] Сальников И.И., Кутаев Ю.Ф. Быстродействующее устройство измерения геометрических характеристик телевизионного изображения // Приборы и техника эксперимента.—1995.—№6.—С.177.
- [5] Папаян Г.В., Манцветов А.А. Высокочувствительная измерительная телевизионно-компьютерная система «ТВИСТ» для флуоресцентной эндоскопии и микроскопии // Оптический журнал.—2000.—Том.67,№1.—С.70-77.
- [6] А.с. 347073 СССР, МКИ В01J 17/10. Телевизионное устройство для автоматического регулирования и стабилизации диаметра слитка при бестигельной зонной плавке / Г.С. Новиков (СССР); опубл. 1972; бюл.№ 24.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Голубєв Л. П.*



УДК 620

*М.Р. Мельник, студент гр. ПН-81мп, Н.В. Масся, студент гр. ПН-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА**

**Анотація.** Дослідження залежності діелектричної проникненості авіаційного палива від октанового числа (ОЧ) з метою створення вимірювача ОЧ авіаційного палива та удосконалення можливостей його ідентифікації. Актуальним напрямком розвитку аналітичного приладобудування є отримання інформативних частот на яких залежність між ОЧ та вимірюваними параметрами авіаційного палива краще відслідковуються.

**Ключові слова:** ОЧ - октанове число, ПЗ - показник заломлення, ЧЕ - чутливий елемент ППР-сенсору

### **ВСТУП**

Найголовнішою властивістю палив є детонаційна стійкість, тобто їх стійкість до самозаймання. Таку властивість палива прийнято характеризувати величиною октанового числа, яке показує вміст ізооктану (у об'ємних %) в суміші з нормальним гептаном, яке по детонаційній стійкості еквівалентне паливу, що випробується в стандартних умовах. Детонаційна стійкість важлива і для інших прикладних завдань, вирішення яких дає змогу створити правильну конфігурацію безпеки. Мова йде про датчики задимлення авіалайнера, які повинні спрацювати в разі пожежі на борту.

Традиційно в лабораторних умовах для визначення ОЧ застосовують моторні установки, в яких здійснюється порівняння детонаційних характеристик досліджуваного палива з характеристиками калібрувальних сумішей. Але застосування цього методу є доволі тривалим і дорогим через високу вартість лабораторних установок, тривалість аналізу кожного зразка, витрати дорогих хімікатів, значні габарити пристрою та необхідність його експлуатації в спеціально обладнаному приміщенні. Крім того, він не забезпечує неперервного контролю ОЧ безпосередньо в технологічному процесі нафтопереробних заводів.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Дослідження показали, що найбільш оптимальним методом для вирішення поставленої задачі є метод, оснований на вимірюванні діелектричної проникненості бензину, яка залежить від його ОЧ. І головною метою даної роботи є розробка точного і швидкодіючого методу контролю якості бензину, заснованого на вимірюванні певних фізико-хімічних властивостей складної вуглеводневої суміші, який би мав також високу ступінь кореляції з октановим числом і який би став основою розробки самого приладу контролю; та розробка рекомендацій щодо ефективного використання результатів досліджень для майбутніх застосувань.

На даний момент існують датчики задимлення літаків, електричні схеми яких оснований на аналогових елементах і схеми з мікроконтролерами. Прикладом електричної схеми датчика задимлення оснований на електричних елементах є схема датчика задимлення Сигналізатору СД, котрий виготовляє ЗАТ «Украналіт».

В останні роки було запропоновано й випробувано досить багато методів

вимірювання ОЧ, що дозволяють проводити експресний аналіз якості бензину. Але кожний з них має свої суттєві недоліки, основними з яких є високі складність та вартість вимірювального приладу. Отже, потрібно вести пошук більш оптимального методу визначення октанового числа бензину.

Актуальною проблемою є контроль якості бензину у технологічному процесі і через це, особливо за останні роки технічного прогресу, було винайдено чимало методів для здійснення аналізу палива, а два з них (моторний та дослідний) набули статусу державного стандарту. Серед існуючих треба також відзначити такі, як: спектроскопічний аналіз в ближньому ІЧ-діапазоні, холоднополум'яне окислення бензину й вимірювання його теплових параметрів та хроматографічний. Розглянемо та проаналізуємо ці методи.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед реалізацією вимірювання маємо вирішити питання про заповнення комірки речовиною. Доцільніше буде досліджувати не товарні марки бензину, а суміші його еталонів. Бо невідомо, якої якості бензин, які домішки він має і яке точно октанове число він має. Спиратися на данні бензинових заправок недоцільно через те, що не завжди зазначені числа бензинів на табло заправок відповідають реальним значенням. І якщо еталонні суміші з відомими ОЧ проявлять необхідну залежність, то і бензини також. З огляду на це візьмемо еталонні суміші з октановими числами: 0;50;75;100. Комірку заповнюємо на 18 мл.

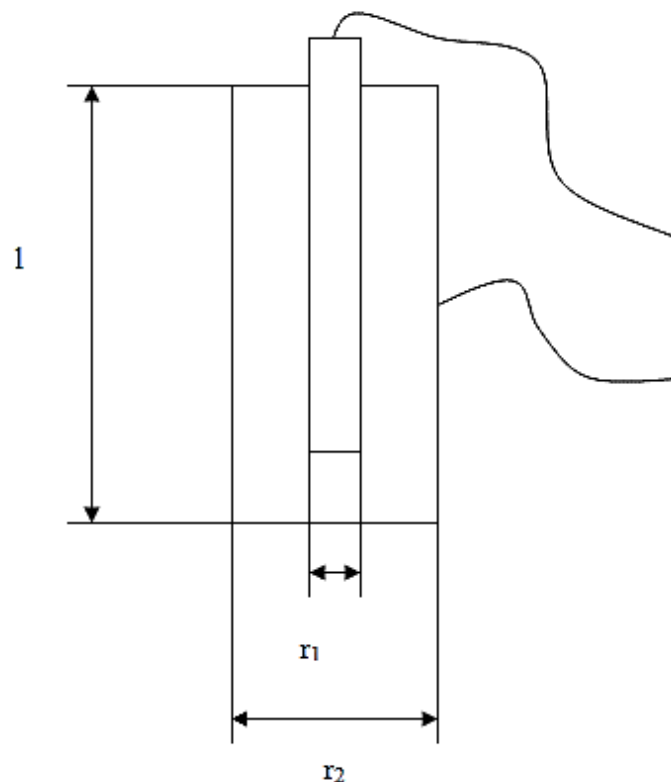


Рисунок 1. Експериментальна комірка

Вимірювальну комірку (див. рисунок 1) заповнюємо еталонною сумішшю і підключимо до схеми. Паралельно до неї підключимо конденсатор змінної

ємності. Також підключимо осцилограф та генератор згідно схеми. Далі, змінюючи частоту генератора та підлаштовуючи змінний конденсатор, вимірюємо значення ємності бензину за допомогою мультиметра. Вимірювати будемо ємність тоді, коли в діагоналі буде нульова напруга, тобто значення ємностей будуть врівноважені. Діапазон частот, який досяжний задаючим генератором, лежить в границях 0-200000 Гц. Задаючи поступово значення частот в цьому діапазоні з маленьким кроком, вимірюємо значення ємності еталону згідно описаної вище методики. Таким чином отримуємо сукупність значень ємностей чотирьох еталонів на різних частотах і побудуємо графіки залежності цих параметрів.

Для досліджень сумішей еталонів бензину на частотному діапазоні від 200 кГц застосуємо резонансний метод вимірювання. Джерелом живлення буде генератор високої частоти, вхідна напруга буде підводитися до послідовного коливального контуру, який складатиметься з індуктивності, що має свій внутрішній опір і змінної ємності, підключена паралельно вимірювальної ємності (еталону). Як відомо, бензин і зокрема еталонні суміші, характеризуються таким параметром, як діелектрична проникливість, яка буде мати активну і реактивну складову.

Вимірювання будемо проводити в два етапи:

1) до схеми будуть входити всі вище перераховані елементи та прилади;

З генератора високої частоти подаємо сигнал 1 В певної частоти. Вимірюємо напругу при резонансі за допомогою чутливого вольтметра та вимірюємо значення змінної ємності при максимальній напрузі (резонансу). Резонанс досягнемо за допомогою зміни значення змінної ємності до того рівня, коли вольтметр покаже максимальне значення.

2) вимірювання без бензину;

В даному вимірюванні комірку з досліджуваною сумішшю виключаємо і підключаємо паралельно змінній ємності ще одну змінну ємність, якою і будемо маніпулювати для знаходження резонансу в даному випадку. Першу ємність залишаємо на тому значенні, при якому був досягнутий максимум з досліджуваною коміркою. Так, задаючи поступово послідовні значення частот на генераторі та налаштуємо другу змінну ємність, досягаємо резонансу так, як і в попередньому випадку. Також вимірюємо значення змінної ємності, при якій досягли резонансу контура.

### **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., Fagerstam L., Ivarsson B. 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] / A. Shalabney, I. Abdulhalim // 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] Maslov V.P., Ushenin Yu.V., Dorozinsky G.V.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. Защепкіна Н.М.*

**УДК 621.397.7**

*В.В. Тризна, студент гр. ПН-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ**

*Анотація.* У даній статті проведено аналіз використання ПЛІС в системах телевізійного моніторингу. Зокрема, розглянуто існуючі методи імплементації FPGA до алгоритмів відеообробки. Описано проектні потоки з імплементацією ПЛІС для обробки зображень за допомогою Xilinx System Generator та OpenCV. Проведено огляд основних характеристик існуючих електронних компонентів (SoC).

**Ключові слова:** телевізійний моніторинг, ПЛІС, SoC, обробка зображень.

### **ВСТУП**

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасних підприємств є розроблення та використання промислових систем телевізійного моніторингу, які в реальному часі виявляють дефектну продукцію та контролюють працездатність кожної ланки виробничого процесу. Обробка сигналів промислових систем моніторингу, які формують вхідне зображення, та створюють на виході інформативне зображення або виділяють характеристики / особливості, пов'язані з цим зображенням - є однією з швидко зростаючих технологій. Великий попит на такі системи стимулює дослідження в галузі інженерних та інформаційних дисциплін.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної статті є огляд доцільності використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) в системах телевізійного моніторингу та опис існуючих методів включення ПЛІС до алгоритмів відео обробки.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Обробка зображень (покращення зображення або отримання з нього корисної інформації), в основному, включає наступні три етапи:

- імпорт зображення за допомогою інструментів збору зображень;
- аналіз та маніпулювання зображенням;
- вихід, в результаті якого можна змінити зображення або звіт, заснований на аналізі зображення.

Існує два типи методів, що застосовуються для обробки зображень, а саме: аналогова та цифрова обробка зображень. Аналогова обробка зображень може використовуватися для друкованих копій, як роздруківки та фотографії. Цифрова обробка зображень дозволяє отримати широкий спектр інструментів для аналізу зображень.

Три загальні фази, які повинні пройти всі типи даних під час використання цифрової обробки: попередній аналіз, вдосконалення та показ, вилучення інформації. Для прототипування програм обробки зображень широке застосування мають інструменти MATLAB, але основним застосуванням для реалізації або прототипування є бібліотека OpenCV, яка містить оптимізовані варіанти реалізації багатьох загальних функцій комп'ютерного зору, орієнтованих на настільні процесори та графічні процесори. Хоча багато

функцій бібліотеки OpenCV були оптимізовані для того, щоб дозволяти багатьом програмам комп'ютерного зору запускатись в режимі реального часу, але для вбудованих «Embedded» систем, швидкість роботи може бути неоптимальною та не задовольняти потреб ринку. Оптимальним рішенням задачі пришвидшення роботи є перенесення простих задач на ПЛІС.

Програмовані логічні інтегральні схеми відрізняються тим, що, програмуючи пристрій ви самі створюєте архітектуру з базових логічних елементів. Таким чином ви отримуєте високу швидкодію і гнучкість мікросхеми. Це дає можливість не змінюючи чіпа зробити цілий ряд проектів. Головною відмінністю ПЛІС від мікроконтролерів є те, що в мікроконтролері ви не можете змінювати внутрішні зв'язки між найпростішими елементами, а в ПЛІС на основі прописування зв'язків ґрунтується програмування і робота з ним.

При реалізації задач на ПЛІС існує проблема швидкого взаємозв'язку між процесором та ПЛІС. Тому доцільним при створенні програм обробки зображень є використання System on a chip (SoC) , яка інтегрує жорстке ядро процесора та програмовану логіку на одному чипі. Три найбільші постачальники FPGA - Xilinx, Altera та Microsemi (раніше Actel) - почали виготовляти подібні пристрої. Спільне для них є те, що всі вони складають жорсткий 32-розрядний процесор ARM разом з програмованою логікою, але є також значні відмінності між конструкціями.

При виборі SoC для проектування промислових систем моніторингу, велику увагу привертають пристрої Xilinx. Вони мають велику кількість вже готових IP ядер, оптимізованих для Xilinx FPGA і SoCs на основі бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV. Xilinx автоматизує процес проектування: код OpenCV може бути синтезованим на C++ за допомогою відеобібліотек, що постачаються з програмним пакетом високого рівня Vivado® (HLS). Ядра знаходяться в вільному доступі в бібліотеці xfOpenCV та підтримуються в Xilinx SDx Tool Suite. Також для спрощення прототипування Xilinx System Generator інтегрований із середовищем Matlab Simulink. Далі розглянуто основи реалізації проектних потоків використання OpenCV та Xilinx System Generator.

## **ПРОЕКТНИЙ ПОТІК ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ OPENCV**

Як показано на рис. 1, OpenCV можна використовувати в декількох точках під час проектування системи відеообробки. Зліва алгоритм може бути розроблений та реалізований повністю за допомогою викликів функцій OpenCV, як для введення, так і виводу зображень за допомогою функцій доступу до файлів та для обробки зображень. Далі алгоритм може бути реалізований у вбудованій системі (наприклад, база даних Zynq Base TRD), отримуючи доступ до вхідних та вихідних зображень за допомогою функціональних викликів платформи. У цьому випадку обробка відео все ще реалізується з використанням функцій OpenCV, що виконуються на процесорі (наприклад, процесорні ядра Cortex™-A9 в процесорній системі Zynq). Крім того, виклики функції OpenCV можуть бути замінені відповідними синтезованими функціями з відеотеки Xilinx Vivado HLS. Виклики функцій

OpenCV можуть використовуватися для доступу до вхідних та вихідних зображень та для забезпечення самої раціональної реалізації алгоритму обробки відео. Після синтезу блок обробки може бути інтегрований у програмовану логіку Zynq. Залежно від дизайну, реалізованого в програмованій логіці, інтегрований блок може мати можливість обробляти відеопотік, створений процесором, такий як дані, прочитані з файлу, або прямий потоковий відеопотік у реальному часі із зовнішнього входу.

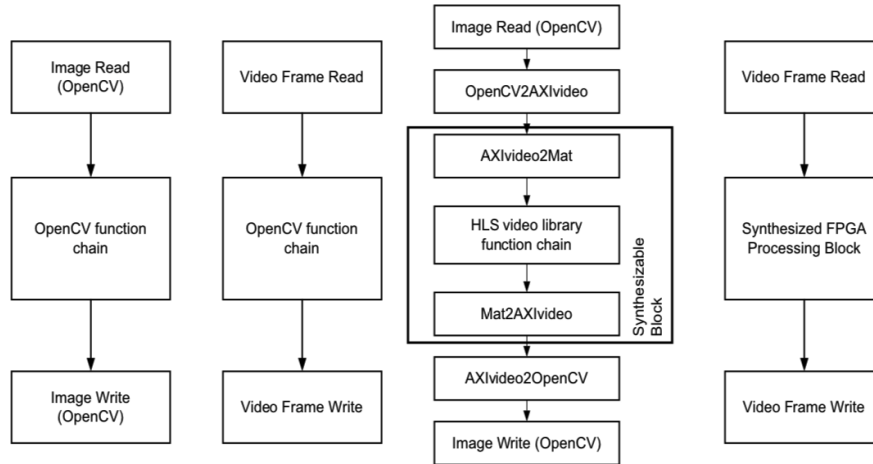


Рисунок 1. Проектний потік для використання OpenCV

## ПРОЕКТНИЙ ПОТІК ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ XILINX SYSTEM GENERATOR

Розроблені алгоритми та побудовані моделі за допомогою бібліотеки, наданої Xilinx Blockset. Ці моделі реалізуються в середовищі Matlab / Simulink (дивись рис. 2) [1]. Відображений результат переглядається. Результати, отримані від генератора системи, налаштовані на відповідну реалізацію ПЛІС. Модель поведінки перевіряється, синтезується та впроваджується на ПЛІС. Сам генератор системи Xilinx має особливість, а саме створення файлу обмежень для користувачів (.ucf), тестового стенду та тестових векторів для тестування архітектури.

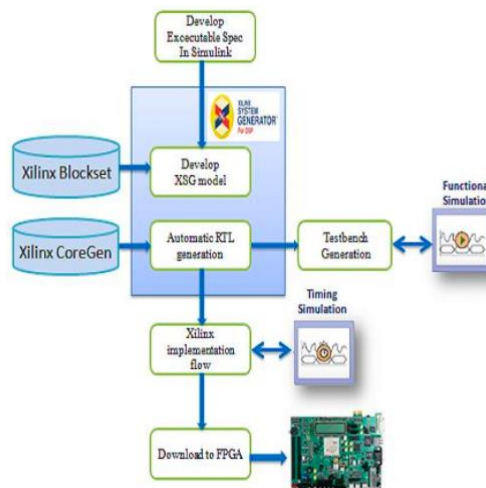


Рисунок 2. Проектний потік для використання Xilinx System Generator

Методика впровадження обробки зображень в апаратному забезпеченні така (дивись рис. 3) [1]: всі необхідні апаратні алгоритми реалізуються між попередньою обробкою зображення та післяобробкою зображення. Джерело зображення, програма перегляду зображень, блоки попередньої обробки та обробки зображення є загальними для всіх програм обробки зображень, і вони реалізовані в Simulink.

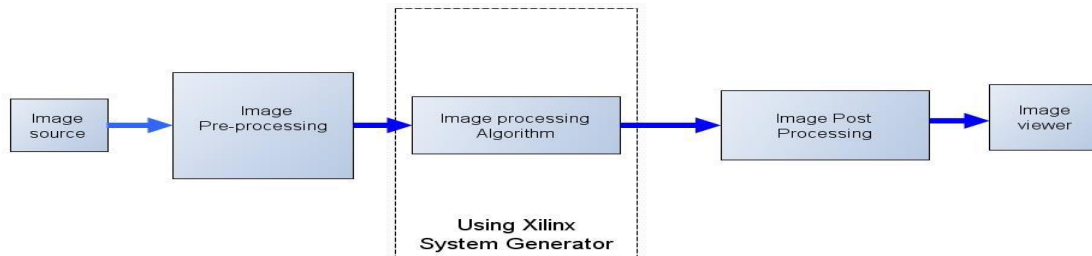


Рисунок 3. Методика впровадження обробки зображень в апаратному забезпеченні

## ВИСНОВОК

У порівнянні з використанням автономного процесора, SoC (ПЛІС) є більш гнучким, оскільки апаратні структури можуть бути додані протягом усього процесу проектування при необхідності. Це дає можливість паралелізації обробки даних шляхом розподілу обчислювальних інтенсивних операцій на виділені програмні засоби ПЛІС. Порівнюючи з використанням автономного процесора та автономної ПЛІС, рішення, що використовує SoC (ПЛІС), дешевше та використовує менше енергоспоживання. Дві схеми замінюються на одну, що означає зменшення часу на проектування та зменшення місця на друкованій платі. Тому для вирішення задачі пришвидшення роботи систем телевізійного моніторингу доцільним є використання SoC (ARM+FPGA). В роботі розглянуто проектні потоки з імплементацією ПЛІС для обробки зображень за допомогою Xilinx System Generator та OpenCV.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. R. S. Ravi.S, «FPGA Based Design and Implementation of Image Edge Detection Using Xilinx System Generator», International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), vol. 4, no. 10, pp. 4657-4660, Oct 2013
- [2] E. Kuhn, "Grayscale Conversion of a Color Image Using Simulink and Xilinx Blocks," 2010.
- [3] S. S. D. Praveen Vanaparthi, "FPGA Implementation of Image Enhancement Algorithms for Biomedical Image Processing," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering , vol. 2, no. 11, pp. 5747 - 5753, November 2013.
- [4] T. S. F. S. a. M. A. Yahia Said, "Real Time Hardware Cosimulation of Edge Detection for Video Processing System," Laboratory of Electronics and Microelectronics (EμE) IEEE, pp. 852-855, 2012.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Маркін М.О.*



## **Секція 7.**

# **Ефективність неруйнівного контролю, технічна та медична діагностика**

УДК 519.7

*В.Р. Апостолов, студент гр. ПК-71*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ БИОНИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

*Анотация.* Данная статья – это аналитический обзор существующих методов реализации обратной связи между человеком и бионическими протезами, основные методы сбора и передачи информации их принципы работы, а также возможные перспективы модернизации.

*Ключевые слова:* имплант, электромиография, сенсор, нейрон, электрод, .

### **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. На сегодняшний день, бионические конечности, использующие метод электромиографии смогли приблизить человека к созданию полностью естественной системы управления протезом. Однако, отсутствие системы биологической обратной связи является одним из главных недостатков и важнейшим звеном в достижении полного взаимодействия между протезом и его пользователем. [1]

Важность создания модуля обратной связи в бионических протезах не вызывает сомнений. Сенсорные рецепторы в коже человека передают множество тактильных и тепловых сигналов от внешней среды к мозгу, что является неотъемлемой частью взаимодействия человека и окружающего мира.

Несмотря на стремительное развитие технологий в системах сбора информации, репликация этих уникальных сенсорных характеристик в протезировании остается сложной задачей. [2]

Таким образом, актуальной проблемой является создание наиболее оптимального, с точки зрения эффективности и удобства использования, способа реализации обратной связи взаимодействия между человеком и протезом, а также возможность учета индивидуальных особенностей каждого реципиента. [3]

### **АНАЛИЗ СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА**

Сенсорная система – совокупность периферических и центральных структур нервной системы, ответственных за восприятие сигналов различных модальностей из окружающей или внутренней среды (1).

Основными анализатор взаимодействия человека с его собственным телом является соматосенсорная система.

Соматосенсорная система – это комплексная система, образованная рецепторами и центрами обработки нервной системы, осуществляющая такие сенсорные модальности, как осязание, температура, проприоцепция, ноцицепция. [4]

Необходима для выполнения сложных движений, управляемых корой головного мозга. Проявлением деятельности соматосенсорной системы

является так называемое «мышечное чувство» которого лишены практически все протезы.

Для создания единой системы «обратной связи» протеза и головного мозга человека, необходимо реализовать все аспекты функционирования соматосенсорной системы сначала по отдельности затем соединить в единый механизм сбора, обработки и передачи информации.

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ТАКТИЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ (ДАВЛЕНИЕ, РАСТЯЖЕНИЕ, СЖАТИЕ).**

Наиболее эффективным методом получения информации о деформации объекта является использование тензодатчиков.

Гибкие и / или растягивающиеся тактильные датчики на основе различных микро/наноматериалов и структур были предметом интенсивных исследований. В частности, чувствительные к давлению каучуки (PSR) используются в качестве резистивных элементов, которые реагируют на растягивающие напряжения, которые могут быть интегрированы с гибкой органической электроникой и транзисторами на основе наноматериалов (нанопроволоки и нанотрубки). Однако обычные PSR имеют скромное время ответа и подвергаются значительному гистерезису. Что является большой проблемой в перспективе использования данного типа датчиков в протезирование, особенно в местах повышенной активности протеза (изгибы пальцев, запястье). [5]

Проведя анализ точных значений коэффициента тензочувствительности для разных материалов, можно сделать вывод, что наиболее подходящим материалом является монокристаллический кремний. При использовании данной структуры в связке с эластомерами, достигается максимальный коэффициент тензочувствительности с минимальными значениями гистерезиса за счет физических характеристик эластомеров.

Монокристаллические кремниевые тензодатчики на мягком эластомере демонстрируют линейную зависимость между деформацией и изменениями относительного сопротивления с быстрым временем отклика. На практике эти датчики ранее использовались в рекреативной медицине для обнаружения движения в различных анатомических точках, пораженного участка тела человека. [6] [7]

### **ФОРМА И РАСПОЛОЖЕНИЕ ТАКТИЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ.**

Измерение процентного сопротивления тензодатчиков проводится исключительно линейно. Однако кожа человека испытывает многоосевые силы и подвергается ряду прямоугольных и линейных движений в разных местах тела.

Анализируя степень сжатия и растяжения отдельных участков кисти руки, было выявлено 4 основных степени кривизны датчика от 0% до 20% (Рис. 1). [8]

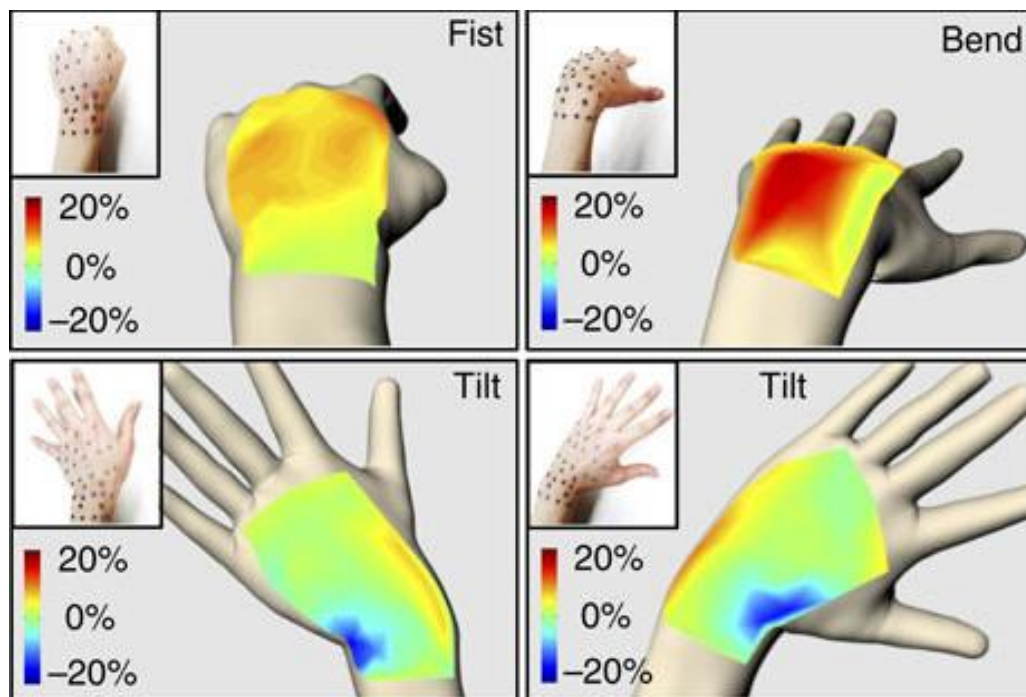


Рисунок 1. Анализ степеней сжатия и растяжения отдельных участков кисти руки.

Такая неоднородность движений и деформаций говорит о необходимости специфической для конкретного места оптимизации датчиков и исполнительных механизмов.

Для реализации измерений по всем осям движение протеза, наиболее эффективной формой датчиков является змеевидная (Рис.2). [9]

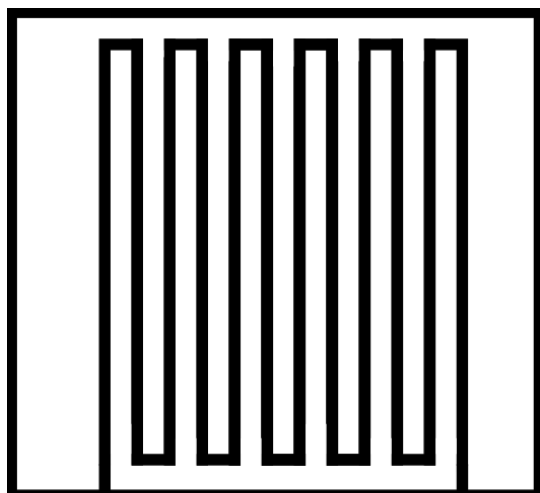


Рис.2а Линейная структура тензометрических анализаторов

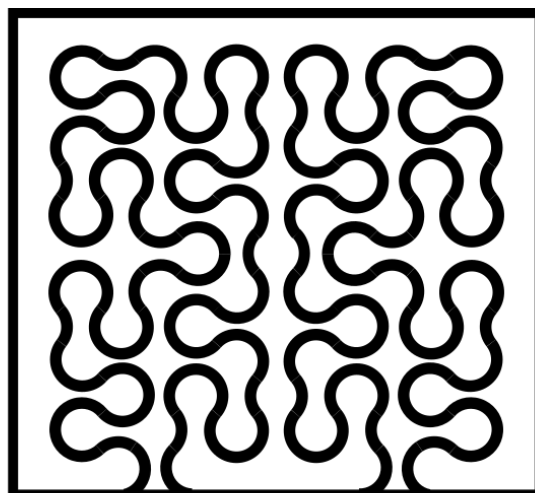


Рис.2б Змеевидная структура тензометрических анализаторов

Рисунок 2. Структура тензометрических анализаторов

Чтобы контролировать тактильную обратную связь в конкретной точке соприкосновения протеза и физического тела, а не по всей длине расположения датчиков, эффективным решением будет создание матрицы напряжений переменной формы. Степень кривизны формы датчика варьируется от места его расположения.

## **ВЫВОД**

Конечная цель каждого протеза - дать возможность пациентам чувствовать различные виды внешних раздражителей. Для достижения этой цели сигналы, полученные через матрицу анализаторов, должны обрабатываться и передаваться для стимуляции соответствующей периферической нервной системы. Методы создания системы «обратной связи» рассмотренные в статье являются наиболее перспективным. Значимые достижения в современных методах электромиографии в паре с нейрохирургической имплантацией свидетельствует об успешном введении электрического сигнала в периферические нервы и передаче в центральную нервную систему. Но несмотря на достижения в области растягиваемых нейронных интерфейсов, украшенных наноматериалами, возникает несколько вопросов безопасности, таких как отторжение нервной системы, а также предельная нагрузка на соматосенсорную систему человека. В перспективах модернизации данного метода, с помощью экспериментов в области нейронной медицины, создание декодера информации поступающей в центральную нервную систему значительно снижая нагрузку на мозг человека. [10]

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Анализ методов естественного управления бионическими протезами верхних конечностей В.Р. Апостолов, КПИ им. Игоря Сикорского 2019
- [2] Dahiya, R. S. & Valle, M. Robotic Tactile Sensing Ch. 3 (Springer Science & Business Media, 2013).
- [3] Анализ методов естественного управления бионическими протезами верхних конечностей В.Р. Апостолов, КПИ им. Игоря Сикорского 2019
- [4] The Senses: The Somatosensory System [Электронный ресурс] - <https://www.dana.org/article/the-senses-the-somatosensory-system/> - свободный доступ.
- [5] Reverse-micelle-induced porous pressure-sensitive rubber for wearable human-machine interfaces S Jung Adv. Mater., 2014
- [6] Epidermal electronics D-H Kim Science, 2011
- [7] Gauge factor and stretchability of silicon-on-polymer strain gauges S Yang, N Lu Sensors, 2013
- [8] Human Hand Motion Analysis With Multisensory Information
- [9] Zhaojie Ju, Member, IEEE, and Honghai Liu, Senior Member, IEEE
- [10] Fractal design concepts for stretchable electronics JA Fan Nat. Commun., 2017
- [11] Flexible, foldable, actively multiplexed, high-density electrode array for mapping brain activity in vivo J Viventi Nat. Neurosci., 2015

*Наук. керівник – к.т.н., Богдан Г. А.*

## УДК 535.8

*А. Р. Ванджура, студентка гр. ПК-71*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ В ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

**Анотація.** Матеріал містить аналіз перспективних напрямів застосування метаматеріалів в оптичних технологіях та інших сферах науки і техніки. В статті наведені фізичні принципи роботи та властивості метаматеріальних структур різного призначення. Розглянуто сучасний стан наукових досліджень, які спрямовані на створення пристроїв та систем, що наділені властивістю невидимості для неозброєного ока людини, та проблеми подальшого розвитку цих технологій.

**Ключові слова:** метаматеріали, метаповерхня, невидимість, оптичні технології.

#### **ВСТУП**

Невидимість давно використовується у творах наукової фантастики, але сьогодні такі технології справді стають реальністю. Науковці впевнені, що спроможні найближчим часом виготовляти пристрої, які мають саме цю властивість для сприйняття неозброєного людського ока. Досягнення задачі «маскування» предмета реалізується за допомогою так званих метаматеріалів, що можуть створювати ефект огинання електромагнітним випромінюванням, наприклад, світлом, об'єкту. Префікс "мета" вказує на те, що характеристики матеріалу виходять за рамки того, що можна спостерігати в природі.

#### **ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ВЛАСТИВОСТІ МЕТАМАТЕРІАЛІВ**

Метаматеріали – це штучно виготовлені композитні матеріали, які отримують свої властивості завдяки особливостям внутрішньої мікроструктури, а не на основі хімічного складу, що міститься в природних речовинах. Основою концепції метаматеріалів є створення сполук з використанням штучно розроблених та сфабрикованих структурних елементів задля досягнення бажаних властивостей та необхідного функціоналу. Ці структурні елементи – складова частина штучних "атомів" та "молекул" метаматеріалу – можуть бути налаштовані за формою та розміром, їх період кристалічної ґратки та міжатомна взаємодія можуть бути штучно налаштовані, а "дефекти" кристалічної структури спроектовані та розміщені у потрібних місцях. Встановивши розташування цих одиничних нанорозмірних елементів на потрібну архітектуру чи геометрію, можна налаштувати показник заломлення метаматеріалу на додатне, майже нульове або навіть від'ємне значення. Таким чином, метаматеріали можуть бути наділені функціональними можливостями, недосяжними для природних матеріалів. Наприклад, використання таких технологій зробило можливим створення плащів невидимості, які здібні затьмарювати предмет, що розташований за ними. Матеріал такого пристрою повинен точно контролювати шлях проходження світлових хвиль, але на сьогоднішній день ефективність цієї технології обмежена неспроможністю функціонувати належним чином в широкому діапазоні довжин хвиль оптичного спектру. Розробка метаматеріалу, який працює у всьому видимому спектрі, залишається невирішеним завданням. Однією з найбільш суттєвих проблем є те, що будь-який подібний матеріал повинен взаємодіяти як з електричною, так і з магнітною складовими світлової хвилі. Більшість природних речовин не

взаємодіють з магнітним полем світла у видимому та інфрачервоному діапазонах довжин хвиль. Результатом попередніх зусиль, спрямованих на дослідження метаматеріалів, є створення штучних атомів, що включають дві складових – першу, яка взаємодіє з електричним полем, та другу, що здатна перетворювати магнітну складову світлової хвилі. Недоліком цього комбінованого підходу є те, що окремі складові взаємодіють з різними кольорами видимого світла, і, як правило, їх важко змусити накладатися на широкий діапазон довжин хвиль.

До найбільш затребуваних властивостей метаматеріалів відноситься від'ємний показник заломлення світла та інших випромінювань. Від'ємне заломлення засноване на рівняннях, розроблених ще у 1861 році шотландським фізиком Джеймсом Максвеллом. Усі відомі природні оптичні матеріали мають додатний показник заломлення. Чим вище показник заломлення, тим сильніше матеріал змінює напрям розповсюдження світлових променів, що пройшли крізь нього. У деяких метаматеріалах, однак, від'ємне заломлення світлового потоку відбувається таким чином, що світло та інші випромінювання надходять назад в структуру матеріалу. Лише на початку 2000-х дослідники знайшли рішення, як створювати матеріали будь-якого типу, що можуть мати від'ємне заломлення. Перші зразки подібних метаматеріалів виготовлялися з масивів тонких дротів і працювали лише з мікрохвильовим випромінюванням. Такі синтетичні сполуки потребують досконалої технології виготовлення, а також високоточної збірки.

## **МЕТАПОВЕРХНІ**

Незвичні для людини оптичні ефекти не обов'язково передбачають використання об'ємних (3D) метаматеріалів. Також можна маніпулювати світлом за допомогою двовимірних (2D) структур – так званих метаповерхонь (плоскої оптики).

Метаповерхні – це тонкі плівки, синтезовані з окремих елементів, що насамперед були розроблені для подолання перешкод, з якими стикнулися при створенні метаматеріалів. Принцип дії метаповерхні заснований на явищі дифракції світла. Будь-яку плоску періодичну структуру можна розглядати як дифракційну ґратку, що розділяє падаюче світло на кілька променів. Кількість та напрямок цих променів залежить від геометричних параметрів структури: кута падіння, довжини хвилі та періоду ґратки. Структура субхвильової елементарної комірки, в свою чергу, визначає, як енергія падаючого світла розподіляється між променями. Для реалізації від'ємного показника заломлення необхідно, щоб усі крім одного дифрагованого променя були заглушені, тоді все падаюче світло буде спрямоване в потрібному напрямку. На сьогоднішній день більшість виготовлених метаповерхонь є пасивними, це означає, що їх параметри неможливо корегувати після виготовлення. На відміну від цього, активні метаповерхні дозволяють динамічно контролювати свої оптичні властивості під дією зовнішніх подразників. Такі оптичні технології можуть бути корисними у різноманітних системах, починаючи від оптичного зв'язку вільного простору до голографічних дисплеїв та глибокого зондування [1].

## СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМАТЕРІАЛІВ

Інше використання метаматеріалів потенційно з більш широким науковим застосуванням – створення суперлінз – компонентів, які здатні забезпечити збільшення зображення на рівнях, що затьмарюють будь-яку іншу існуючу технологію. Концепція "суперлінзи" викликала значний дослідницький інтерес в області візуалізації і фотолітографії з того часу, як була запропонована ще в 2000 році Джоном Пендрі з Імперського коледжу Лондона. Науковець припустив, що метаматеріал з від'ємним показником заломлення може вирішити такі проблеми, як загасання хвиль, і дозволить отримувати зображення об'єктів розміром всього в нанометр [2]. Суперлінза дає змогу розглядати об'єкти, набагато менші, ніж приблизно 200 нанометрів, на які здатна звичайна оптична лінза, що працює у видимому діапазоні довжин хвиль. Ця теоретична межа роздільної здатності (межа дифракції) згідно з традиційною методологією формування оптичного зображення була основним фактором, мотивуючим розробку методів сканування з більш високою роздільною здатністю. Одним з перших практичних застосувань такої технології, ймовірно, буде використання метаматеріальних лінз для перегляду живих вірусів і, можливо, навіть шматочків ДНК [3].

У 2005 році тонка срібна пластинка використовувалася для зображення об'єктів розміром всього 60 нм – трохи більше однієї соті розміру еритроцита [4]. Вчені Рочестерського інституту оптики розробили комбінацію з чотирьох стандартних лінз, що приховують об'єкт при переміщенні спостерігача на кілька градусів від початкового ракурсу перегляду. Пристрій є ширококутовим, тому працює для всього видимого діапазону оптичного спектру, а не тільки для певних частот [5].

## ТЕХНОЛОГІЯ НЕВИДИМОСТІ

Завдяки недавньому прогресу в дослідженнях метаматеріалів була розроблена технологія маскування, що дозволяє зробити об'єкт невидимим для неозброєного людського ока, змушуючи падаюче світло уникати та обтікати перешкоду, тобто світловий потік продовжує розповсюджуватись у початковому напрямку. Оптичні камуфляжні пристрої, розроблені з використанням трансформаційної оптики, мають замкнуту область, яку уникає падаюче з усіх боків світло. Тому людина, що ховається в цій області, здається невидимою для сторонніх спостерігачів [6]. Канадська камуфляжна компанія "Hyperstealth Biotechnology" запатентувала матеріал, який перетворює світло так, що люди і об'єкти стають невидимими неозброєним оком. Розроблена технологія також приховує від інфрачервоних та ультрафіолетових сканерів. Матеріал, що отримав назву Quantum Stealth, в даний час все ще знаходиться на стадії створення прототипу, і був розроблений, головним чином, для військових цілей – маскування живої сили та техніки, такої як танки і реактивні літаки, в польових умовах [7].

## АКУСТИЧНІ МЕТАМАТЕРІАЛИ

Метаматеріали також здатні контролювати звуки навколишнього



середовища і структурні вібрації, що мають подібні форми хвиль. Акустичні метаматеріали можуть бути використані для фокусування звуку в певній точці простору, наприклад, з метою збільшення його локальної інтенсивності та знищення пухлин в глибині тіла пацієнта при медичних операціях. Дослідники також розробили метаматеріал, який може транспортувати звук надзвичайно високої потужності по краях структури і локалізувати його у певних кутах розповсюдження [8]. Ця унікальна властивість може поліпшити технології, що використовують звукові хвилі, такі як гідролокатори і ультразвукові системи неруйнівного контролю, підвищуючи їх завадозахищеність, а отже і ефективність.

## ВИСНОВКИ

Завдяки розвитку метаматеріальних структур стали реальністю технології невидимості та створення суперлінз з приголомшливою роздільною здатністю. Прикладне застосування в техніці цих технологій буде реалізовано вже в найближчому майбутньому. Однією з найважливіших задач в наукових дослідженнях цього напрямку є розширення робочого діапазону довжин хвиль матеріалів. Але вже сьогодні до областей застосування метаматеріалів належать: фотоніка, оптоелектроніка, медицина, військова справа, радіоелектроніка, аерокосмічна галузь та інші.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] What are metamaterials? — Режим доступу: <https://www.nanowerk.com/what-are-metamaterials.php>. — 16.11.2019.
- [2] Pendry J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens / *Physical Review Letters*. — 2000. — vol. 85. — №18. — p. 3966-3969.
- [3] How do 'invisibility cloaks' work? — Режим доступу: <http://www.physics.org/article-questions.asp?id=69>. — 17.11.2019.
- [4] Fang N. Sub-Diffraction-Limited Optical Imaging with a Silver Superlens / N. Fang, H. Lee, C. Sun, X. Zhang // *Science*. — 2005. — vol. 308. — p. 534-537.
- [5] 'Cloaking' device uses ordinary lenses to hide objects across range of angles. — Режим доступу: <https://www.rochester.edu/newscenter/watch-rochester-cloak-uses-ordinary-lenses-to-hide-objects-across-continuous-range-of-angles-70592/> — 25.09.2014.
- [6] Hyperstealth Biotechnology's "invisibility cloak" can conceal people and buildings). — Режим доступу: <https://www.dezeen.com/2019/11/07/hyperstealth-biotechnology-quantum-stealth-invisibility-cloak/>. — 18.11.2019.
- [7] Quantum Stealth (Invisibility Cloak). — Режим доступу: <http://www.hyperstealth.com/> — 04.09.2019.
- [8] Ni X. Observation of higher-order topological acoustic states protected by generalized chiral symmetry / X. Ni, M. Weiner, A. Alù // *Nature materials*. — 2019. — vol. 18. — p. 113-120.

УДК 620.179:620.19

*М.О. Глущенко, студент гр. ПК-61*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЗАСТОСУВАННЯ САПР SOLIDWORKS ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

**Анотація.** В роботі розглядаються питання дослідження і проектування ультразвукових перетворювачів. Досліджуються системи автоматизованого проектування, та застосування їх до задач проектування перетворювачів. Змодельовано два види датчиків (прямий, похилий) в програмі SOLIDWORKS, в роботі наведені рендери моделей. Показані шляхи перспективності використання SOLIDWORKS в якості програми для проектування датчиків та приладів ультразвукового неруйнівного контролю.

**Ключові слова:** SOLIDWORKS, ультразвукові датчики.

### **ВСТУП**

Взаємодія керуючих систем з технологічними процесами при виробництві продукції, параметричний контроль, якість і кількість продукту здійснюють різні датчики й аналітичне забезпечення. Датчики дають можливість постійно контролювати технологічний процес й оптимізувати його, що дає змогу поліпшити якість продукції й підвищити конкурентоспроможність виробництва.

### **ДОСЛІДЖЕННЯ**

Майже будь-який розповсюджений інженерний контролюється за допомогою ультразвуку. Ультразвукові датчики можуть бути застосовані для пластмас, металів, скловолокна, композитів, кераміки та скла. Часто необхідні оперативні або виробничі вимірювання екструдованих прокату і пластмас, а також вимірювання окремих покриттів або шарів у багат шарових компонентів. Різні біологічні зразки і рідини також можуть бути виміряні. Ультразвуковий контроль є неруйнівним видом контролю, без необхідності різання або секціонування.

Наразі для підвищення якості дослідження матеріалів потрібно підвищувати якість датчиків. Виготовлення і тестування є доволі кропіткий і дорогавартісний процес, тому для здешевлення і пришвидшення використовують CAD програми для 3D-проектуювання.

Наразі існує декілька програм для моделювання, а саме: SOLIDWORKS, Inventor, Компас, Fusion 360, AutoCAD тощо. Кожна програма має свої плюси і мінуси в проектуванні. Після проведення детального аналізу кожної програми я для себе вибрав програму SOLIDWORKS, через її функціонал.

### **SOLIDWORKS**

SolidWorks – потужний машинобудівний CAD пакет для твердотілого параметричного моделювання складних деталей і збірок. Це система конструювання, яка базується на параметричному геометричному ядрі Parasolid, створена спеціально для використання на персональних комп'ютерах.

Для кращого розуміння того, чому саме ця, а не інша, програма була вибрана мною я, наводжу переваги і недоліки даного продукту.

Переваги:

- більш швидке виконання креслень;
- підвищення точності виконання;
- можливість багаторазового використання креслення;
- прискорення розрахунків і аналізу при проектуванні;
- зниження витрат на оновлення;
- великий рівень проектування.

Недоліки:

- доступність тільки на одній платформі;
- потреба в ресурсах комп'ютера.

## УЛЬТРАЗВУКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Наразі широке застосування в ультразвуковій дефектоскопії отримали контактні перетворювачі. П'єзоперетворювачі, створені для введення хвилі у напрямку, перпендикулярному поверхні, називають прямими, або нормальними, похилими, або призматичними, для введення під деяким кутом. П'єзоперетворювачі включаються за роздільною, суміщеною або роздільно-суміщеною схемами. В більшості випадках в одному корпусі розміщуються два п'єзоперетворювача, розділених між собою екранованою поверхнею. Надалі розглядаємо перших два перетворювача. Конструкції основних типів перетворювачів наведені на рис. 1. в контактному прямому суміщеному перетворювачі (рис. 1а) п'єзопластина 1, притиснута або приклеєна з одного боку до протектору 3, з іншого – до демпфера 2. П'єзопластину, протектор і демпфер, склеюють між собою, розміщують в корпусі 6. За допомогою провідників 7 п'єзопластину з'єднують з електронним блоком дефектоскопа. Рідина контактна 4 забезпечує передачу пружних коливань ультразвукової частоти від перетворювача до ОК 5 та навпаки.

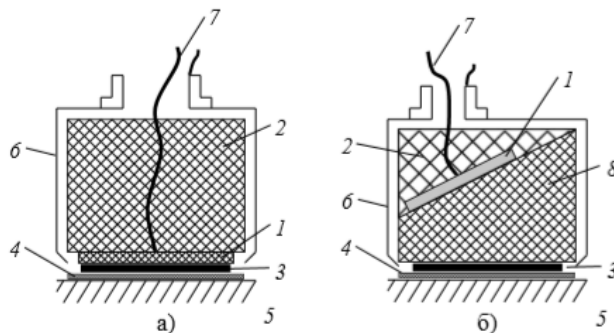


Рис. 1 Типи конструкцій ультразвукових датчиків: а) прямий; б) похилий

Прямі перетворювачі використовують для збудження поздовжніх хвиль. У похилих контактних суміщених перетворювачах (рис. 1б) застосовують призму 8 для введення ультразвукових коливань під кутом до поверхні об'єкта контролю. Дані перетворювачі створені для збудження в основному зсувних (поперечних) і поверхневих хвиль в досліджуваних об'єктах.

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДАТЧИКІВ

Для перевірки всього вищесказаного ми змодельовали ультразвукові датчики (рис. 2). На рис. 2а показано спроектований прямий перетворювач, в

стандартному корпусі, на рис. 2б – похилий перетворювач. Моделювання різних датчиків не відрізняється між собою, а сам процес є уніфікованим.

Побудова датчиків в програмі SOLIDWORKS складається з декількох етапів. На початку проектування ми умовно плануємо, який датчик в нас буде, і розраховуємо його параметри наближено. Створюємо в програмі новий компонент та проектуємо згідно геометричних характеристик усі деталі нашого перетворювача.

Створивши всі деталі ми складаємо їх у так звану збірку, в якій підганяємо всі деталі між собою. На рис. 2 наведено рендер спроектованих у SOLIDWORKS датчиків.

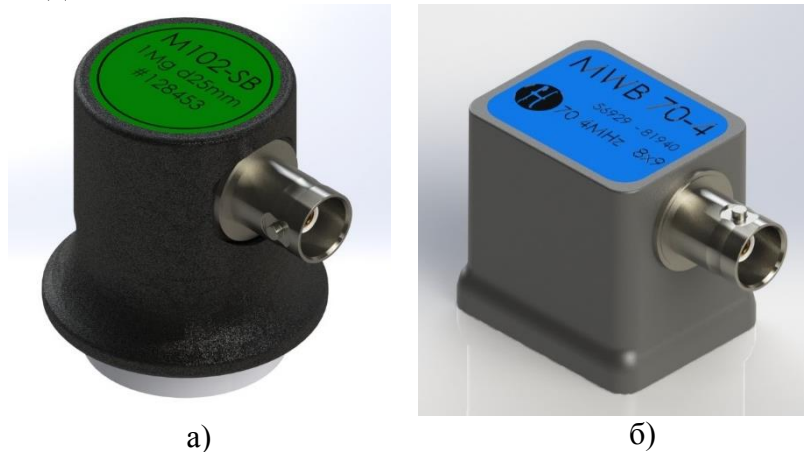


Рис. 2. Розроблені в SOLIDWORKS конструкції перетворювачів:  
а) прямий; б) похилий

## ВИСНОВОК

В даній роботі ми дослідили ультразвукові перетворювачі, обґрунтували переваги і недоліки програми для розробки і моделювання ультразвукових датчиків. Спроекували власні датчики для неруйнівного контролю.

Моделі датчиків зручно використовувати для навчання та кращого розуміння внутрішньої будови ультразвукових датчиків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [2] Ультразвукова дефектоскопія. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Ультразвукова\\_дефектоскопія](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ультразвукова_дефектоскопія) – 1.04.2018 р.
- [3] SolidWorks – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> – 28.10.2019 р.
- [4] Опис технологічного процесу – Режим доступу: [https://vuzlit.ru/755120/opis\\_tehnologichnogo\\_protseesu](https://vuzlit.ru/755120/opis_tehnologichnogo_protseesu) – 2019 р.
- [5] Конструкції перетворювачів – Режим доступу: <https://ukrbukva.net/page,27,43830-Povyshenie-kachestva-izmereniya-i-vybor-metodov-i-sredstv-dlya-kontrolya-razmerov-v-detalyah-tipa-val-i-korpus.html> – 2019 р.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Галаган Р.М.*

УДК 530.145

Д. Є. Котлов, студент гр. ПК-71  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КВАНТОВІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** У роботі розглядається концепція технології передачі інформації за допомогою таких відомих принципів квантової механіки, як квантова телепортація та квантова заплутаність. Наводиться стислий опис фізичних основ їх роботи та аналіз методів реалізації. Розглядаються можливості імплементації таких систем в повсякденне життя та перспективи їх подальшого розвитку.

**Ключові слова:** кубіт, суперпозиція, квантова заплутаність, квантова телепортація, передача інформації.

### ВСТУП

В наш час серйозним обмеженням систем передачі сигналів є значна відстань між приймачем та випромінювачем сигналу, що особливо спостерігається у космічних системах та мережевих з'єднаннях між клієнтами, що знаходяться на різних континентах. З ціллю подолання значних розбіжностей в майбутньому може бути використана система квантової телепортації, що дозволить переносити інформацію на великі відстані майже миттєво.

### МЕТА РОБОТИ

Мета даної роботи – розглянути реалізації квантового телепортера, математичний та фізичний апарат даної концепції та оцінити можливості такої системи для майбутнього застосування.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перед конструюванням системи телепортації важливим етапом підготовки є вибір «ресурсу», що буде застосовуватися в якості носія інформації – так званого кубіту. Розглянемо для початку характеристики таких носіїв, за якими і проводиться вибір.

Суперпозиція – здатність частинки знаходитися одночасно у двох квантових станах. При цьому внаслідок так званого колапсу квантової функції під час вимірювання квантовий стан приймає деяке квантоване значення (наприклад 0 або 1) залежно від вірогідності кожної з можливих конфігурацій (рис. 1).

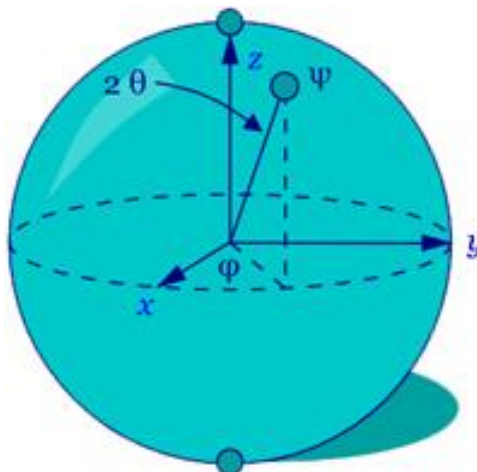


Рисунок 1. Репрезентація стану кубіта на сфері Блоха [1]

У випадку конфігурації з 2-х станів система приймає значення:

$$C_0|0\rangle + C_1|1\rangle, \quad (1)$$

де  $C_0, C_1$  – комплексні коефіцієнти, які характеризують вірогідність кожного стану;  $|\varphi\rangle$  – нотація ‘ket’, що часто використовується, як альтернатива класичному позначенню вектора для репрезентації стану кубіту при квантових розрахунках [2].

Як і очікувалось, сума ймовірностей (1) завжди повинна бути рівна 1 незалежно від кількості станів системи:

$$|C_0|^2 + |C_1|^2 = 1 \quad (2)$$

Графічно стан кубіту часто презентують у вигляді сфери Блоха (рис. 1), де:

$$C_0 = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad C_1 = e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

Необхідно перевірити акуратність репрезентації. Розглянемо, чи виконується рівність (2):

$$\left|\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 + \left|e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 \quad (4)$$

де  $e^{i\varphi}$  – вектор одиничної довжини на комплексній площині.

Довжина вектору  $e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$  буде дорівнювати довжині вектору  $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$ , з чого випливає, що:

$$\left|\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 + \left|e^{i\varphi} * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right|^2 = \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1 \quad (5)$$

Найважливішою в нашому випадку особливістю квантової системи є квантова заплутаність – явище квантової системи, при якому стани 2-х або більше квантів є взаємопов’язаними незалежно від відстані між ними.

Серед варіантів вибору – 3 найбільш розповсюджені види систем за використанням носієм (надалі - кубітом) [3]:

### Надпровідникове коло

Принцип роботи такої системи наступний: електричний струм рухається по замкнутому колу, в якому відсутні резистори, в той час, як мікрохвилі переводять електрони у стан суперпозиції.

- Переваги: базуються на вже існуючих технологіях і вирізняються найбільшою швидкістю серед усіх квантових технологій.
- Недоліки: електрони дуже легко виводяться з стану суперпозиції навіть при невеликих збуреннях, тому електрична схема утримується в температурах, що не перевищують 100 мК.

### Схоплені іони

Принцип роботи системи, що використовує такий тип носіїв інформації, коротко можна описати так: на іони діють одночасно лазери охолодження та лазери, що проводять операції над їх станами (переводять у стан суперпозиції, змінюють спін або ж заплутують).

- Переваги: основною перевагою такої системи є дуже висока стабільність стану суперпозиції.

- Недоліки: невелика швидкість, порівняно з іншими системами; потреба в великій кількості лазерів для збереження стійкості суперпозиції.

### Алмазні вакансії

Принцип роботи такої системи наступний: алмазна решітка поєднується з атомом нітрогену та вакансією (дефектом, що являє собою відсутність 1-го атому в кристалевій решітці атому), стан суперпозиції при цьому контролюється світлом.

- Переваги: на відміну від інших систем може оперуватися при кімнатних температурах, значною перевагою є досить велика стабільність стану суперпозиції (але все ще набагато менша ніж у системі з іонами).
- Недоліки: головним недоліком такої системи є складність процесу заплутування.

В реальних телепортаторах та інших квантових технологіях найчастіше використовується система з надпровідниковим колом через простоту та швидкість. В експериментальних, в свою чергу, часто використовують системи з фотонами в якості кубітів.

Будова системи квантової мережі має багато збіжностей з будовою класичних мереж, тому чимало вже існуючих технологій можуть бути використані при переході на квантові засоби передачі інформації. Найпростіша модель такої реалізації складається з:

1. кінцевих точок, що являють собою квантові процесори або будь-які елементи, які проводять операції утворення або детектування кубітів;
2. комунікаційних ліній, представлених у вигляді оптоволоконних з'єднань, що забезпечують передачу на великі дистанції або через «вільний простір», що забезпечує швидшу передачу інформації, але підвищує похибку вимірювань на великих відстанях;
3. квантових ретрансляторів, які за необхідності передати інформацію на дуже велику відстань, використовують квантову телепортацію (рис. 2) та підтримують стан заплутаності кубітів.

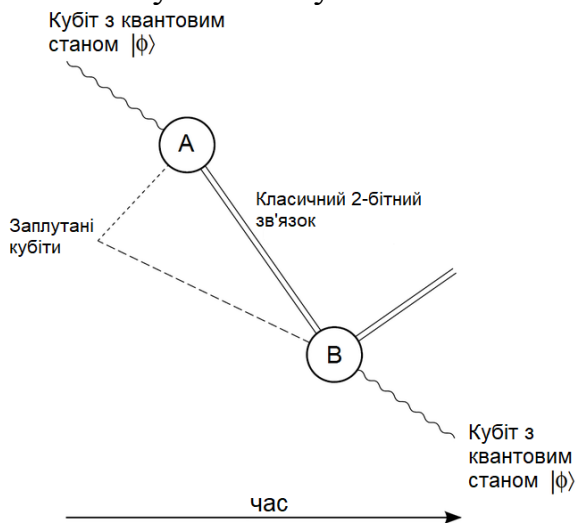


Рисунок 2. Діаграма роботи квантової телепортації [4]

Головна мета таких мереж – криптографічна безпека, але насправді така структура може:

1. Повністю замінити мережу Інтернет, обмеживши швидкість з'єднання між двома будь-якими точками на планеті до одиниць мілісекунд.
2. Дозволити створювати космічні ретранслятори, що з'єднують космічні телескопи, штучні супутники та космічні станції, значно покращивши якість зображень, що отримується при аналізі космічного об'єкту.
3. Дати простір для дослідів в сторону мінімізації та бездротовості приладів контролю, відправляючи данні спостереження одразу на обчислювальну машину без використання зовнішнього живлення та кабелів для передачі даних.
4. Об'єднувати системи штучного інтелекту (ШІ) в одну, прискорюючи їх навчання, збільшуючи об'єм інформації кожного ШІ та, найголовніше, дозволяючи ШІ імітувати внутрішній автоматизований «соціум», що представляє собою фабрично виготовлену групу таких систем з закладеними інструкціями відносин між собою.

## **ВИСНОВКИ**

Розглянута в даній роботі технологія дозволила зробити чіткий висновок про перспективність розвитку сфери квантової інформатики. Використання і доповнення в майбутньому цієї технології суттєво покращить зв'язок між віддаленими об'єктами. Серед існуючих на даний момент недоліків можна виділити недостатньо велике фінансування наукових досліджень відносно вартості таких систем, відсутність фізичного пояснення багатьох фізичних процесів галузі, що призводить до гарантованої недосконалості сучасних моделей пристроїв.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] How Quantum Computers Work. — Режим доступа: <https://computer.howstuffworks.com/quantum-computer1.htm/> — 18.11.2019.
- [2] Zwiebach B. Dirac's bra and ket notation / Quantum Physics II. – 2013. – vol. 8.05. – p. 1-14.
- [3] The Future of Computing – Quantum & Qubits. — Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/future-computing-quantum-qubits/>— 19.11.2019.
- [4] Quantum network. — Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_network#Overview\\_of\\_the\\_elements\\_of\\_a\\_quantum\\_network/](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_network#Overview_of_the_elements_of_a_quantum_network/) — 08.10.2019.

*Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.*



УДК 620.179:620.19

Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПРИЛАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

**Анотація.** Дана стаття присвячена важливій для неруйнівного контролю темі, а саме приладам для контролю точкового зварювання. Стаття містить вступ, опис основних принципів контактної точкової зварювання, опис методів і приладів контролю та висновки.

**Ключові слова:** точкове зварювання, неруйнівний контроль, дефект, якість.

### ВСТУП

Точкове зварювання (Рисунок 1) або точкове контактне зварювання – вид контактної зварювання, під час якого заготовки стискаються в окремих точках. Під час зварювання заготовки складають з напуском і затискають між електродами, для підведення струму до точки зварювання. Поверхні заготовок, які зварюються, що стикаються з мідними електродами нагріваються повільніше ніж їх внутрішні шари. Поверхні нагрівають доки зовнішні шари не стануть пластичними і поки внутрішні шари не розплавляться. Потім струм вимикають а тиск знімають. Як результат утворюється зварна точка.

### ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ

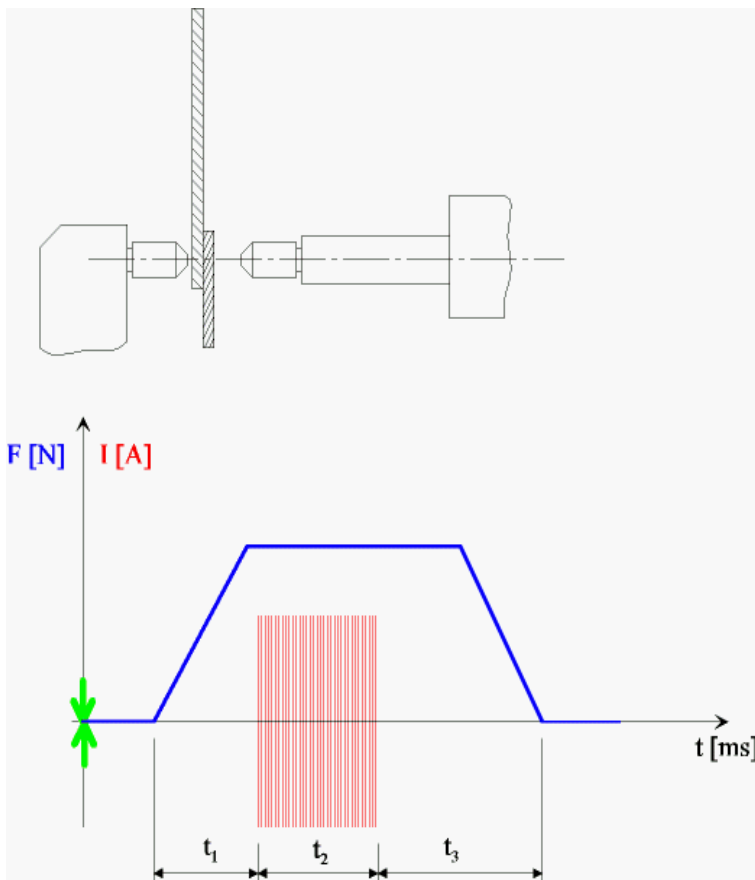


Рисунок 1. Процес точкового зварювання

Цей тип зварювання використовується в багатьох варіантах в залежності від конструкції виробу. Для отримання зварювальної точки деталі розміщують між електродами. Під час натискання на педаль верхній корпус машини опускається і підтягує компоненти. Через деякий час подається зварювальний струм, потрібний для утворення надійного контакту між сегментами, доводячи метал поміж частково плавильними електродами та зоною поруч із серцевиною в пластичний стан. Тиск зменшують одразу після кристалізації ядра.

Потрібно щоб електроди мали високу електро- та теплопровідність і зберігали

необхідну міцність до 400 С. Їх певною мірою виготовляють з порожнинами з холодновальцьованої електролітичної міді та сплавів на її основі. В процесі зварювання необхідною мірою є охолодження електродів.

Добротність з'єднань, виконаних точковим, рельєфним, шовним та стиковим зварюванням, залежить, в основному, від стабільності таких факторів, як коливання напруги елементу живлення, чинників режиму зварювання, надійності у роботі обладнання, зносу робочих поверхонь, шунтування струму, зміна товщини деталей, зсув граней стиків, чистота поверхонь електродів і деталей у місці зварювання, завищені розміри зазорів між деталями тощо. Враховуючи, що з'єднання формуються у недосяжній зоні для огляду зварювальника, надійність з'єднань характеризується часто за комплексом діючих факторів. До них належать сила струму зварювання у вторинному контурі машини, електричний опір, ділянка зварювання між електродами, падіння напруги між електродами тощо.

Перевірка якості зварювальних з'єднань виконують (при автоматизованому виробництві) за так званими типізованими параметрами. Для рельєфного, точкового і шовного зварювання вищеназваними параметрами є температурне розширення металу в зоні зварювання, що спричиняє переміщення пересувної частини машини (дилатометричний ефект), теплове а також акустичне випромінювання зі зварювальної зони або зміну інтенсивності ультразвукових коливань, що проходять через метал від одного електрода до іншого.

З метою стабілізації головних чинників режиму зварювання створені мікроконтролери типу ККС-01, котрі під час зварювання виконують: управління тиристорними контакторами зміною величини кута вмикання тиристорів, автоматичне нормалізування коефіцієнту потужності та омичного опору машинного контуру зварювання, своєчасний контроль стану устаткування та компенсацію зносу електродів поступовим збільшенням струму зварювання через деяку кількість точок.

## **МЕТОДИ ТА ПРИБЛАДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

Для неруйнівного контролю контактного точкового зварювання використовують такі методи: радіаційний, тепловий, оптичний, ультразвуковий і електромагнітний. Зовнішній огляд, перевірка на герметичну цілісність і опір сполучень деяким навантаженням асоціюють також з неруйнівним контролем.

Радіаційний контроль (ГОСТ 7512-82, ГОСТ 23055-81) базується на проходженні іонізуючого випромінювання через середовище з різною щільністю. Даним методом результативно виявляються тріщини, раковини, накопичення оксидів, пори, виплески та інші дефекти подібних типів.

Непровари в зварних з'єднаннях, у котрих відсутні несущі частини, даним методом знаходять, тільки якщо на поверхні деталей наявні рентгеноконтрастні матеріали.

Фіксація дефектів при радіографічному контролі виконується при допомозі спеціальної плівки або фотопаперу. Підвищується продуктивність перевірки використанням рентгеновідкривачів разом з дистанційним телевізійним екраном. Швидкодія контролю при цьому збільшується в 10 разів в порівнянні з

радіографією. Ще одним далекосяжним є радіометричний скануючий контроль і ксерорадіографія. Поруч із рентгенівським контролем задля знаходження зварювальних дефектів використовується і гаммаскопія. Схеми просвічування устальовуються у відповідності до конструкції вузла, товщини та фізичних властивостей металу контрольованої деталі.

Обладнанням для даного методу є кабельна апаратура типу РУП-150/300-10, багатоблочні мобільні апарати типу РУП-200-5-2, компактні імпульсні апарати типу «МИРА» і «НОРА», гамма-дефектоскопи типу «ГАММАРИД», «Стапель» або «Тракт», а також радіаційні інтроскопи типу «ПТУ» та «Дефектоскоп».

Новітні ультразвукові дефектоскопи працюють на частоті пружних хвиль від 0,2 до 10 МГц і дають змогу знайти дефекти розмірами від 100 мкм.

Даний спосіб надає можливість знаходити наявність в зварних з'єднаннях раковин, тріщин, пор, виплесків і скупчень неметалевих (оксидних) включень. Непровари (за відсутності тотальних зерен) і тонкі поверхневі оксиди УЗК виявити достатньо тяжко.

Багатообіцяючим є контроль зварних точок та швів ультразвуком, коли п'єзоелектричні випромінювачі та приймачі встановлюють у каналах водяного охолодження нижнього та верхнього електродів точкової машини.

Електромагнітним методом, котрий ґрунтується на зміні локальної електропровідності в зоні зварювання, контролюються точкові з'єднання. За відсутності литого ядра електропровідність металу є найбільшою; залежність розмірів ядра від номінального значення електропровідності є обернено пропорційною.

Вихорострумний метод використовує своєрідності поширення вихорових змінних полів, котрі закріплюються при допомозі суспензій, магнітної плівки за товщиною і на поверхні деталей.

Окремо від інших методів дефектоскопії можна виділити акустико-емісійний метод. Під час зварювання в матеріалі деталей, котрі з'єднуються, з'являються пружні коливання (акустична емісія), які зумовлені різкими змінами його структури, фазовими трансформаціями і утворенням дефектів. Сигнали акустичної емісії приймають на протязі всього циклу зварювання, а також в ході охолодження місця зварювання. Оцінивши параметри акустичної емісії, можна характеризувати розміри литої зони зварювальних деталей і слідкувати за утворенням внутрішніх дефектів.

## **ВИСНОВКИ**

Неруйнівний контроль контактного точкового зварювання відрізняється великою різноманітністю застосовуваних методів. На жаль, більшість методів контролю контактного точкового зварювання не застосовуються в автоматичному режимі. Тому важливою задачею є розробка таких приладів і систем, які дозволяли б виконувати неруйнівний контроль контактного точкового зварювання в автоматичному режимі.

Для підвищення інженерної ефективності неруйнівного контролю контактного точкового зварювання необхідно використовувати найсучасніші прилади, а також сукупність різних методів, а не лише якийсь один.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Кочергин К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
- [2] Климов А. С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества / А. С. Климов. – М.: Физматлит, 2011. – 216 с.
- [3] 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.
- [4] Контроль якості контактної зварювання. – Режим доступу: <https://k-svarka.com/content/kontrol-iakosti-kontaktno-gho-zvariuvannia> - 2010 р.
- [5] Контактне зварювання. – Режим доступу: <http://stroyka-gid.com.ua/zroby-svoimyu-rykamys/7799-kontaktne-zvatuvana.html> - 2019 р.
- [6] Точкове зварювання. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5\\_%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5_%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F) – 19 грудня 2018.
- [7] Контактне зварювання. - <http://coolreferat.com.ua/netw/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BD%D0%B0%20%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/main.html>
- [8] Контроль контактної точкової зварювання. – Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28157/1/PUMPb-2019\\_Proceedings-Page368-370.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28157/1/PUMPb-2019_Proceedings-Page368-370.pdf)

*Науковий керівник – д.т.н., проф. Галаган Р.М.*

УДК 004.9

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО 3D-ДРУКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу сучасних технологій 3D-друку та можливостей їх впровадження у промислове виробництво. У роботі виконано порівняння існуючих методів тривимірного друку, визначені їх основні переваги та недоліки, а також поточні та можливі в найближчому майбутньому області застосування. Наведено надсучасні приклади використання такої техніки для різних сфер життєдіяльності людини.

**Ключові слова:** 3D-принтер, тривимірний друк.

### ВСТУП

Людині, яка ніколи не зустрічалася з 3D-друком, може здатися, що 3D-принтер – це сучасна технологія, проте інженери та вчені працювали з цим дивовижним обладнанням ще з 1983 року[1]. Це був час, коли американський інженер на ім'я Чарльз Халл винайшов перший в світі 3D-принтер[2].

Спочатку у 90-х роках методи 3D-друку вважалися придатними лише для виготовлення функціональних чи естетичних прототипів, проте технологія тривимірного друку розширила горизонти для медицини, промислового прототипування, освіти. Станом на 2019 рік точність відтворення та діапазон матеріалів збільшилися настільки, що деякі процеси 3D-друку вважають придатними для промислового виробництва.

На сьогодні "3D-друк" охоплює різноманітні процеси, які загалом засновані на пошаровому створенні тривимірних об'єктів з віртуальної моделі. Віртуальна модель – це 3D-модель для друку, яка може бути створена за допомогою комп'ютерного середовища САД (computer aided design), за допомогою 3D-сканера або звичайного цифрового фотоапарата та фотограмметрії. 3D-друковані моделі, створені за допомогою програми САД, призводять до зменшення похибок і можуть бути виправлені перед друком, що дозволяє перевірити параметри моделі та дизайн об'єкта ще до початку його відтворення.

Типи технологій 3D-друку, що застосовуються сьогодні, можна об'єднати за наступними процесами, що лежать в основі принципу роботи такої техніки:

1. Екструзія матеріалу (Material Extrusion Fused deposition Modeling (FDM));
2. Полімеризація (Vat Polymerization: SLA (Stereolithography) and DLP (DigitalLight Processing));
3. Синтез порошкового шару (полімери) (Powder Bed Fusion (polymers): Selective Laser Sintering (SLS));
4. Синтез порошкового шару (метали) (Powder Bed Fusion (metal): Direct Metal Laser Sintering (DMLS); Selective Laser Melting (SLM); Electron Beam Melting (EBM));
5. Струменеве нанесення в'язучого агента (Binder Jetting: Sand and Metal Binder Jetting (BJ));
6. Струменеве нанесення матеріалу (Material Jetting: Material Jetting (MJ), Drop on Demand (DOD))[3].

Основні відмінності між цими процесами полягають у способі нанесення шарів для створення деталей та матеріалів, що використовуються. Кожен метод має свої переваги та недоліки. До основних характеристик 3D-принтера на сьогоднішній день, як правило, відносять: швидкість друку, точність позиціонування, витрати, номенклатуру використовуваних матеріалів, а також кольорові можливості друку деталей.

### АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ

Розглянемо коротко принципи роботи 3D-принтерів, побудованих за вказаними вище технологіями друку, після чого проведемо їх порівняльний аналіз, результати якого наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз можливостей технологій 3D-друку

<i>Назва технології</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>	<i>Точність розмірів, мкм</i>
Екструзія матеріалу	Найнижча вартість Багатоматеріальний друк Складна геометрія виробів Простота використання	Ламкість Не можна використовувати в якості механічних деталей	50
Полімеризація	Гладка поверхня об'єкту Складна форма деталей Висока точність	Ламкість Невеликий вибір матеріалів	15-30
Синтез порошкового шару (полімери)	Хороші механічні властивості Функціональні деталі	Потребує більше часу Висока вартість	30
Синтез порошкового шару (метали)	Міцність Функціональні деталі Висока точність	Невеликі розміри виробу Найдорожча з усіх технологій друку	10
Струменеве нанесення в'язучого агента	Низька вартість Великі обсяги нарощування Функціональні металеві деталі	Гірші механічні властивості, ніж в технології синтезу порошкового шару (метали)	20
Струменеве нанесення матеріалу	Найкраща обробка поверхні Різнокольоровий та багатоматеріальний друк Швидкість	Ламкість Не можна використовувати в якості механічних деталей	10

#### Екструзія матеріалу

Процес 3D-друку, при якому нитка твердого термопластичного матеріалу розігрівається і переходить у рідкий стан. Принтер розподіляє матеріал по заданим координатам, де нитка охолоджується і твердне. Після того, як поточний шар буде завершено, принтер переходить до побудови наступного. Цей процес друку перерізів повторюється, будуючи шар за шаром, до повного формування об'єкта. Пристрої, що використовують екструзію матеріалів, найпоширеніші та найдешевші серед усіх технологій 3D-друку. Сьогодні така технологія 3D-друку знайшла застосування при прототипуванні, виготовленні шаблонів для лиття та корпусних елементів конструкцій.

#### Полімеризація

В якості конструкційного матеріалу цієї технології використовують фотополімерну смолу, яку вибірково затверджують джерелом світла. Дві

найпоширеніші форми полімеризації – це SLA (стереолітографія) та DLP (Digital Light Processing). Принципова відмінність цих типів технології 3D-друку – тип джерела світла, яке вони використовують для затвердіння матеріалу. Принтери SLA використовують точковий лазер, на відміну від воксельного підходу, що застосовується принтером DLP, де затвердіння фотополімеру відбувається під впливом ультрафіолетового випромінювання. Полімеризація в якості технології 3D-друку широко застосовується для виготовлення ювелірних виробів.

#### **Синтез порошкового шару (полімери)**

Процес 3D-друку, де джерело теплової енергії вибірково розплавляє шар термопластичного порошку для формування твердотілого об'єкту. Технологія знайшла застосування при виготовленні функціональних елементів і деталей складної форми, які передбачають низький рівень експлуатації.

#### **Синтез порошкового шару (метали)**

Процес 3D-друку, який формує об'єкти, використовуючи теплове джерело для індукування синтезу частинок металевого порошку. В якості матеріалів при цьому виступають порошкові алюміній, нержавіюча сталь, титан. Деталі, сформовані за цією технологією, широко застосовуються сьогодні в медицині (хірургії та стоматології) для протезування.

#### **Струменеве нанесення в'язучого агента**

Процес 3D-друку, де рідкий агент вибірково зв'язує ділянки порошкового шару. Ця технологія 3D-друку вимагає наявності початкового шару порошку на платформі. Такий принтер переміщує друкуючу голівку над поверхнею металевого порошку, осаджуючи краплі рідкого агента. Ці краплі зв'язують частинки порошку разом, щоб утворити шар предмета. Після цього, надрукований шар опускається, а на нього наноситься новий шар порошку. Цей процес повторюється до повного формування об'єкта. Потім предмет залишають у порошку для затвердіння, а залишки видаляють за допомогою стисненого повітря.

#### **Струменеве нанесення матеріалу**

Такий 3D-принтер працює аналогічно звичайному струменевому принтеру. Ключова відмінність полягає в тому, що друкуюча голівка випускає сотні крихітних крапель фотополімерної смоли, а потім їх затверджує за допомогою ультрафіолетового світла. Після того, як один шар нанесено і затверджено, платформа збірки опускається вниз на товщину одного шару і процес повторюється для створення 3D-об'єкта. Технологія знайшла застосування при виготовленні інжекторних форм з невеликим пробігом, створенні прототипів виробів та медичних моделей з можливістю отримання різнокольорових об'єктів.

### **ТЕНДЕНЦІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ 3D-ДРУКУ**

Станом на 2012 рік струменевий біотехнологічний 3D-друк застосовується для виготовлення органів та частин людського тіла. У цьому процесі шари живих клітин осідають на гелеве середовище або цукрову матрицю і повільно

накопичуються, утворюючи тривимірні структури, включаючи судинні системи.

У 2015 році створено варіант багатоцільового винищувача Royal Air Force Eurofighter Typhoon із друкованими деталями.

Завдяки машині ВААМ (Big Area Additive Manufacturing) великі виробы, такі як 3D-друковані будинки або автомобілі, стали цілком реальними. Влітку 2018 року вперше в історії родина з 5 чоловік поселилася в будинку, створеному методом тривимірного друку. Стіни будинку, площа якого 95 м<sup>2</sup>, були надруковані за 54 години. Кінцева вартість споруди виявилась на 20% нижчою, ніж могла бути при використанні традиційних технологій.

У медичній промисловості нещодавно виникла концепція 3D-друкованих таблеток і вакцин, де кілька препаратів об'єднані разом. Використання 3D-друку в медицині також дозволило створити справді персоналізовані імплантати[4].

## **ВИСНОВКИ**

Найбільш поширена на сьогодні технологія 3D-друку (46% станом на 2018 рік) – екструзія матеріалу, завдяки своїй низькій вартості та простоті у використанні. Однією з ключових переваг 3D-друку є можливість створення об'єктів надзвичайно складної форми, а необхідною умовою її реалізації – наявність цифрової 3D-моделі або файлу CAD.

3D-принтер, що дозволяє використовувати одночасно декілька матеріалів, є основним елементом розвитку майбутніх технологій тривимірного друку. Багато експертів пророкують створення фабрик нового формату, які зможуть виробляти буквально все, що завгодно, завдяки універсальності технології 3D-друку та можливостям масштабувати принтер навіть до розмірів цілого будинку.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Олійник В. Розвиток технологій 3D друку [Електронний ресурс] / ЦДПУ ім. Володимира Вінниченка, фізико-математичний ф-т. — Режим доступу: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/naukovo-populiarni-publikatsii/878-rozvytok-tekhnohii-3-d-druku.html/> — 15.11.2019.
- [2] Different Types of 3D Printers. — Режим доступу: <https://3dinsider.com/3d-printer-types/> — 17.11.2019.
- [3] Types of 3D Printing Technology. — Режим доступу: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/> — 16.11.2019.
- [4] 3D printing. — Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing/](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing/) — 18.11.2019.

*Наук. керівник – к.т.н., Муравйов О. В.*



УДК 620.179:620.19

Д.В. Петренко, студент гр. ПК-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПРИЛАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАГОТОВОК ІЗ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Анотація:** Актуальність даної роботи полягає у необхідності вибору новітніх приладів, за допомогою яких можливо знаходити дефекти у виробках із порошкових матеріалів. Це необхідно для того, щоб уникнути виготовлення неякісних деталей ще на початкових стадіях, також це сприятиме заощадженню коштів. Проведено аналіз та опис порошкових матеріалів, як вони виробляються та які саме дефекти і на яких етапах виробництва можуть виникнути у заготовках. Наведено приклади та опис новітніх приладів і систем, які найкраще підходять для неруйнівного контролю заготовок з порошкових матеріалів.

**Ключові слова:** ультразвуковий контроль, заготовки, неруйнівний контроль, порошкові матеріали.

### ВСТУП

В даний час широке застосування знайшов спосіб виготовлення деталей методами порошкової металургії, в різних галузях промисловості, медицини та техніки. Ці методи є незамінними у виробництві виробів з особливо тугоплавких матеріалів та з нерозчинних один в одному металів. За цими технологіями можна виготовляти вироби складних форм та малих розмірів, які неможливо отримати шляхом відливання.

### АНАЛІЗ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Отримання заготовок з порошків включає наступні основні процеси (рисунок 1):



Рисунок 1. Етапи отримання заготовок з порошків.

- отримання порошків;
- підготовка вихідних компонентів (термообробка, нанесення покриттів, змішування для забезпечення оптимальної щільності засипки);
- формування з застосуванням тиску і отримання щільних напівфабрикатів (спікання);
- обробка;

Застосування різних значень тиску при формуванні визначає отримання компактних пресованих деталей різної щільності або пористості. Технологія надає можливість отримання деталей з найрізноманітнішими властивостями.

Перевагами цього методу являється: висока точність розмірів і форми, можливість виготовлення композитних матеріалів з майже ідеальною якістю поверхні, матеріалів потрібною пористістю, магнітними, електричними і теплопровідними властивостями, фільтруючих, багат шарових, жаростійких і фрикційних матеріалів, також цей метод має високий коефіцієнт використання матеріалу, можливість автоматизації виробничих процесів.

Основним недоліком є: розкид властивостей матеріалу в об'ємі виробу, з'являється він в результаті недосконалості устаткування і особливостей технологічних процесів.

Аналіз методів оцінки фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів при дослідженні технології їх виготовлення показав: що потрібно проводити оцінку змін фізико-механічних характеристик після кожного технологічного процесу для оптимізації вихідного компонентного складу матеріалу та отримання ефективної технології виробництва.

Для контролю фізико-механічних властивостей порошкових матеріалів широке застосування знаходить структурно-чутливі акустичні методи. На сьогоднішній день існує велика кількість емпіричних детермінованих залежностей, які пов'язують певні параметри фізико-механічних характеристик виробів з вимірними параметрами ультразвукового контролю.

Під час проведення ультразвукових вимірювань необхідно визначати не лише абсолютне значення поширення швидкості ультразвукової хвилі в різних точках об'єкта контролю, але й проводити оцінку зміни цієї швидкості у всьому об'ємі зразка.

Для забезпечення правдивості отриманих даних потрібно щоб похибка вимірювання в межах кожної з баз прозвучування була на порядок менша за розкид значення поширення швидкості ультразвукової хвилі, що визначена розкидом фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів.

Доведено, що для підвищення правдивості оцінки зміни фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів необхідно підвищити точність вимірювання швидкості поширення ультразвукової хвилі, яка залежить від точності вимірювання часу її проходження в матеріалі і геометричного розміру бази прозвучування. Показана необхідність зменшення сумарної похибки вимірювання швидкості поширення хвилі ультразвуку в порошкових матеріалах для виявлення справжньої варіації швидкості ультразвуку (як в окремих зразках, так і всієї партії, виконаних з багатофазних порошкових матеріалів), визначеної зміною технологічних режимів виготовлення.

Ультразвуковий контроль є одним з основних методів неруйнівного контролю. До головних переваг ультразвукового контролю якості відносяться:

- висока точність і швидкість дослідження, а також його низька вартість;
- безпека для людини (на відміну, наприклад, від рентгенівської дефектоскопії);
- висока мобільність внаслідок застосування портативних ультразвукових дефектоскопів;

## **АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ**

В даний час налічується велика кількість приладів ультразвукового контролю, які можна використовувати для контролю заготовок із порошкових матеріалів можна віднести:

1. Інноваційна ультразвукова система USM Vision (рисунок 2а), що розроблена для задоволення потреб ринку на перехід від радіографічного до ультразвукового контролю у обробній промисловості та при виготовленні нових технологічних трубопроводів. Систем USM Vision спрощує ультразвукову дефектоскопію, її доступність і забезпечує відповідність міжнародним нормам.

2. USM 35X (рисунок 2б) – універсальний процесорний дефектоскоп з вимірюванням координат розміщення дефектів: глибина та відстань залягання по поверхні виробу до проекції дефекту на поверхню при роботі з похилими перетворювачами, діапазон калібрування до 10000 мм (поздовжні хвилі).

3. Універсальний процесорний дефектоскоп USN 60 (рисунок 2в) з кольоровим РК-екраном, зрозумілим меню з описом окремих функцій і "допомогою", вимірюванням координат дефектів, системою побудови АРК і ЧРЧ, з функцією вбудованих електронних АВД-шкал і завданням характеристик перетворювача будь-якого типу, крім роздільно-суміщених.



Рисунок 2. а) Дефектоскоп **USM Vision**, б) Дефектоскоп **USM 35X**, в) Дефектоскоп **USN 60**

Запропоновані вище новітні ультразвукові дефектоскопи можуть вирішити найвідповідальніші завдання дефектоскопії виробів із порошкових матеріалів за більш короткий час з високою точністю, без загрози для людини і при прийнятних витратах в порівнянні з іншими видами дефектоскопів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Богдан Г. А. Вдосконалення ультразвукового методу контролю фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів / Г.А. Богдан. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 178 с.
- [2] Галаган Р.М. Ультразвукова система діагностики технічного стану порцелянових ізоляторів / Р.М. Галаган, В.С. Єременко // Вісник Національного Технічного Університету України «КПІ». Серія приладобудування. – Київ. – 2011. – № 42. – С. 62-70.
- [3] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [4] Ультразвукові методи неруйнівного контролю [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ndt.oniko.ua/ua/index.php?SECTION\\_ID=136](https://ndt.oniko.ua/ua/index.php?SECTION_ID=136)
- [5] Ультразвукова дефектоскопія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/ultrazvukovaya-defektoskopiya/>
- [6] Методы неразрушающего контроля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ntcexpert.ru/85-acenter/953-metody-nerazrushayushchego-kontrolya>

*Науковий керівник – к.т.н., проф. Галаган Р. М.*

УДК 004.032.26

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ

**Анотація.** Розглянуто перспективи застосування системи теплобачення для контролю безпеки. З метою підвищення ефективності таких систем пропонується автоматизація процесу обробки тепловізійних зображень за допомогою засобів машинного навчання. Зокрема, одним з найбільш розвинутих методів є використання згорткових нейронних мереж.

**Ключові слова:** згорткові нейронні мережі, тепловізори, охоронні системи, машинне навчання.

### ВСТУП

На сьогоднішній день, одним з головних факторів нашого життя є безпека. В місцях зі значною концентрацією людей особливо актуальним є питання фіксації та контролю випадків виникнення несанкціонованих подій. Зокрема, важливою задачею є виявлення прихованих небезпечних предметів і пошук способів зробити це найбільш ефективно, достовірно та результативно [1].

Для вирішення даної проблеми, застосовуються системи на базі охоронних тепловізорів. Специфічною особливістю такого типу тепловізорів є вимога отримання розбірливих та якісних зображень порушника на якомога більших відстанях в максимальному робочому діапазоні температур. При цьому зображення має бути як можна більш чітким, щоб зменшити можливість неправдивого спрацювання охоронної системи. Забезпечити дані умови можливо шляхом покращення апаратних параметрів тепловизора та застосування спеціальних методів цифрової обробки термограм. З метою підвищення ефективності роботи охоронних тепловізійних систем, перспективне застосування методів машинного навчання на базі нейронних мереж [2]. Автоматизація процедури контролю безпеки дозволить знизити роль оператора у прийнятті рішень, підвищити достовірність результатів та скоротити час реагування у випадку виникнення загрозованих ситуацій або виявлення у осіб потенційно небезпечних предметів.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Оскільки сучасні тепловізійні системи контролю безпеки знаходяться на початковому етапі розвитку, а більшість новітніх розробок за цією тематикою виконуються в режимі підвищеної секретності, кількість наукових публікацій за даним напрямом є обмеженою. В роботі [3] розглянуті перспективні області застосування тепловізійних систем контролю безпеки. В результаті аналізу існуючих рішень доводиться, що використання тепловізійного обладнання в охоронних системах дозволяє значно підвищити рівень безпеки. Стверджується, що покращення технологічного процесу виробництва тепловізійного обладнання та, як наслідок, зниження вартості охоронних тепловізорів в майбутньому призведе до широкого поширення даного методу контролю безпеки. Втім, авторами роботи не запропоновано можливих способів автоматизації роботи подібних систем.

Відомий підхід до побудови охоронних систем з використанням комбінації інфрачервоних та терагерцових зображень за допомогою програмного забезпечення Actor Prolog [4]. Авторами роботи сформовано та викладено у вільний доступ об'ємну базу навчальних зображень, які можуть бути використанні для розробки алгоритмів автоматизації процесу відеонагляду та контролю безпеки. Створений набір даних складається з зображень акторів в видимому, інфрачервоному та терагерцовому спектрах електромагнітного випромінювання. Під одягом акторів заховані потенційно небезпечні предмети (у прикладі, наведеному на рисунку 1, в особи під одягом знаходиться холодна зброя). Автори даної розробки передбачають можливість автоматизації обробки зображень зі складу розглянутого набору даних, але не пропонують конкретних шляхів вирішення цього завдання.



Рисунок 1. Приклад зображень з навчального набору даних Actor Prolog

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі з набору даних, що надається розробниками проекту Actor Prolog, можливо дослідити та оптимізувати процес автоматизованої обробки теплових зображень. Для досягнення даної мети необхідно визначити метод, який буде найбільш ефективним в рамках розглянутих умов. Враховуючи особливості роботи тепловізійної техніки та високий рівень завад на термограмах, не рекомендується застосовувати традиційні статистичні методи обробки зображень [5]. Альтернативою є методи глибинного навчання із застосуванням нейронних мереж (НМ). Характерною особливістю НМ є не пряме алгоритмічне вирішення задачі, а навчання в процесі вирішення великого числа подібних задач. На сьогоднішній день, в області аналізу зображень найбільш ефективним є використання згорткових НМ.

Згорткові нейронні мережі – це окремий клас глибинних штучних НМ прямого розповсюдження, створений спеціально для аналізу візуальної інформації. Робота таких мереж заснована на імітації процесів, які



відбуваються в зоровій корі головного мозку. Основною їх перевагою є те, що вони не програмуються в звичному сенсі цього слова, а навчаються на основі попередньо підготовленої бази зображень. Саме можливість навчання вигідно відрізняє НМ серед традиційних алгоритмів цифрової обробки термограм.

Перша відома модель згорткової НМ була призначена для розпізнавання рукописних символів. Зазвичай, архітектура такої НМ складається з декількох багатовимірних прошарків штучних нейронів, оптимізованих для виявлення закономірностей у візуальних зображеннях. Особливістю моделі згорткової НМ є у доповнення архітектури повнозв'язної мережі прямого розповсюдження окремими згортковими прошарками, в яких кожен нейрон пов'язаний тільки з невеликою групою нейронів попереднього прошарку. Така організація мережі дозволяє виділяти на початковому зображенні лише примітивні діагностичні ознаки, такі як ребра або грані, а на наступних прошарках мережі об'єднувати виділені ознаки для отримання все більш складних елементів. Завдяки цьому з'являється можливість ефективно розпізнавати приховані закономірності та виділяти комплексні образи на зображеннях.

В тепловізійних системах контролю безпеки основним завданням є розпізнавання наявності небезпечних предметів, вогнепальної або холодної зброї, яка може бути прихована під шарами верхнього одягу. За аналогією до принципів роботи людського мозку, розпізнавання із використанням НМ виконується за тисячами різних діагностичних ознак. У випадку традиційних статистичних або математичних методів розпізнавання, набір діагностичних ознак завчасно задається розробником. Згорткові НМ здатні в автоматичному режимі знаходити та виділяти саме ті діагностичні ознаки, які необхідні для розпізнавання даного конкретного предмету [6].

На початковому етапі розробки автоматизованої тепловізійної системи контролю безпеки пропонується використання архітектури згорткової НМ, показаної на рисунку 2. На вхід мережі подається інфрачервоне зображення особи, щодо якої проводяться контрольні заходи. Виходом є номер класу, який відповідає відсутності або наявності у особи забороненого предмету.

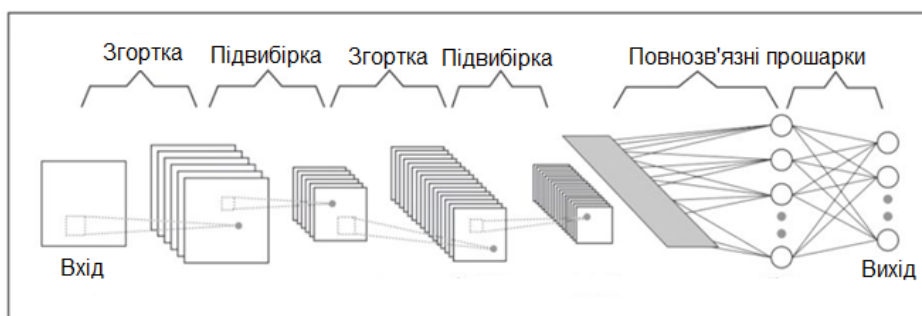


Рисунок 2. Запропонована архітектура нейронної мережі для аналізу термограм

В зазначеній архітектурі використовується по два прошарки згортки та підвибірки. Згортка у відповідних прошарках застосовується для формування мережею набору діагностичних ознак. За допомогою прошарків підвибірки реалізується вибір найбільш значущих ознак попереднього прошарку і скорочення розмірності наступних прошарків. Далі виконується операція

перетворення отриманих карт ознак в одновимірний масив та класифікація термограми за допомогою одного або двох повнозв'язних прошарків. За допомогою такої архітектури можливо не лише визначити наявність або відсутність у особи небезпечних предметів, а і визначити їх конкретний тип.

## **ВИСНОВКИ**

В даній роботі проаналізовано шляхи розвитку та підвищення ефективності тепловізійних систем в сфері безпеки. Разом з покращенням технічних параметрів тепловізійного обладнання, перспективним напрямом є автоматизація роботи охоронних систем. Завдяки ряду переваг, в якості методу автоматизації обробки теплових зображень пропонується застосування згорткових нейронних мереж. Основним завданням для подальших досліджень є вибір необхідної архітектури нейронної мережі та тестування її роботи на навчальних наборах даних. Використання глибинного навчання дозволить збільшити ефективність роботи тепловізійних охоронних систем і, як наслідок, підвищити їх надійність та загальний рівень контролю безпеки.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Половко С.А. Применение систем технического зрения для противодействия терроризму / С.А.Половко, Е.Ю.Смирнова, Д.Н. Степанов // Вопросы оборонной техники. Технические средства противодействия терроризму. – №16.– 2010. – с.53-57.
- [2] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.
- [3] Шалаев Д.И. Использование тепловизионного оборудования в системах охранного мониторинга / Д.И. Шалаев, Д.Ю. Калков. // сбор. мат. конф. «Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных систем», Воронеж, 07 июня 2018 г.– 2018. – с. 93–94.
- [4] Морозов А.А. Анализ видеоизображений в реальном времени средствами языка Акторный Пролог/ А.А. Морозов, О.С. Сушкова // Компьютерная оптика. - 2016. – № 6. – с. 947-957
- [5] Момот А.С. Аналіз методів цифрової обробки термограм / А. С. Момот, Р. М. Галаган. // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія приладобудування. – 2018. – №55. – с. 108–117
- [6] Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / С. Хайкин. – М: ИД "Вильямс", 2008. – 1104 с.

*Наук. керівник – ас. Момот А.С.*

УДК 004.932

Д. В. Сторожик, студент гр. ПК-91мп, к.т.н., О. В. Муравйов  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ БІНАРНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ

**Анотація.** Робота присвячена дослідженню можливості застосування комплексування зображень видимої та інфрачервоної областей спектру для підвищення їх якості та інформативності. На основі розробленої програми виконано аналіз методів комплексування знімків з метою визначення доцільності їх використання в подальших процесах обробки зображень. Розглянуто можливі напрямки та перспективи застосування комплексування для виявлення та розпізнавання об'єктів та автоматизованого аналізу зображень у системах неруйнівного контролю.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, бінарна сегментація, комплексування зображень.

### ВСТУП

В наш час людство прагне до якомога більшої автоматизації виробничих процесів з метою отримання більшого прибутку. Однією з найбільш важливих задач на виробництві є контроль якості продукції. Отже, задача зменшення похибок виявлення браку або дефектів у автоматичних системах неруйнівного контролю займає важливе місце в сучасних наукових дослідженнях.

Для автоматизації оптичного неруйнівного контролю сьогодні використовують технологію комп'ютерного зору, яка дозволяє проводити виявлення, відстеження, розпізнавання та класифікацію об'єктів, повністю виключаючи помилку людського фактора. Одним з найпростіших методів, на якому базується комп'ютерний зір, є сегментація – розподіл зображення на області, для яких виконується певний критерій однорідності, наприклад, виділення на зображенні зон приблизно однакової яскравості. Деякими сферами практичного застосування сегментації зображень, наприклад, є: обробка медичних зображень, розпізнавання облич, системи управління дорожнім рухом, неруйнівний контроль та багато інших.

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Один з найпростіших способів аналізу зображення – побудова сегментації за допомогою порога. Поріг – це ознака (властивість), яка допомагає розділити шуканий сигнал на класи. Операція порогового поділу полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення з заданим значенням порога. Для подальшого дослідження оберемо саме цей критерій.

Комплексування зображень – це процес поєднання інформації про реальну картину, що міститься в двох або більше зображеннях, отриманих в однакових або різних спектральних діапазонах довжин хвиль, в єдине зображення, яке є більш інформативним для візуального сприйняття або підвищує ефективність подальшої комп'ютерної обробки.

У даній роботі досліджено 4 метода комплексування зображень: метод максимуму, усереднення, черезрядкового комплексування та метод черезрядкового комплексування максимумів.

Метод максимуму полягає в заміщенні значення зображення  $F1(x,y)$  значенням зображення  $F2(x,y)$ , коли значення другого більші. Як результат, отримуємо нове зображення  $Z(x,y)$ , в якому знаходяться інформаційні ознаки



зображення  $F1$  та ядро виражені ознаки  $F2$ . Метод максимуму реалізується на основі виразу:

$$Z(x, y) = \max \{F1(x, y), F2(x, y)\} \quad (1)$$

Метод максимуму є одним з найлегших в програмній реалізації серед методів комплексування. Він реалізується лише одним оператором порівняння і результат роботи залежить лише від рівня яскравості зображень.

Результатом методу усереднення  $Z(x, y)$  є зображення, що утворене із середнього арифметичного початкових зображень  $F1(x, y)$ ,  $F2(x, y)$ . Цей спосіб вимагає мінімум обчислювальних витрат і реалізується завдяки виразу:

$$Z(x, y) = \frac{F1(x, y) + F2(x, y)}{2} \quad (2)$$

В результаті комплексування отримуємо зображення із згладженими деталями об'єктів. Контраст картини при цьому суттєво зменшується щодо початкових зображень, але відбувається зменшення рівня шумів.

Метод черезрядкового комплексування можливо застосувати завдяки алгоритму на основі рядкового чергування одного зображення щодо іншого. Цей метод реалізується шляхом складання зображення з чергування непарних і парних рядків  $F1(x, y)$  і  $F2(x, y)$ . Математичний вираз при цьому має вигляд [1]:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N \\ F2(x, y), & y \in 2, 4, 6, \dots, N \end{cases} \quad (3)$$

Основним недоліком методу є виражена періодична структура на результуючому зображенні. Вона обумовлена принципом роботи цього методу. Метод черезрядкового комплексування максимумів має той самий принцип роботи, що й метод черезрядкового комплексування, але кожний парний рядок є максимумом двох з обох зображень. Вираз, яким можна описати цей метод:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F1(x, y), & y \in 1, 3, 5, \dots, N \\ \max \{F1(x, y), F2(x, y)\}, & y \in 2, 4, 6, \dots, N \end{cases} \quad (4)$$

Принцип створений з поєднання двох методів: максимуму та черезрядкового комплексування, та має переваги і недоліки обох методів.

Критерії якості сегментації, які використовуються в контрольованих методиках оцінки алгоритмів дають кількісну міру відмінності результату роботи алгоритму з еталонною сегментацією, створеною експертом вручну або отриманою автоматично при генерації синтетичного зображення. Ці критерії підходять і для оцінки якості сегментації зображень після комплексування.

Найпростіша міра якості сегментації, яку одразу почали використовувати дослідники – це відсоток неправильно класифікованих пікселів.

Перший варіант застосування запропонованого критерію – процентне відношення неправильно класифікованих пікселів даного  $k$ -го класу до загальної кількості пікселів цього класу на еталонному зображенні:

$$M_1^K = \frac{(\sum_{i=1}^n C_{ik}) - C_{kk}}{\sum_{i=1}^n C_{ik}}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість пікселів;  $C_{kk}$  – кількість правильно класифікованих пікселів  $k$ -го класу;  $\sum_{i=1}^n C_{ik}$  – реальна кількість пікселів  $k$ -го класу.

Другий критерій – це процентне відношення пікселів, помилково зарахованих до даного k-го класу, до загальної кількості пікселів інших класів на еталонному зображенні [2]:

$$M_2^K = \frac{(\sum_{i=1}^n C_{ki}) - C_{kk}}{(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik}) - \sum_{i=1}^n C_{ik}}, \quad (6)$$

де  $m$  – кількість класів;  $\sum_{i=1}^n C_{ki}$  – кількість пікселів, класифікованих k-м класом;  $\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik}$  – загальна кількість пікселів на зображенні [2].

В ході виконання дослідження розроблено комп'ютерну програму, реалізовану на мові програмування C# з графічним інтерфейсом (рис. 1).

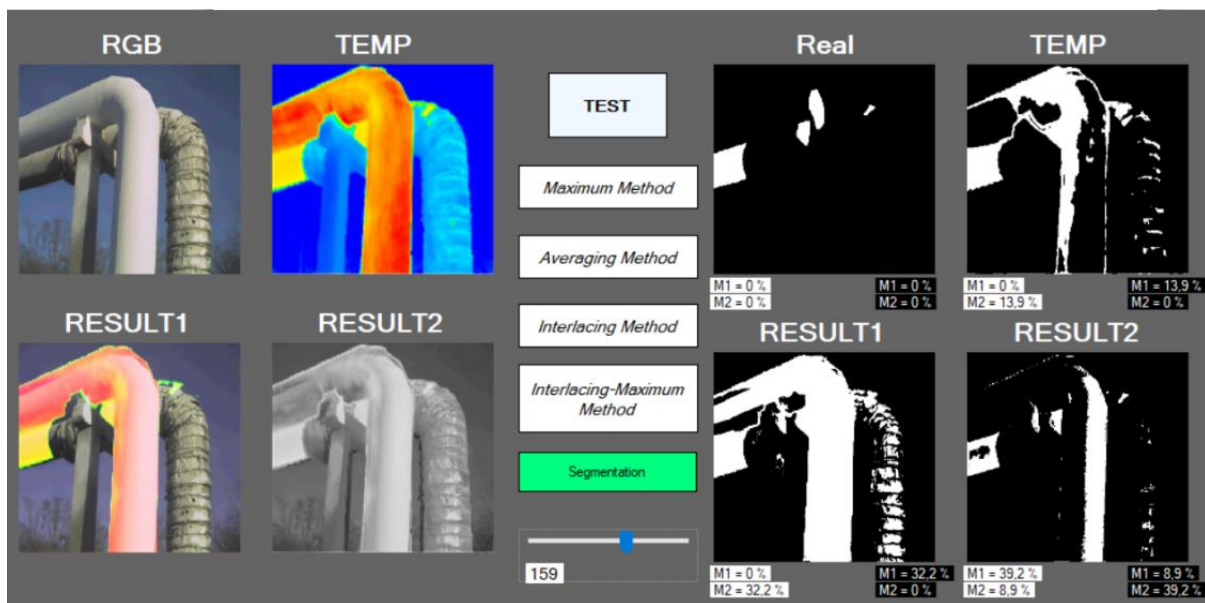


Рисунок 1. Інтерфейс програми комплексування зображень

Для комплексування було обрано фотографії видимого діапазону довжин хвиль спектру (RGB, зліва) та інфрачервоного (TEMP, зліва). Результатом комплексування кольорового зображення є RESULT1, чорно-білого – RESULT2. Кнопка TEST змінює обидва тестових зображення на інше. Назви чотирьох кнопок, при натиску на які відбувається комплексування двох початкових зображень, відповідають методам комплексування. З правого боку відображається результат бінарної сегментації: Real – еталонний зразок для порівняння та налаштування порогу сегментації, реалізованої завдяки повзунку знизу; TEMP – результат сегментації термограми; RESULT1 – результат сегментування комплектованого кольорового зображення; RESULT2 – результат сегментування комплектованого чорно-білого зображення.

Під результатом сегментації розташовані пораховані оцінки сегментації, для еталонного зразка, як видно, вони дорівнюють нулю. Білий та чорний колір оцінок – це відповідно оцінка для класу з білими пікселями та оцінка для класу з чорними пікселями. M1 відповідає першому критерію, M2 – другому.

Результати дослідження містить табл. 1, на основі даних якої можна оцінити ефективність розглянутих методів комплексування зображень.

Таблиця 1. Оцінка якості сегментації комплексованих зображень

<i>Метод комплексування</i>	<i>Перший критерій, M1</i>	<i>Другий критерій, M2</i>	<i>Перший критерій для термограми</i>	<i>Другий критерій для термограми</i>
Максимуму	0,1	17,6	0,1	2
Усереднення	92,8	1,7	0,1	2
Черезрядкового комплексування	49,8	8,8	0,1	2
Черезрядкового комплексування максимумів	49,8	16,7	0,1	2

## **ВИСНОВКИ**

Результати проведеного дослідження показали, що сегментація після комплексування зображень набагато гірша ніж сегментація самої термограми. Отже, можна зробити висновок, що дані методи комплексування не покращують бінарну сегментацію. Але це не означає, що комплексування не має сенсу взагалі, наприклад, опубліковано дослідження, в якому комплексування даних двох каналів дозволяє суттєво підвищити інформативність результуючого зображення, що дозволило збільшити ймовірність виявлення об'єкта до 15% порівняно зі застосуванням класичних методів в умовах наявності завад та шумів [3]. Також комплексування може бути використано для вирішення задач медичної термографії, значно збільшуючи інформативність зображення, що відкриє нові перспективи для автоматизації процесу його аналізу та постановки діагнозу пацієнта, на що і буде спрямована подальша наукова робота.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Васильев А.С. Исследование и разработка многоспектральной оптикоэлектронной системы комплексирования информации для обнаружения и мониторинга лесных пожаров: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.07 / Васильев Александр Сергеевич; ИТМО. – СПб., 2015. – 164 с.
- [2] Захаров, А.В. Критерии оценки качества сегментации изображений / А.В. Захаров, П.П. Кольцов, Н.В. Котович, А.А. Кравченко, А.С. Куцаев, А.С. Осипов // *Труды НИИСИ РАН, Том 2, 2012.* – № 2. – с. 87-99.
- [3] Мамута М. С. Підвищення ефективності комплексування оптико-електронних систем спостереження: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.07 / Мамута Марина Сергіївна; НТУУ «КПІ». – К., 2013. – 151 с.

## УДК 681.2

*К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ПЕРСПЕКТИВИ МЕТОДУ СПРЯМОВАНИХ ХВИЛЬ В ПРОЦЕСІ КОНТРОЛЮ ТРУБОПРОВІДІВ**

**Анотація.** В даній статті розглянуто метод неруйнівного контролю з використанням спрямованих ультразвукових хвиль: його особливості, переваги, недоліки та перспективи. Показано необхідність розробки для розглянутого методу нового підходу до організації контролю трубопроводів і нових методик оцінювання стану ОК на основі вибіркового контролю. Особливу увагу в даній роботі зосереджено на застосуванні методу спрямованих хвиль з метою збільшення інформативності контролю, продуктивності для підвищення безпеки експлуатації трубопроводів.

**Ключові слова:** ультразвуковий метод неруйнівного контролю, метод спрямованих хвиль, діагностика, трубопроводи, чутливість, інформативність.

#### **ВСТУП**

Традиційно при розробці приладів і систем технічної діагностики особливу увагу приділяють таким параметрам, як максимальна область діагностики (сканування) і максимальна інформативність отриманих результатів. В процесі поєднання цих параметрів, що впливають один на одного, виникає ряд проблем. Значення максимальної області діагностики пов'язано зі збільшенням швидкості сканування об'єкта контролю (ОК) і продуктивності, що, в свою чергу, пов'язано зі зниженням чутливості. При цьому максимальна інформативність результату діагностики має на увазі високу чутливість, точність визначення параметрів дефектів ОК, за якими можна проводити оцінювання ступеня їх небезпеки. Одним із способів вирішення описаних проблем є використання сучасних методів неруйнівного контролю (НК) на основі використання електромагнітно-акустичних перетворювачів (ЕМАП) з можливістю управління ультразвуковою хвилею [1].

Метою даної доповіді є огляд ультразвукового методу спрямованих хвиль і дослідження його можливостей. Особливість цього методу полягає в технічній реалізації сканерів і сенсорів в системах НК, що дозволяє збільшити область діагностики і отримати доступ до ділянок, на яких проведення діагностики традиційними методами НК ускладнене чи взагалі неможливе через певні обмеження цих методів [2, 3].

#### **ОПИС МЕТОДУ СПРЯМОВАНИХ ХВИЛЬ**

Метод спрямованих хвиль (МСХ) - ультразвуковий метод НК, розроблений для контролю протяжних об'єктів. Найчастіше в даному методі використовують осесиметричні низькочастотні спрямовані хвилі з малою дисперсійною залежністю: поздовжні та крутильні. Встановлено, що найбільш інформативними є крутильні хвилі низької частоти [3]. Особливістю таких хвиль є їх групова швидкість, яка не залежить від частоти, тобто не спостерігається дисперсії, та низька частота, що дозволяє хвилі поширюватися на великі відстані в ОК [3]. Основні практичні відмінності між двома видами хвиль зведені до таблиці 1.

Метод спрямованих хвиль було розроблено для контролю важкодоступних ділянок трубопроводів, таких як переходи в футлярах під залізничними дорогами і автодорогами, підводні переходи, ділянки на висоті, під землею і в стінах [3]. Застосування методу спрямованих хвиль дає можливість виявляти такі дефекти: внутрішню корозію, зовнішню корозію; неметалеві включення; дефекти в зварних з'єднаннях (непровари, тріщини, зміщення кромок та інші.).

Таблиця 1. Відмінності між поздовжніми і крутильними хвилями

<i>Тип хвиль</i>	<i>Поздовжні</i>	<i>Крутильні</i>
Чутливість до рідини	висока	низька
Розташування перетворювачів	в 2 ряди	в 3-4 ряди
Чутливість до глибоких поздовжніх тріщин та до витрат в поперечному перерізі	висока	низька
Діапазон частот	Великий	Обмежений
Відстань від перетворювача до ОК	$h_{\min} \gg 0.01$	$h_{\min} > 1$
Ефективність виявлення корозії в малих трубах в місцях приварки плоских ОК	низька	висока

Даний метод застосовується в основному для дослідження елементів конструкцій, які не мають прямого доступу; в якості додаткового контролю якості трубних секцій з нанесеною ізоляцією без порушення її цілісності.

Метод базується на властивості спрямованих хвиль поширюватись на великі відстані від місця установки перетворювачів та містити інформацію у відбитому сигналі про зміни значення площі поперечного перерізу труби. Ці зміни можуть свідчити про корозійні пошкодження, тріщини, локальні і протяжні дефекти, а також про стан конструктивних елементів трубопроводу - зварних швів, відводів, опор та інше. Крім того, використання властивостей спрямованих хвиль дозволяє визначити місцезнаходження тих чи інших конструктивних елементів на важкодоступних ділянках трубопроводів, визначити наявність дефектів в зварних швах, під опорами, на прямих ділянках і оцінити їх потенційну небезпеку, що відіграє значну роль при проведенні експертного обстеження [3].

В основі технології ЕМАП лежить використання класичних ультразвукових хвиль, які поширюються не перпендикулярно стінці труби, а вздовж неї [1, 2].

На сьогодні існує два типи сканерів, що реалізують МСХ - з радіальним поширенням хвилі (по колу трубопроводу) і поздовжнім (уздовж трубної секції). Точність визначення параметрів дефектів визначається чутливістю перетворювачів і відстанню між передавачем і приймачем. Висока точність досягається при вказаній відстані до декількох десятків сантиметрів. Обидва типи сканерів можуть використовуватися як математичний апарат для визначення параметрів дефектів і як індикаторні прилади, що дозволяють значно збільшити область сканування матеріалу труби при діагностиці. Прилад

з поздовжнім розповсюдженням хвилі дозволяє проводити діагностику в недоступних для традиційних методів дослідження місцях і на відстанях від перетворювача до ОК в десятків сантиметрів. На більшій відстані даний прилад може використовуватися як індикаторний з діапазоном в десятки метрів, що дозволяє оцінити стан трубопроводу з шурфу і при необхідності провести додаткове шурфування виявлених дефектів з проведенням додаткової діагностики вимірювальним приладом [1].

Перетворювач, встановлений на трубі, випромінює спрямовані хвилі на десятки метрів по стінці труби і повернений відбитий сигнал вказує, де присутня втрата металу. Фізичний доступ до трубопроводу потрібен тільки для розташування перетворювача. Ізоляційне і інші покриття не впливає на проходження спрямованих УЗ хвиль, з урахуванням певних обмежень товщини покриття [1].

З метою збільшення чутливості (точності) НК і одночасного збільшення області сканування (продуктивності за одиницю часу) на першому етапі діагностики рекомендується застосовувати дефектоскопи, що працюють за принципом світлофора: «червоний» для дефектів, які становлять небезпеку для цілісності об'єкта, «жовтий» - для дефектів з докритичними параметрами і «зелений» - для дефектів, що не перевищують установлений рівень відбракування. Далі «червоні» і «жовті» дефекти можуть бути обстежені вимірювальними дефектоскопами для правильної класифікації та уточнення розмірів дефектів з подальшою оцінкою небезпеки за діючими методиками, в тому числі з проведенням розрахунків на міцність [1].

### **ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ МЕТОДУ СПРЯМОВАНИХ ХВИЛЬ**

До основних переваг МСХ відносять:

- можливість оцінки технічного стану протяжних трубопроводів, включаючи важкодоступні ділянки і ділянки під ізоляцією;
- можливість проведення робіт без виведення трубопроводу з експлуатації;
- можливість реєстрації і подальшого порівняння будь-яких змін площі поперечного перерізу труби;
- можливість виявлення втрати металу і подальшої оцінки розподілу корозії в площині поперечного перерізу труби;
- широка область застосування (труби нафтопереробних заводів, нафтохімічних заводів, електростанцій, надземні або підземні трубопроводи, морські трубопроводи, обв'язки компресорних станцій тощо) [4].

Серед недоліків описаного МСХ найбільш значущі наступні:

- відноситься до скануючих видів дослідження (індикаторний метод), отже, необхідна локальна діагностика за участю оператора;
- вплив швидкого загасання зондуючого сигналу на результати контролю трубопроводів зі складною ізоляцією;
- обмежені можливості в процесі діагностики трубопроводів, що мають складну конструкцію внаслідок особливостей монтажу або виготовлення конструктивних елементів [4].

## **ВИСНОВОК**

Розглянутий метод неруйнівного контролю на основі використання спрямованих ультразвукових хвиль передбачає розробку нового підходу до організації контролю трубопроводів і нових методик оцінювання стану ОК на основі вибіркового контролю. Встановлено, що особливу увагу необхідно приділити розробці методик оцінювання технічного стану ОК на основі вибіркової дефектоскопії з визначенням найбільш ймовірних зон концентрації дефектів.

Таким чином, застосування МСХ дозволяє збільшити інформативність контролю і одночасно збільшити продуктивність без втрати якості, що в свою чергу підвищує безпеку експлуатації технічних об'єктів. Крім того, прилади, що реалізують МСХ забезпечують контроль елементів конструкцій, які не мають прямого доступу, при цьому забезпечується діагностика стінок труб по всій товщині і виявлення внутрішніх і зовнішніх змін товщини стінки.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Технологія ЕМАП і керованої хвилі [Електронний ресурс] // РемСтройВосток. - Режим доступу: <http://xn--b1afmfhmcalkfghg.xn--p1ai/emap> - останній доступ: 19.11.2019. - Назва з станиці Інтернету.
- [2] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 263 с.
- [3] Метод спрямованих хвиль [Електронний ресурс] // Товариство технічного нагляду ДІЕКС. - Режим доступу: <http://www.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/metod-napravlennyix-voln/> - останній доступ: 19.11.2019. - Назва з станиці Інтернету.
- [4] Контроль стану трубопроводів за допомогою ультразвуку [Електронний ресурс] // Ж-л «Нафтогазпромисловий інжиніринг», 2007. - №2. - Режим доступу: <http://radiodetection.ru/blog/wave-control> - останній доступ: 19.11.2019. - Назва з станиці Інтернету.

*Наук. керівник – к.т.н. Лисенко Ю.Ю.*

## УДК 620.179

*А.Ю. Якимчук, студентка гр. ПК-61*  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ**

**Анотація.** Виконано огляд існуючих методів та засобів вимірювання швидкості ультразвукової хвилі в різних середовищах. Наведені їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** ультразвук, хвиля, швидкість, штангенциркуль, інтерферометр.

**ВСТУП**

Ультразвук знайшов широке застосування в багатьох галузях сучасного світу. Від лікування захворювань очей до діагностики внутрішніх органів в медицині, від різки металу до ультразвукового зварювання в промисловості. Виявлення дефектів у матеріалах також може здійснюватись за допомогою ультразвукового контролю.

Важливою задачею є визначення фізико-механічних властивостей різноманітних матеріалів. Ця задача може бути вирішена шляхом вимірювання швидкості поширення ультразвуку.

Сьогодні існує декілька можливих способів вимірювання швидкості ультразвуку в об'єкті контролю. Серед них імпульсний метод із використанням роздільного або суміщеного перетворювача, ультразвуковий інтерферометр, акустичний штангенциркуль.

**ЛУНО-ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД**

Поширеним методом вимірювання швидкості ультразвуку є луно-імпульсний метод. В його основі лежить багаторазове надсилання, з частотою затримки 30-60 Гц, коротких ультразвукових імпульсів в монолітний об'єкт контролю. Реєстрація часу поширення цих імпульсів на певному проміжку (база прозвучування) дає нам змогу визначити швидкість ультразвуку в досліджуваному матеріалі:

$$c = \frac{2L}{t}$$

де  $L$  – база прозвучування (цю величину можна виміряти будь яким пристроєм з точністю до 0.1 мм),  $t$  – час поширення імпульсу.

Початок вимірювання співпадає з моментом випромінювання імпульсу, кінець – з моментом реєстрації хвилі. Луно-імпульсний метод підтримують усі сучасні дефектоскопи (рис. 1). Він є простим, але містить значну суб'єктивну похибку, яка виникає під час вимірювання геометричного розміру бази прозвучування.

Ультразвукові дефектоскопи працюють наступним чином. Генератор видає короткі електричні імпульси з частотою 30-50 Гц та амплітудою 100-200 В. Ці імпульси об'єднуються в пучок (5-10 імпульсів) механічних коливань і вводяться в досліджуваний матеріал. В цей момент починається вимірювання часової затримки. Ультразвукова хвиля після подвійного проходження шляху  $L$ , при цьому витративши на це час  $t$ , повертається назад до випромінювача. У цей момент завершується вимірювання часової затримки.





Рис. 1. Ультразвукові дефектоскопи: а) УСД-50 IPS, б) УД2-50, в) ЕРОСН 650

Переваги луно-імпульсного методу ґрунтуються на його фізичній реалізації та легкому принципу роботи.

До недоліків слід віднести необхідність двостороннього доступу до об'єкту контролю, що значно знижує кількість можливих галузей застосування, габаритність обладнання.

### УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ІНТЕРФОМЕТР ПІРСА

Метод ультразвукової інтерферометрії вважається одним з найбільш точних методів вимірювання швидкості ультразвуку в рідинах.

Схематично ультразвуковий інтерферометр зображено на рис. 2. В його складі, для створення механічних коливань в п'єзоелектричній пластині, використовують генератор електричних коливань Г.

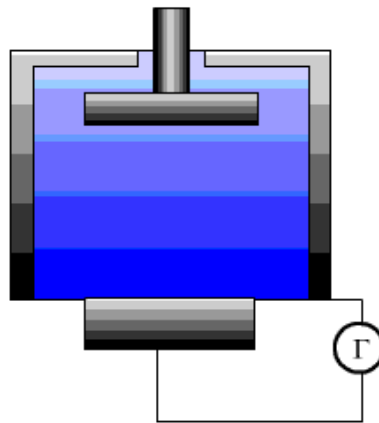


Рис. 2. Ультразвуковий інтерферометр Пірса

При проведенні дослідження швидкості ультразвуку необхідно, щоб випромінюючий перетворювач одночасно був і приймачем ультразвукових хвиль. Тоді, внаслідок переміщення відбивача (в вигляді товстої металічної пластини) вздовж напрямку ультразвуку, в камері, що заповнена досліджуваною рідиною або газом, буде виникати нерухома хвиля.

Реєстрацію нерухомої хвилі проводять по максимумам або мінімумам кривих реакції поля ультразвукової хвилі на систему генератор-перетворювач, яка й описує залежність напруги від відстані між перетворювачем та відбивачем.

Фіксація відстані між мінімумами (вузли) або максимумами (пучності) нерухомої хвилі дає нам змогу визначити довжину хвилі  $\lambda$ , оскільки між сусідніми вузлами або точками пучності вона визначається як  $\lambda/2$ . Оскільки швидкість звуку прямо пропорційна добутку довжини хвилі на частоту, то, при відомій частоті  $f$ , можемо визначити швидкість поширення ультразвукової хвилі в рідині.

До переваг методу можна віднести його точність, а до недоліків — складність реалізації та можливість використання для вимірювання швидкості ультразвуку тільки в рідинах.

### УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ

Вимірювання ультразвуковим штангенциркулем передбачає визначення швидкості ультразвуку в матеріалі при відомій товщині монолітного еталонного об'єкту. Узагальнену схему ультразвукового штангенциркуля зображено на рис. 3.

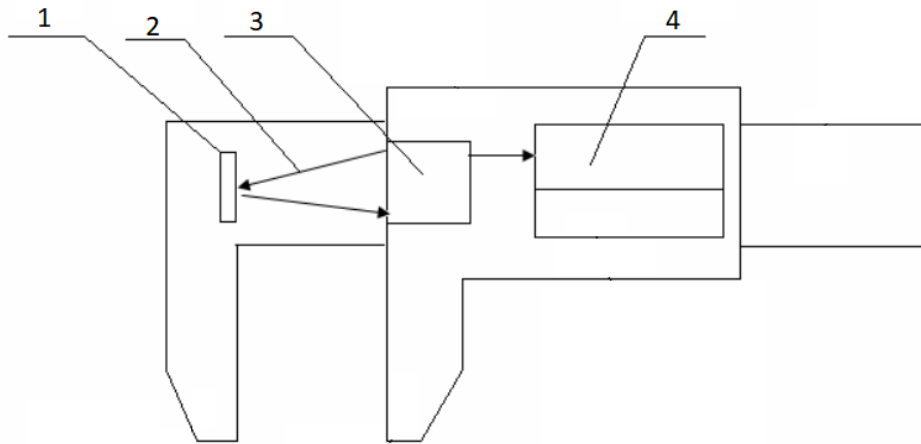


Рис. 3. Узагальнена схема ультразвукового штангенциркуля

Ультразвуковий штангенциркуль дозволяє одночасно вимірювати геометричний розмір бази прозвучування та часу проходження ультразвуку в об'єкті контролю вздовж цієї бази. Для цього використовуються два акустичні тракти: еталонний та об'єктний. Еталонний тракт створюється в твердому тілі (еталонному об'єкті) з точно відомими акустичними характеристиками, і має змінні геометричні розміри. Система забезпечує рівність геометричного розміру еталонного тракту з геометричним розміром об'єктного тракту з точністю до константи, а також забезпечується рівність акустичних осей цих трактів. В еталонному тракті використовуються поверхневі хвилі (2), які вводяться за допомогою п'єзоперетворювача (3). Хвиля повертається до п'єзоперетворювача після того, як відбивається від насічки (1). Об'єктний тракт (в якому використовуються поздовжні хвилі) створюється в об'єкті контролю в радіальному напрямку. Невідому швидкість проходження ультразвуку визначають за формулою (при використанні луна-методу в еталонному тракті та методу проходження в об'єктному тракті):

$$C_x = \frac{C_{em} \cdot t_{em}}{2 \cdot t_x} + \frac{h_0}{t_x}$$

де  $C_{em}$  – відома швидкість ультразвуку в еталонному об'єкті,  $t_{em}$  – вимірний час затримки в еталонному об'єкті,  $t_x$  – вимірний час затримки в об'єкті контролю,  $h_0$  – систематична помилка.

Результат вимірювань відображається на дисплеї (4).

Перевагами цього методу вимірювання є відсутність суб'єктивного фактору, можливість визначення точної швидкості хвилі з першого разу без додаткового калібрування.

До недоліків слід віднести потребу у двосторонньому доступі саме до об'єкту контролю та той факт, що цей метод фізично не реалізований.

## **ВИСНОВКИ**

У роботі наведено три основні ідеї для вимірювання швидкості ультразвуку. В залежності від досліджуваного середовища є рекомендації вимірювати цей параметр в різні способи. Наприклад, якщо нас цікавить швидкість звуку в рідині, то більш доречним буде використання ультразвукового інтерферометра.

Що стосується твердих матеріалів, тут більш ефективним буде використання ультразвукового штангенциркуля, адже він забезпечує вимірювання без суб'єктивної похибки та не потребує додаткових калібрувань. З огляду на це, є пряма необхідність фізично реалізувати цей метод.

## **ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА**

- [1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [2] Галаган Р. М. Ультразвуковий штангенциркуль / Р.М. Галаган, М.В. Кащич // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2008. – Вип. №20. – С.18-20.
- [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.
- [4] Ультразвуковой интерферометр Пирса [Електронний ресурс] – Режим доступу:
- [5] <http://www.heuristic.su/effects/catalog/tech/byId/description/1314/index.html>
- [6] Измерение скорости распространения ультразвука и ультразвуковая аппаратура [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://studopedia.su/6\\_886\\_izmerenie-skorosti-rasprostraneniya-ultrazvuka-i-ultrazvukovaya-apparatura.html](https://studopedia.su/6_886_izmerenie-skorosti-rasprostraneniya-ultrazvuka-i-ultrazvukovaya-apparatura.html)

**Науковий керівник: к.т.н., доцент, Галаган Р.М.**



## **Секція 8.**

# **Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій**

УДК 535.2:616-71

*О.В. Братанюк, студент гр. ПБз-82мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОПТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ М'ЯКИХ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

**Анотація.** В даній роботі проведено аналіз структурних змін м'яких біологічних тканин, який показав що при наявності патологічних змін в тканинах печінки збільшується кількість сполучної тканини. Дана особливість присутня також в тканинах печінки ссавців, що можуть бути використані при попередніх експериментальних дослідженнях та тестуванні оптичних пристроїв для біомедичної ідентифікації. Результати, отримані методом фотометрії на основі еліпсоїдальних рефлекторів, показали більшу пляму зворотного розсіяння з більшим вмістом сполучної тканини.

**Ключові слова:** оптична ідентифікація, біологічна тканина, фотометричне зображення, фотометрія еліпсоїдальними рефлекторами, пляма розсіяння.

### ВСТУП

Своєчасне виявлення патологічного захворювання неінвазивними методами дає змогу якомога раніше поставити правильний діагноз та розпочати необхідне лікування. З розвитком науки та техніки в медичну практику все більше і більше вводяться оптичні діагностичні пристрої (оптичні томографи, глюкометри, спектрофотометри та ін.), робота з якими є менш шкідливою як для лікаря, так і для пацієнта в порівнянні, наприклад з рентгенівськими. Робота всіх оптичних діагностичних пристроїв базується на аналізі характеру взаємодії випромінювання з біологічною тканиною, який відрізняється при зміні її структурного стану.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

В даній роботі розглянуто особливості оптичної ідентифікації на прикладі м'яких біологічних тканин. Анатомічно м'які біологічні тканини можна розділити на чотири типи: епітелій, сполучна тканина, м'язова тканина та нервова тканина. Дослідження нервової тканини є досить складним з точки зору отримання зразку, тому в роботі вона не розглянута. Всі типи тканин мають свої підкатегорії, що також відрізняються складом та функціональним призначенням [1].

Структура тканин змінюється при різних типах уражень – від звичайних механічних, теплових до патологічних утворень. Для виявлення цих змін для дослідження обрано зразки тканини печінки свині та корови.

Поверхня органу покрита капсулою зі сполучної тканини, яка щільно зростається з вісцеральним листком черевної порожнини. Паренхіма, що складається з великої кількості часточок (500 тисяч у печінці людини) та міжчасточкова сполучна тканина – строма є основними складовими печінки [2].

Інтенсивний розвиток сполучної тканини призводить до атрофії (зменшення) печінкових часток і є ознакою різних захворювань печінки. На рис.1,б із зображень гістологічних зрізів печінки чітко видно на скільки структура при цирозі щільна, що свідчить про наявність великої кількості сполучної тканини [3].

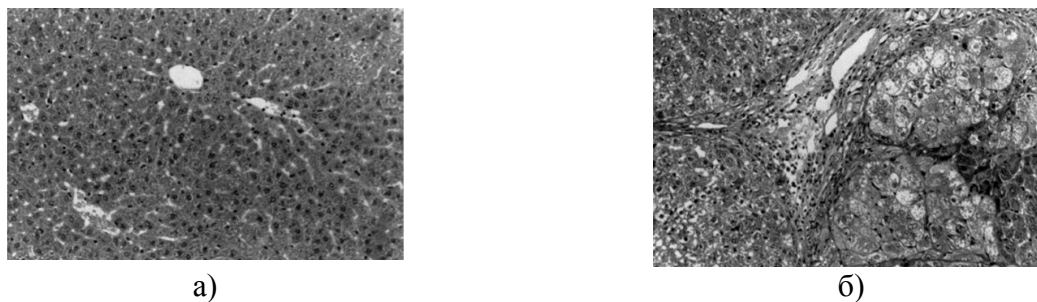


Рисунок 1. Зображення гістологічних зрізів здорової та ураженої циррозом печінки щура [3]

Крім того, кількість сполучної тканини в печінці у ссавців різного типу відрізняється, про що свідчать зображення гістологічних зрізів свині та коня (рис.2).

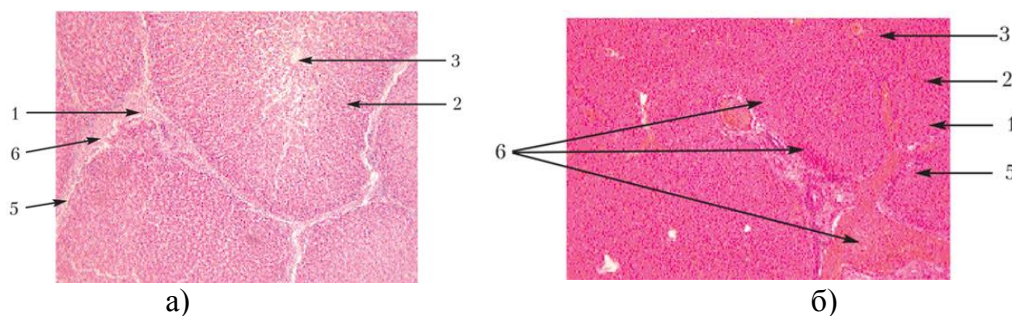


Рис.1.6. Зображення гістологічних зрізів печінки [4]:

- а – свині (1 – міжчасточкова структура, 2 – печінкові балки, 3 – центральна вена, 4 – внутрішньо-часточкові структури, 5 – міжчасточкові кровоносні судини, 6 – жовчні протоки); б – коня (1 – межа між часточками, 2 – печінкові балки, 3 – центральна вена, 4 – внутрішньо-часточкові структури, 5 – міжчасточкові кровоносні судини, 6 – печінкові триади)

Найбільша кількість міжчасточкової сполучної тканини у свиней, через це у них краще, ніж у інших тварин, виражена часточкова структура. У коней значно гірше помітна часточковість, ще гірше у жуйних та, особливо, у гризунів і хижаків, внаслідок того, що часточки відмежовані одна від одної лише міжчасточковими судинами та жовчними протоками [4].

Саме ця властивість може бути використана при попередньому проектуванні, розробці та метрології пристроїв для діагностики захворювань печінки людини, пов'язаних зі збільшенням фіброзної тканини в органі, що базуються на оптичних методах, а саме для ідентифікації тканини при попередньому огляді.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження обрано зразки печінки свині та корови різних товщин (3,4 та 5 мм). Зразки були попередньо заморожені для кращого нарізання. З заморожених брусків отримано прямокутні зразки з повздовжнім розміщенням волокон.

За метод дослідження обрано фотометрію на основі еліпсоїдальних рефлекторів, принцип роботи якого наведено в роботах авторів [5-7] при дослідженні м'язової тканини та шкіри. В ході проведених досліджень отримано фотометричні зображення плями розсіяння в прямому та зворотному

напрямок. Фотометричні зображення плями розсіяння у зворотному напрямку наведені на рис.3.



Рисунок 3. Фотометричні зображення зразків печінки свині (а) та корови (б) товщиною 4 мм

З рис.3 видно, що пляма розсіяння зразками свині є більшою, тому можна припустити, що саме наявність сполучної тканини, яка робить зразок більш щільним, забезпечує більшу кількість розсіяного назад випромінювання.

### ВИСНОВКИ

З отриманих результатів можна зробити висновок, що аналіз фотометричних зображень плями розсіяння зразками одного типу може бути корисним при попередній ідентифікації структурного складу біологічної тканини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Biomimetic, bioresponsive, and bioactive materials: an introduction to integrating materials with tissues/ edited by Matteo Santin, Gary Phillips/ *Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey*, 2012. P.233
- [2] Л.М. Малоштан, О.К. Рядних, Г.П. Жегунова та ін, "Фізіологія з основами анатомії людини: Підруч. для студ. вищ. навч. Закладів", Х.: *ВидКво НФаУ: Золоті сторінки*, 2003, 432 с
- [3] В.П. Новак, Ю.П.Бичков, М.Ю. Пилипенко, "Цитологія гістологія ембріологія", К.: *Дакор*, 2008. — 512 с.
- [4] Новак В.П., Мельниченко А.П. Цитологія гістологія ембріологія: навчальний посібник, *Біла церква*, 2005, 256 с.
- [5] М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych, "Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method", *Devices and Methods of Measurements*, vol.10, no. 2, pp. 160–168, 2019.
- [6] М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and S.A. Kostuk, "Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors", *Devices and Methods of Measurements*, vol.9, №1, pp. 56-65, 2018.
- [7] М.А. Безуглый, Н.В. Безуглая, и А.Б. Самияк, "Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии", *Приборы и методы измерений*, т. 7, №1, с. 67–76, 2016.

*Наук.керівник – к.т.н., доцент Безугла Н.В.*



## УДК 621.3

Булик М., студент гр. ПБ-82мп, Скицюк В., к.т.н., ст.н.с., ст.н.с.,  
Клочко Т., к.т.н., ст.н.с., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

### МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОТВЕРДОМІРА М-20

**Анотація.** Важливою характеристикою матеріалу є його мікротвердість. Створення методики її вимірювання і контролю, дасть можливість створювати якісні деталі, які використовуються при виготовленні деталей приладів, зокрема у медичному приладобудуванні. Основною частиною будь-якого дослідження з вимірювання мікротвердості є встановлення в правильну позицію та калібрування індентора. Це, в свою чергу, є основним фактором перед початком дослідження. Таким чином, при правильному калібруванні, та встановленні індентора в визначену початкову точку, надасть можливість здійснити дослідження мікротвердості матеріалу з мінімальною похибкою, та отримати достовірні результати для подальшої їх обробки, за допомогою яких можна оцінити якість металу. Це забезпечить створення надійних вузлів приладів, які повністю задовольнятимуть вимогам користування та збільшать надійність їх в цілому.

**Ключові слова:** мікротвердість, калібрування, індентор, якість, точність, механічна система.

## ВСТУП

Актуальною проблемою сучасного приладобудування є виготовлення надточних деталей приладів [1]. До основних параметрів, які визначають якість деталей, можна віднести мікротвердість матеріалу заготовки, яку доцільно вимірювати як до початку обробки, так і в процесі механічної обробки на верстатах з ЧПК [2, 3]. Забезпечення точності вимірювання, зменшення похибок, можна досягти лише за допомогою апріорного калібрування приладу, який використовується в процесі вимірювання. Тому метою роботи було створення методики калібрування портативного створеного приладу [4] для подальшого вимірювання мікротвердості матеріалу деталі [5].

## МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ

Калібрування твердості відбувається наступним чином (табл. 1). Оскільки стрілочний індикатор має зону нечутливості, то проводиться попереднє калібрування для визначення зони нечутливості. Для цього необхідно визначитися з величиною зсуву столика мікродинамометра під дією індентора.

Порядок дій наступний. Вмикають всі прилади так, як це проводилося за налагодженням радіоелектронної частини. Зі столика динамометра прибирають калібрувальний зразок і вмикають мікродинамометр.

Після того, як динамометр занулить свою систему вимірювання, індентор поступово опускають до появи сигналу “торкання” до столика. Перевіряють ще раз момент “торкання” до столика. При цьому повинна спрацювати індикація АМТ та М30СТ-2. Величина тиску при цьому не повинна перевищувати 0,01 г. Тими ж мікрометричними гвинтами переміщують індикатор, поступово збільшуючи тиск до моменту поки він не досягне наперед визначеної величини, наприклад 100 г, і фіксують показання стрілочного індикатора. Після цього тиску піднімають до стандартної величини 500 г або 1000 г, фіксуючи спрацювання відчутника тиску за приладами.

Подальше налагодження полягає у постановці калібрувальної пластинки та порівняння показань приладів. Точне налагодження на величину тиску

відбувається регулюванням стискання пружини індентора за допомогою головки.

Таблиця 1. Середньостатистичні значення твердості різних матеріалів та топів незалежно від їхнього технологічного стану обробки (ДСТУ ISO 6507-2007)

Марка металу	Твердість, НВ
Ст45	170 мПа – норм.
Ал1	85-90 мПа
ЛС59-1	150-160 мПа
Д16	42 мПа
М1	45 мПа
Ц1	30-40 мПа
БрБ2	130-150 мПа
АЛ6	45 мПа

Отже, таким чином отримується специфічна характеристика тиску, яка відображена на Рис.1, за якою визначається робочий діапазон приладу.

Згідно з розробленою методикою було виконано низку експериментальних дослідів на деяких матеріалах (метали та їх топи), результатами яких представлено у табл. 2, який надає можливість довести вірність запропонованої математичної тези [2] щодо вимірювання твердості.

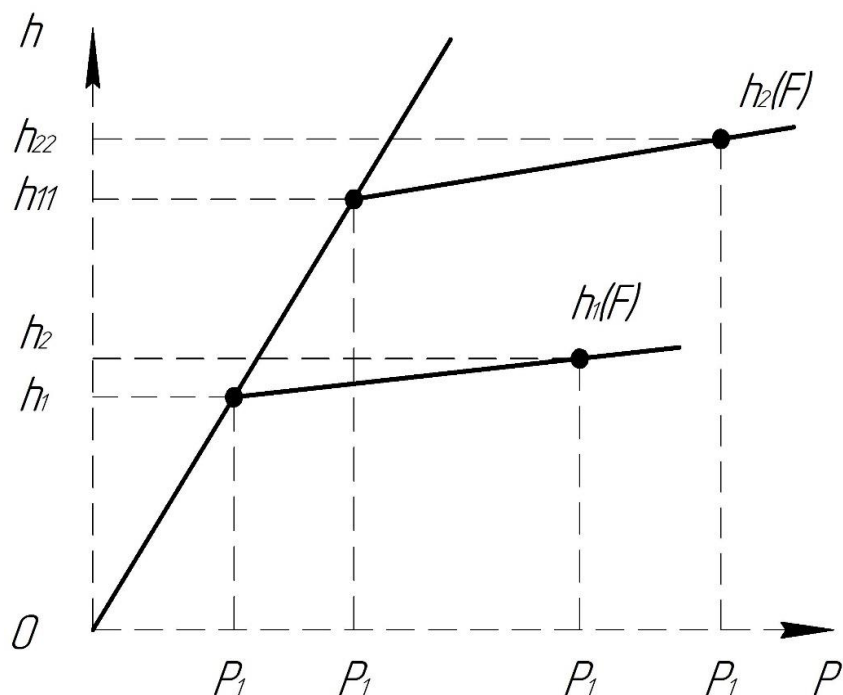


Рисунок 1. Характеристика потужності тиску індентора залежно від величини його переміщення

Наразі, для прикладу, наведено два варіанти ( $h_1(F)$ ,  $h_2(F)$ ) можливих характеристик роботи індентора. Механічна система приладу дозволяє перелаштовуватись у досить широких межах від  $h_1$  до  $h_2$  і більше. Але основна перевага полягає у тому, що подібна характеристика підтверджує теоретичні засади. У такому разі позиції  $h_1$  та  $h_2$  на графіку відповідають величині  $\tau$ , а  $h_{11}$  та

$h_{22}$  величині  $\alpha$ , якщо їх перевести через відповідні коефіцієнти: 0,98Н (100 Гс); 4,905Н (500 Гс).

Таблиця 2.

Експериментальні результати вимірювання мікротвердості матеріалів

Марка металу	Глибина, мкм /діагональ відбитку при навантаженні 0,981 Н	Глибина, мкм /діагональ відбитку при навантаженні 4,905 Н	Експериментальні значення твердості, отримані при навантаженні 0,981 Н	Експериментальні значення твердості, отримані при навантаженні 4,905Н	Експериментальні значення твердості, HRV
АЛ1	6,5/40	13/91	116	112	114
ЛС-59	6/39	11,5/80	122	145	133,5
Ст45	6/40	12/82	116	138	127
Д16	9/62	20/140	48	47	47,5
М1	9/60	22/150	61	41	51
Ц1	10/66	22/150	61	41	51

## ВИСНОВКИ

Створено методику калібрування та вимірювання мікротвердості матеріалу заготовки металевих деталей, наприклад, для застосування у медичному приладобудуванні.

Використання цієї методики надає можливості зменшити похибки вимірювання, а також запобігти появі неоднорідного матеріалу при виготовленні точних деталей.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Скицюк В.І., Клочко Т.Р. Физика технологии ТОНТОР. Саарбрюкен: ИД LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 332 с.
- [2] Volodymyr Skytsiouk, Tatiana Klotchko, Myhailo Bulyk, Specifics of influence of the chemical composition of abstract object's presence zone on accuracy of determination of surface's coordinates, BULLETIN of Kyiv Polytechnic Institute. Series INSTRUMENT MAKING, Is.57(1), pp. 62-71, 2019.
- [3] Farbod Akhavan, Niaki Laine Mears, "A comprehensive study on the effects of tool wear on surface roughness, dimensional integrity and residual stress in turning IN718 hard-to-machine alloy", *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 30, pp. 268-280, December 2017. DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.09.016
- [4] Патент № 128709 України на корисну модель. Спосіб вимірювання мікротвердості деталі. В.І. Скицюк, Т.Р. Клочко, Булик М.О., Печонка М.М. Заявка № U201801193. Опубл. 10.10.2018. Бюл. № 19.
- [5] В. L. Frankamp, A. K. Boal, M. T. Tuominen, V. M. Rotello, "Direct control of the magnetic interaction between iron oxide nanoparticles through dendrimer-mediated self-assembly", *Journal of the American Chemical Society*. 127:9731–9735, 2005.

Науковий керівник доц., к.т.н. Клочко Т.Р.

УДК 617.57: 53.082.9

К. А. Варданесян, студент гр. ПБ-82МП, асистент Вонсевич К.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА ЕЛЕКТРОМІОГРАФУ ДЛЯ БІОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОТЕЗУВАННЯ РУКИ

**Анотація.** У роботі проведено короткий огляд існуючих методів вимірювання біологічного сигналу тіла пацієнта, що використовуються у протезуванні кінцівок. Визначено основні особливості кожного із методів, детально охарактеризовано процес вимірювання та представлено структурну схему системи реєстрації електроміографічного сигналу. Показано результати визначення електроміограми м'язів передпліччя під час виконання двох функціональних рухів кисті, як базису для візуального оцінювання характеристичних кривих, та для подальшого аналізу характеристик сигналів за допомогою систем керування протезних пристроїв.

**Ключові слова:** електроміографія, біологічні сигнали, протезування.

### ВСТУП

Однією із основних складових пристроїв, що використовуються для біоелектричного протезування верхніх та нижніх кінцівок людини є система вимірювання біологічного сигналу з тіла пацієнта, що в подальшому інтерпритується системою керування для організації рухів виконавчих механізмів протезу [1, 2]. В загальному випадку, всі методи реєстрації біосигналів тіла людини можна умовно поділити на три типи: інвазивні, контактні неінвазивні та безконтактні неінвазивні [3].

Інвазивні методи реєстрації є найбільш точними методами вимірювання сигналів, які відповідають рухам кінцівки пацієнта. Такі методи дослідження передбачають визначення рівня сигналів шляхом проникнення в тіло пацієнта [4]. Одним із прикладів високоточних інвазивних методів є вимірювання сигналів шляхом вживлення в кору головного мозку мікроелектродів (рис. 1).

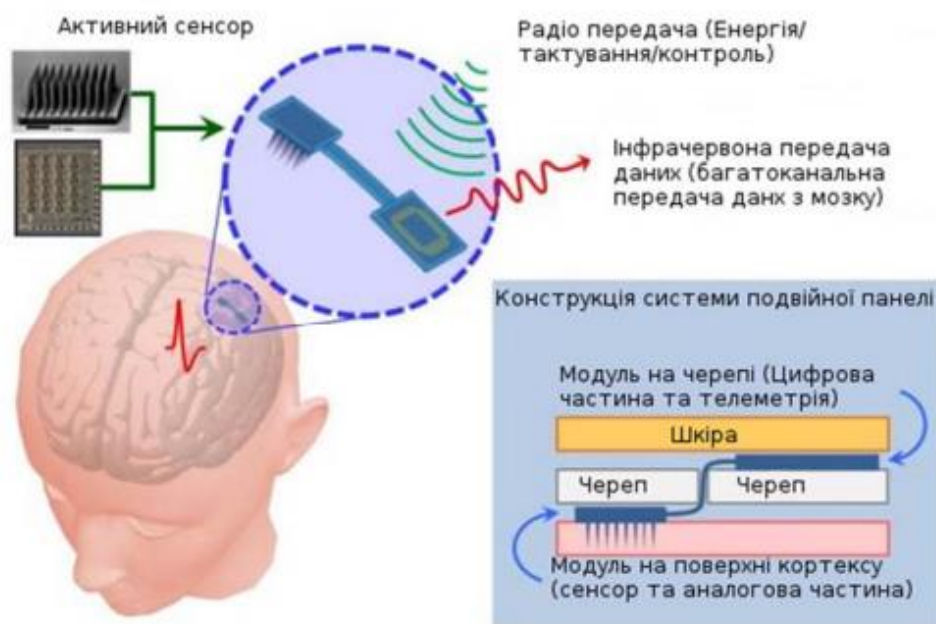


Рисунок 1. Електрод вживлений у мозок пацієнта [5]

При цьому, у сфері протезування зазвичай розглядають два варіанти використання інвазивних мікроелектродів: у методі електоркортикографії

(ЕКоГ) - при підключенні до поверхні кори головного мозку, та метод електроенцефалографії (іЕЕГ) - при взаємодії з глибокими зонами кори головного мозку [5]. Не дивлячись на високу точність таких методів, інвазивний процес встановлення мікроелектродів в мозок людини є небезпечним і може призвести до відторгнення вживлених електродів організмом, що призводить до неконтрольованого погіршення якості вимірювання біологічного сигналу з датчиків [6].

Серед безконтактних неінвазивних методів реєстрації сигналів, що застосовуються у протезуванні виділяють вимірювання потенціалів дії на поверхні тіла, шляхом визначення параметрів електричного поля, що виникає в процесі виконання рухів, підчас роботи м'язів. Для вимірювання параметрів поля використовують спеціальні прилади, ЕРІС-електрометри (Electric Potential Integrated Circuit), що являють собою вимірювальну мікросхему з безконтактними електродами для визначення параметрів електричного поля [4].

Прикладом контактних неінвазивних методів вимірювання сигналів кінцівок пацієнта є метод поверхневої електроміографії (ЕМГ). Цей метод дослідження є одним із найбільш розповсюджених у протезуванні кінцівок та дозволяє визначити сумарну активність групи м'язів, шляхом вимірювання біопотенціалів, які виникають в процесі виконання рухів кінцівки [7].

Розглянемо більш детально загальний алгоритм та організацію структури системи електроміографу, що може використовуватись для досліджень у галузі протезування кінцівок людини.

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Структурна схема системи для вимірювання і класифікації сигналу поверхневої електроміографії показана на рис. 2. Принцип роботи схеми полягає в наступному:

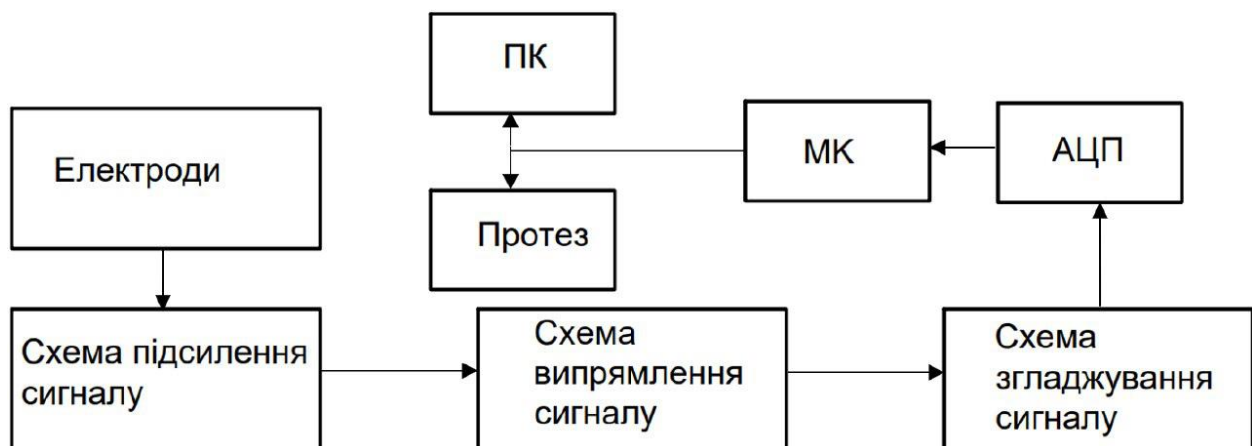


Рисунок 2. Схема роботи системи електроміографу

Перед початком дослідження обирається зона розміщення вимірювальних електродів на кінцівці пацієнта (біцепс, передпліччя, бедро, тощо) та проводиться очищення поверхні шкіри. При цьому, вимірювальні електроди повинні розміщуватись над поверхню активних м'язів, що приймають участь у процесі виконання відповідного руху кінцівки, а опорний електрод – над

поверхнею кістки, або над неактивною групою м'язів. Після вимірювання сигналу електроміограми, здійснюється процес його підсилення, фільтрації, випрямлення та згладжування, для можливості подальшого використання у аналогово-цифрових модулях системи керування протезу [8, 9]. Після оцифровки сигналу, в системі електроміографу відбувається його передача на керуючий мікроконтролер, в якому виконується подальша обробка отриманого набору даних про сигнал, та його передача або на ПК, або безпосередньо до системи керування протезу, з метою подальшого визначення характеристик і класифікації.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В цій роботі автором було проведено загальний огляд методів вимірювання біологічних сигналів, що використовуються при протезуванні кінцівок людини, та представлено структуру системи електроміографу для біоелектричного протезування кінцівок. Приклад електроміографічного сигналу, виміряного за допомогою запропонованої системи при згинанні та розгинанні кисті пацієнта показано на рис. 3.а і рис. 3.б.

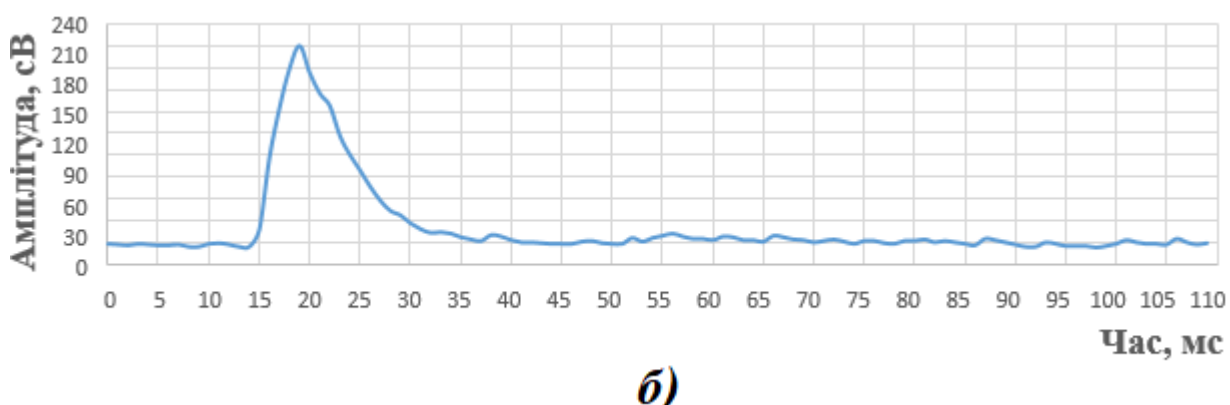
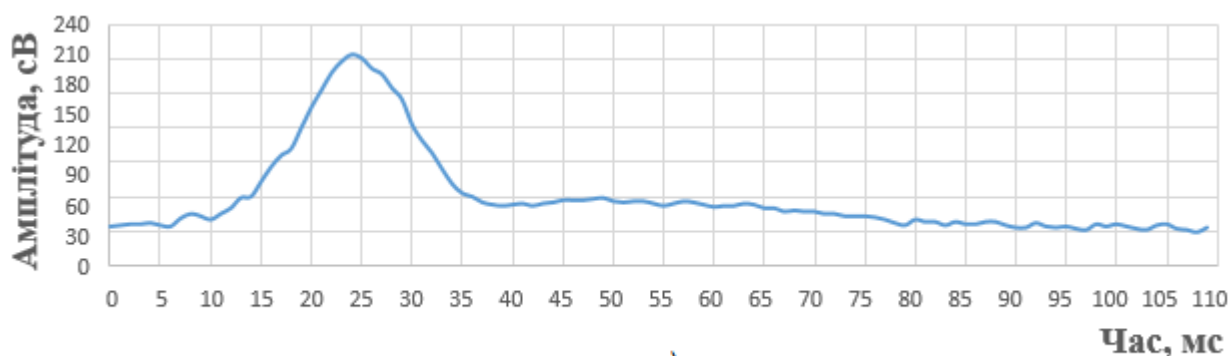


Рисунок 3. Приклад сигналу, виміряного за допомогою запропонованої системи електроміографу: а) при згинанні кисті; б) розгинанні кисті пацієнта

Як видно з рисунку, виміряні сигнали навіть на візуальному рівні дозволяють оцінити різницю між виконаними типами рухів кисті і можуть бути використані для подальшого аналізу за допомогою системи керування протезу шляхом визначення характеристик сигналу та його класифікації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Vonsevych, K. (2017). Information-measuring system of myograph of bionic limb prosthesis. *Perspektyvni Tekhnolohii ta Prilady*, 10(1), 32-37.
- [2] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. *Naukovi Visti NTUU KPI*, (1), 45-53.
- [3] C. Uhde i N. Berberich, «Artificial / Prosthetic Limbs», Technical University of Munich, 2015.
- [4] I. Desarrollo, U. Norte, E. Nathalia, G. Melo, O. Fernando, i A. Sánchez, «Anthropomorphic robotic hands : a review Manos robóticas antropomórficas : una revisión Darío Amaya Hurtado», vol 32, pp 279–313, 2014
- [5] L. R. Hochberg et al., «Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm», *Nature*, vol 485, no 7398, pp 372–375, Трав 2012, DOI: 10.1038/nature11076
- [6] E. Kuronen, «Epic Sensors in Electrocardiogram Measurement», Oulu University of Applied Sciences, 2012.
- [7] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62(1), 23-33.
- [8] Bezuglyi, M. A., Bezuglaya, N. V., Ventsuryk, A. V., & Vonsevych, K. P. (2019). Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method. *Приборы и методы измерений*, 10(2).
- [9] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Prytula, O. A. (2019). OPTICAL FEEDBACK BASED ON THE PHOTOMETRYBY ELLIPSOIDAL REFLECTOR IN BIONIC FINGERS APPLICATION. *KPI Science News*, (3), 63-72.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент, Безуглий М.О.*

**УДК 615.849**

*О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, к.т.н., доцент В.В. Шевченко,  
к.т.н., старший викладач С.М. Матвієнко*

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

## **АПАРАТ МІКРОХВИЛЬОВОЇ РЕЗОНАНСНОЇ ТЕРАПІЇ**

**Анотація.** Розглянуто основні принципи застосування мікрохвильової резонансної терапії та наведено конструктивні особливості розробленого апарату, який дозволяє значно розширити функціональні можливості апаратів мікрохвильової резонансної терапії.

**Ключові слова:** мікрохвильова резонансна терапія, біологічно-активні точки, зворотній зв'язок, апарат для мікрохвильової резонансної терапії.

### **ВСТУП**

Розроблення нових методів лікування, які базуються на результатах фундаментальних досліджень, є нагальною проблемою сьогодення. Квантова медицина та її основна технологія – мікрохвильова резонансна терапія (МРТ) є одним із таких напрямків [1].

Сучасне розуміння механізмів саногенезу МРТ ґрунтується на уявленні, що дія зовнішнього електромагнітного поля міліметрового діапазону наднизької інтенсивності на біологічно активні зони та точки на поверхні тіла людини здатна коригувати порушення власного електромагнітного каркасу організму і сприяти усуненню зумовлених цим метаболічних змін [1].

МРТ впливає на біохімічні процеси в людини, нормалізує метаболізм, не додаючи до нього екзогенних хімічних сполук. Вважається, що поновлений електромагнітний каркас спричиняє первинні зміни на субклітинному та клітинному рівнях організації біологічного об'єкта. У свою чергу це зумовлює зміни на органному та системному рівнях, тобто саме там, де вже виникають специфічні для кожного патологічного процесу зміни та формуються симптоми і синдроми, які визначають клінічну картину захворювання, але яка діагностується рівні цілісного організму [1].

Зважаючи на те, що МРТ може застосовуватись в амбулаторних умовах, має високу клінічну ефективність, повністю безпечна, може ефективно використовуватись у режимі монотерапії, позбавлена небажаних побічних негативних наслідків, вона може бути рекомендована як метод вибору при лікуванні пацієнтів у практичній діяльності лікаря.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Принциповими особливостями, що відрізняють МРТ від інших методів лікування, у тому числі і тих, що використовують різні фізичні фактори, є індивідуальний характер параметрів електромагнітного випромінювання мм-діапазону, що використовується під час лікування. Вони визначаються індивідуально для кожного пацієнта не тільки на весь курс лікування, але, іноді, і на кожний сеанс, змінюючись залежно від динаміки клінічного стану.

Режим з використанням монохроматичного випромінювання передбачає індивідуальний підбір резонансних терапевтичних частот. Надійним тестом для



вибору терапевтичної частоти є сенсорні реакції, тобто суб'єктивні відчуття хворого, які виникають під час впливу на певну біологічно-активну точку (БАТ) випромінюванням з певною частотою. Це найважливіший та зручний для використання клінічний маркер резонансних частот. Сенсорні реакції мають зазвичай комфортний характер. Для лікування використовуються частоти електромагнітного випромінювання, що викликають чіткі комфортні сенсорні реакції, які добре диференціюються пацієнтом.

У літературі наведено експериментальні дослідження спроб модуляції міліметрової дії пульсовим викидом конкретного пацієнта і «чужими біоритмами». Проте синхронізація дії з одним лише важливим параметром гемодинаміки не може повністю вирішити проблему оптимізації фізіотерапевтичної дії. Це стало відомо з робіт, в яких було показано, що біологічні коди є багаточастотними, а ефективність їх залежить від певного співвідношення в модульованому сумарному сигналі [2].

Розглянуто і матричний спосіб реалізації міліметрової дії на основі трьох діодів [2]. Спосіб був заснований на хронобіологічних принципах модуляції з використанням параметрів біологічного зворотного зв'язку. У розробленій авторами системі функціонували тільки три програмні дії, призначені для корекції імунологічних і реологій порушень у хворих цукровим діабетом. Ці обмеження були пов'язані з апаратною системою реалізації міліметрового випромінювання. Отже, актуальною є розробка програмно-керованих систем міліметрової терапії, заснованих встановленні в процесі лікувальної процедури рівня та частоти міліметрової опромінювання БАТ.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Розроблений апарат для мікрохвильової резонансної терапії становить собою джерело надвисокочастотного сигналу і складається з блоку керування апаратом, двох випромінюючих голівок та двох штативів [3].

Панель керування розробленим апаратом показана на рисунку 1.

Конструктивно для зручності в користуванні апарат становить собою чемодан типу «кейс», в якому розміщений блок керування апаратом, відсік для складування двох штативів, відсік для складування двох випромінюючих голівок та вмонтовані підставки для кріплення штативів. В робочому стані штативи виймаються з своїх місць укладки, встановлюються на відповідні підставки в кейсі. Далі виймаються випромінюючі голівки з своїх місць укладки, встановлюються на відповідні штативи, фіксуються на них та з'єднуються з блоком керування апаратом відповідними кабелями. За допомогою штативів можна розташувати випромінювачі голівок над необхідними БАТ пацієнта і зафіксувати їх в цьому положенні [3].

Складові частини блоку, а це – два мікропроцесорних блоки, блок управління та блок живлення закріплені на металічних стінках, які утворюють металічний каркас, прикріплений до стінок кейсу. Зверху блок закритий панеллю керування та індикації, на якій розташовані три LCD-індикатори, LED-індикатори та клавіатура [4].

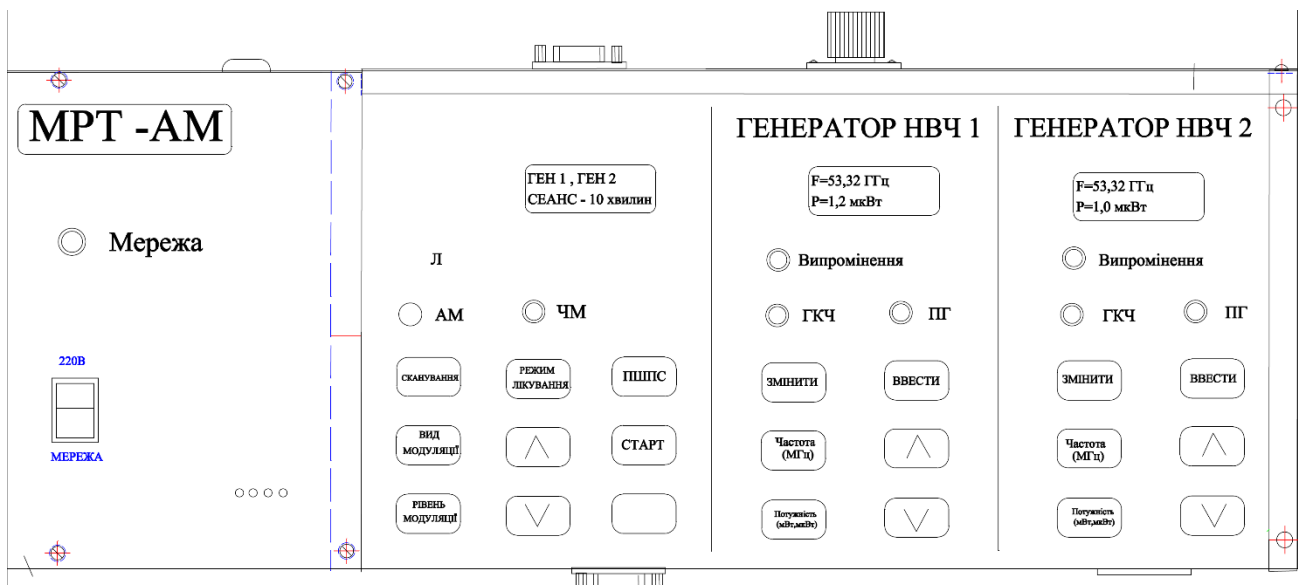


Рисунок 1. Структурна схема розробленого приладу

Роз'єми для підключення двох випромінюючих голівок, зовнішнього ПК, сенсора оксиметра і шнур живлення розташовані в нішах для укладки штативів та випромінюючих голівок і стають доступними в робочому стані, коли штативи і випромінюючі голівки вилучені із своїх уклад очних місць. Блок керування апаратом забезпечує всіма необхідними для керування режимами роботи апарату [4].

У дослідженні брали участь 10 студентів у віці 20-24 років, умовно здорових, які не мають хронічних захворювань. Студенти експериментальної групи піддавалися дії низькоінтенсивного випромінювання міліметрового діапазону, а студенти контрольної групи – помилковій дії даного чинника (плацебо). Вплив випромінювання міліметрового діапазону здійснювалося за допомогою апарату для лікування за допомогою МРТ «АМРТ-02». Технічні характеристики: робоча довжина хвилі 5,3 мм, частота випромінювання 56,3 ГГц, щільність потоку потужності опромінення 0,1 мВт/см<sup>2</sup>. Вплив здійснювалося протягом 30 хвилин на область сукупностей біологічно-активних точок.

Як показали результати дослідження, у контрольній групі випробовуваних достовірних змін всіх досліджуваних показників порівняно з вихідними значеннями за 17 днів спостереження не з'являлося. Разом з тим, після 10-тиденного курсу випромінювання міліметрового діапазону у випробовуваних відбулося вірогідне зниження показників на 43% щодо значень цього показника в контрольній групі студентів, що свідчить про посилення парасимпатичного тону вегетативної нервової системи. Тому отримані нами дані про достовірне зниження показників свідчать про нормалізацію за допомогою випромінювання міліметрового діапазону симпатовагусного балансу організму студентів. Таким чином, 10-ти денний МРТ - вплив призвів до нормалізації значень інтегральних характеристик функціонального стану у випробовуваних. Важливо відзначити, що ефект від випромінювання міліметрового діапазону зберігався і через сім днів після закінчення курсу, коли у випробовуваних – нормотоніків відбулося зниження індексу напруженості в середньому на 43% і збільшення значень

інтегральних характеристик функціонального стану щодо фонових значень. Даний факт свідчить про тривалий ефект післядії курсу міліметрового випромінювання. Отримані дані, узгоджуються з даними наших попередніх досліджень свідчать про кумулятивний ефект випромінювання міліметрового діапазону.

Таким чином результати проведеного дослідження довели високу ефективність застосування випромінювання міліметрового діапазону для корекції функціонального стану організму студентів.

## **ВИСНОВКИ**

В залежності від виявленої хвороби пацієнта та методики лікування лікар ухвалює рішення про стратегію і тактику курсу лікування, про схему проведення лікувальних процедур (кількості БАТ і їх розташуванні, тривалості дії на них, кількості лікувальних сеансів, їх послідовності, порядку чергування та режими роботи апарату). Структура і конструкція апарату дозволяє впливати на БАТ парних меридіанів пацієнта або на область одного з енергетичних центрів задньо- або передньосереднього меридіану

Апарат має можливість керування режимами роботи та обмін даними з зовнішнього персонального комп'ютера, для чого апарат з'єднується через відповідний адаптер по USB з ПК. На персональний комп'ютер встановлюється відповідна програма для роботи з апаратом. За допомогою цієї програми можна керувати режимами роботи апарату, зчитувати індивідуальні дані пацієнта (його визначені індивідуальні лікувальні терапевтичні характеристики та значення біоритмів на протязі терміну лікування), що дозволяє вести базу даних лікування пацієнтів. Таким чином, запропонована схема апарату дозволяє значно розширити функціональні можливості апаратів мікрохвильової резонансної терапії.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Москаленко В.Ф. Квантова медицина: від фундаментальних основ до практичного використання / В.Ф.Москаленко, С.П. Сітько, Є.М. Горбань, Б. П. Грубник, О.П. Яненко // Український медичний часопис. -2002-№ 2.-С. 106-109.
- [2] Шахбазов В.Г. Цитотобіофізична методика оцінки стану організму людини у практиці мікрохвильової резонансної терапії: Методичні рекомендації / В.Г. Шахбазов, С.П. Сітько, Б.П. Грубник.-К., 2001.-12с.
- [3] Yanenko A.F., Matvienko S.N., Filippova M.V. Monochromatic oscillation generator for novel microwave resonant therapy. - 22nd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology", 2012. P. 969-970
- [4] Matviienko S.N., Tymchik G.S., Filippova M.V., Demchenko M.A. Diagnostic and treatment equipment for treatment with MRT with the function of synchronization with the biorhythms of the patient's EMR. - XV International PhD Workshop OWD, 2013. P.19-22.

**УДК 621.681.2**

*О.Ю. Гармаш, студент гр. ПБз82мп, В.В. Шевченко, к.т.н., доцент,  
С.М. Матвієнко, к.т.н., старший викладач*

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

**СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН**

**Анотація.** Приведено аналіз та особливості методів ультразвукової діагностики біологічних тканин. Запропоновано спосіб ультразвукового дослідження біологічних тканин. Показано структурну схему системи ультразвукового дослідження, яка реалізує запропонований спосіб точного дослідження біологічної тканини шляхом контролю та порівняння градієнтів температур в зоні контролюю.

**Ключові слова:** ультразвукова діагностика, біологічна тканина, градієнт температур.

**ВСТУП**

Одним з найбільш перспективних неінвазивних методів візуалізації внутрішніх органів і тканин людини є ультразвукова ехографія. Широкі функціональні можливості ультразвукової апаратури дозволяють істотно підвищити якість діагностики і попередити на ранній стадії розвитку такі соціально значущі захворювання, як онкологічні та серцево-судинні.

Ультразвукова терапія (УЗТ) - застосування з лікувальною метою механічних коливань ультрависокої частоти (20-3000 кГц). В основі ультразвукової терапії лежать три основні фактори: механічний, фізико-хімічний і тепловий [1]. Висока фізіологічна активність ультразвуку, що виявляється в його помітному впливі на обмін речовин, регуляторні функції організму, функціональний стан різних органів і систем, послужила підставою до його широкого лікувального використання. УЗТ застосовують для лікування запально-дегенеративних уражень суглобів і хребта; травм опорно-рухового апарату; периферичної нервової системи; внутрішніх органів; хірургічної патології; шкіри, ЛОР-органів, очей, слизової порожнини рота у хворого на фоні зниженої реактивності організму. Пристрої ультразвукової терапії повинні бути портативними, придатними для лабораторних і домашніх умов роботи, прості і безпечні в обігу.

У своїй практичній діяльності при проведенні досліджень лікарі-діагности зустрічаються з різними ехографічними артефактами зображення, при цьому виникає необхідність визначення відповідності реальній картині відображуваного на екрані сканера сигналу. З одного боку, неправильна інтерпретація артефактів може привести до помилкової діагностики, з іншого боку, розуміння фізичних причин, що лежать в основі походження помилкових зображень, дає додаткову діагностичну інформацію і сприяє успішному аналізу отриманих даних, тим самим підвищуючи інформативність УЗ дослідження [1].

При оцінці характеристик ультразвукового діагностичного приладу слід віддавати перевагу тим приладам, які мають більш високої якості зображення при дослідженні.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

В даний час широке поширення в практиці медичних закладів знайшли апарати одновимірного обстеження за А-методу, які застосовуються в неврології та нейрохірургії, офтальмології, акушерстві. Апарати одновимірного обстеження по М-методу ефективно використовуються в кардіології для аналізу динаміки серцевої діяльності.

Загальним недоліком апаратів даного типу є органів в перерізі. Значно підвищити інформативність обстеження дозволяють ехоскопи двовимірного сканування, що представляють на екрані зображення відсутність можливості отримання інформації про просторове розташування досліджуваного зрізу досліджуваного органу. Вони дозволяють вирішувати задачі дослідження м'яких тканин і органів тіла людини недоступних для рентгенодіагностики без застосування контрастних речовин. Апарати двовимірного сканування застосовуються в онкології, кардіології, акушерстві та гінекології, педіатрії, загальної і судинної хірургії, травматології та інших областях.

Разом з тим, ультразвукова діагностична апаратура, яка випускається в даний час, за своїми функціональними і технічними параметрами ще не в повній мірі відповідає вимогам лікарів [2].

Недоліки інформативних *можливостей* діагностичних апаратів:

- обмежений діапазон відтворюваних на екрані приладу ехо-сигналів;
- ослаблення ультразвукового променю зі збільшенням товщини тканини;
- не використовується корекція на апаратну функцію, як правило, відсутні засоби вторинної обробки зображення з метою підвищення його якості та виділення додаткових інформативних ознак [2];
- недостатня кваліфікація лікарів-діагностів [2].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для підвищення якості отриманих зображень запропоновано спосіб ультразвукового дослідження біологічних тканин, оснований на контролі зміни градієнта температур в зоні ультразвукового дослідження.

Система ультразвукового дослідження біологічної тканини (рис. 1) складається з таких основних блоків: електронний ключ; генератор коливач; підсилювач вихідного каскаду; ультразвуковий перетворювач; обмежувач рівня сигналу; підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення; спектральний підсилювач; фільтр; підсилювач; дисплей; блок керування; безконтактний датчик температур; блок температурного контролю; блок генератора коливач; блок приймаючого підсилювача.

Запропонований спосіб, що реалізований в системі ультразвукового дослідження ока при відшаруванні сітківки працює наступним чином.

Блок генератора коливач включає в себе електронний ключ, генератор коливач і підсилювач вихідного каскаду, сигнал з якого поступає на п'єзоелемент ультразвукового перетворювача. Генератор попередньо налаштовується на резонансну частоту ультразвукового перетворювача. Резонансна частота залежить від типу датчика. Електронний ключ вмикає і вимикає генератор коливач в залежності від тривалості імпульсу запуску, що

поступає з блоку керування, тим самим формуються послідовності імпульсів випромінювання різної довжини.

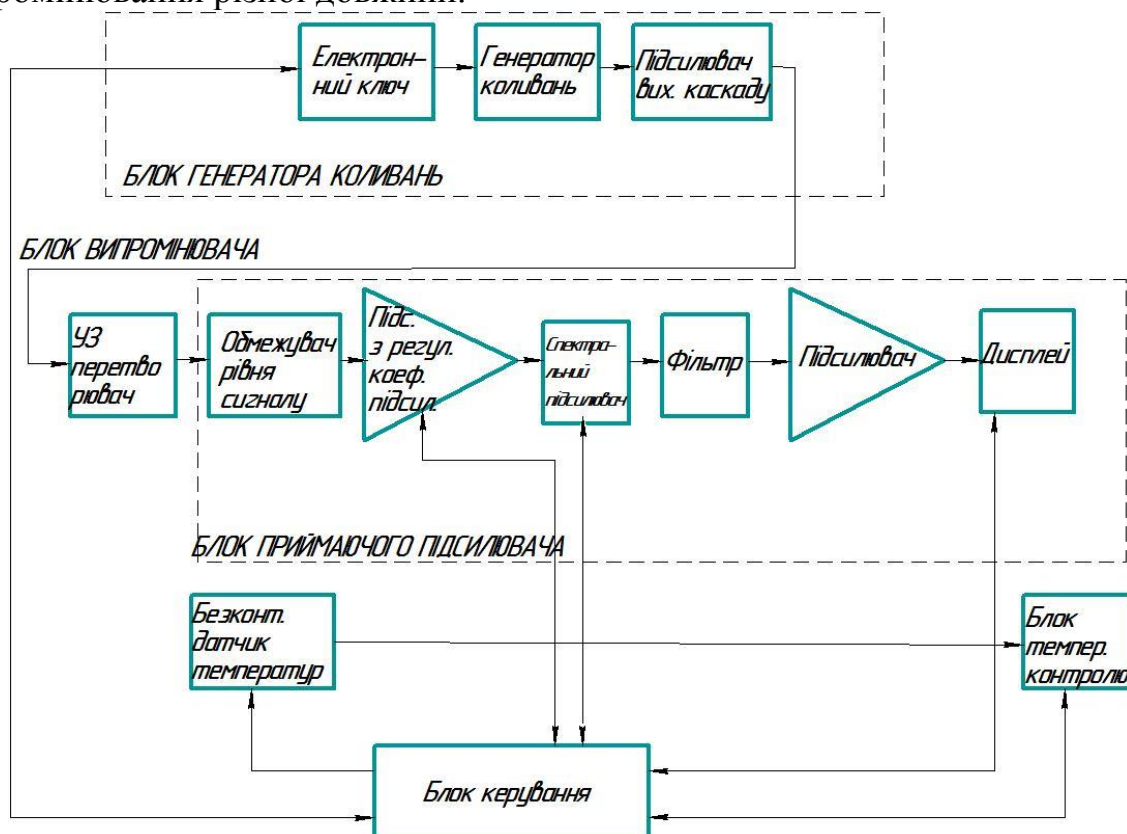


Рисунок 1. Структурна схема системи ультразвукового дослідження.

Блок приймаючого підсилювача складається з обмежувача рівня сигналу, підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення, селективного спектрального підсилювача, фільтра, вихідного підсилювального каскаду і дисплея. Сигнал, що приймається від ультразвукового перетворювача, може мати амплітуду в діапазоні від декількох мікрвольт до декількох сотень мілівольт. Для забезпечення можливості подальшої обробки обмежувач відсікає амплітуди прийнятих сигналів до значень, що не перевищують  $\pm 0,5$  В; це також захищає підсилювач від занадто високої напруги. Сигнали, відбиті від фону, придушуються на підсилювачі з регулюючим коефіцієнтом підсилення. Цей же підсилювач спільно зі схемою управління підсиленням не підтримує амплітуди відбитого сигналу при збільшенні відстані між шарами вимірювального біологічного об'єкту і датчиком. Призначення селективного підсилювача полягає в тому, щоб відфільтрувати випадкові (паразитні, побічні) ультразвукові сигнали і пропускати до подальшої обробки тільки корисний сигнал. Цей сигнал демодулюється, детектується і тільки потім отримана обвідна підсилюється і обробляється. Амплітуда сигналу, що огинає, порівнюється з попередньо встановленим порогом на компараторі, що знаходиться у фільтрі; у разі коли порогову напругу перевищено, сигнал передається для обробки в електронну схему підсилювача.

Експериментальні дослідження проводились на 20 студентах віком 20-22 роки. У режимі роботи ультразвукової терапії експериментували з датчиками різних діаметрів при амплітуді коливань 2 мкм, змінюючи частоту ультразвуку,

часу впливу (максимальна тривалість – 6хв, мінімальна – 2 хв). Середня температура ділянки тіла, яка досліджувалась,  $t=33,9\text{ C}^\circ$ . Результати проведених досліджень показують, як біологічна тканина змінює свою температуру під впливом ультразвуку певної частоти. З цього випливає, чим більша частота та час впливу на біологічну тканину, тим інтенсивніше терапевтичний вплив.

Терапевтичний вплив ультразвуку на організм обумовлений спільною дією ряду факторів, які включають механічні коливання (мікромасаж тканин), ефекти фізико-хімічного і нервово-рефлекторного характеру, а також теплоту, що виділяється в тканинах при поглинанні ультразвуку [3]. Первинний ефект дії ультразвуку виявляється впливом на тканинні і внутрішньоклітинні процеси; зміна процесів дифузії, проникності клітинних мембран, інтенсивності протікання ферментативних процесів, окислення, кислотно-лужної рівноваги, електричної активності клітини. У тканинах під впливом ультразвуку активуються обмінні процеси, збільшується вміст нуклеїнових кислот і стимулюються процеси тканинного дихання. Нагрівання тканин сприяє ослабленню фантомних болів і зменшує м'язовий спазм.

## **ВИСНОВКИ**

Описаний запропонований спосіб ультразвукового дослідження біологічних тканин, заснований на контролі зміни градієнта температур в зоні ультразвукового дослідження. Показано структурну схему системи ультразвукового дослідження, яка реалізує запропонований спосіб точного дослідження біологічної тканини. Запропонований та досліджений спосіб точного ультразвукового діагностування біологічних тканин, шляхом контролю та порівняння градієнтів температур в зоні контролю дає можливість проводити достовірну, об'єктивну, точну оцінку параметрів зображення при одних і тих же значеннях градієнта температур, визначених на тришарових координатах біологічної тканини. При цьому забезпечується однозначність і точність визначення просторових положень та розмірів зображень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Осипов Л.В. Ультразвуковые сканирующие диагностические приборы // Медицинская техника. – 1998. – (№4). – С. 78-83
- [2] Митьков В.В., Зыкин Б.И., Буланов М.Н. Ультразвуковая ангиография // Медицинская визуализация. – 2001. №2. С. 4-13.
- [3] Гармаш, О. Ю. Система діагностики стану головного мозку / О. Ю. Гармаш, В. В. Шевченко, С. М. Матвієнко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна: збірник праць, 2019. – С. 294–297.

**УДК 535-24:616-71:621.383:628.93**

*Гетьман М.М., студент гр. ПБ-382мп, доц. Стельмах Н.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ШКІРИ**

**Анотація.** В роботі розглянуто можливість застосування спектрофотометричних методів для дослідження стану шкіри людини за допомогою новітніх сенсорів на базі серії AS7265x, що дають змогу отримати широкий монохроматичний спектр характеристик досліджуваного об'єкту.

**Ключові слова:** спектрофотометрія, дослідження стану шкіри, багатоспектральні сенсори.

### **ВСТУП**

Шкіра є найбільшою за об'ємом частиною людського тіла, що виконує важливі захисні функції. Також важливою складовою здоров'я людини є візуальний вигляд шкіри, тому необхідно вчасно діагностувати хвороби шкіри та їх ступінь ураження.

Для діагностування стану шкіри в автоматизованому режимі в роботі було використано принцип вимірювання інтенсивності поглинання падаючого світла в різних діапазонах спектру на шкіру пацієнта. Цей метод дослідження використовується в спектрофотометрії, яка широко застосовується при вивченні будови і складу різних сполук (комплексів, фарбників, аналітичних реагентів тощо), для якісного і кількісного аналізу речовин (визначення слідів елементів в металах, сплавах, технічних об'єктах) [1].

### **ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Спектрофотометр — прилад для побудови спектральної кривої вимірюваного об'єкта. Зазвичай виглядає досить масивним стаціонарним приладом, що має високу точність і роздільну здатність та низький показник мобільності через живлення від мережі, а також високу ціну.

Для діагностики стану шкіри нам не потрібно мати високу точність та роздільну здатність спектрофотометра, який здатен проводити точний кількісний аналіз досліджуваної речовини. Потрібно зберегти баланс необхідних фізичних характеристик та високої мобільності для проведення дослідження в різних частинах ураження пацієнта, а також подбати про собівартість кінцевого рішення.

Поставлене завдання в роботі запропоновано вирішити шляхом застосування новітніх малогабаритних та відносно бюджетних багатоспектральних сенсорів серії AS7265x. Проведенні в роботі експериментальні дослідження об'єднання трьох сенсорів в одну систему дали змогу отримати спектральну характеристику в діапазоні від 410 нм. до 940 нм. при повній ширині на рівні половини амплітуди (англ. FWHM — full width at half maximum) 20 нм[2]. Фільтри використовують інтерференційну топологічну конструкцію, що забезпечує високу стабільність у плані часу та температури. Дрейфи настільки малі, що це неможливо виявити при вимірюванні. Температурний дрейф пристрою багато в чому визначається дрейфом датчика та електроніки. Для компенсації зниження температури в додатку кожен пристрій мікросхеми AS7265x включає вбудований датчик температури.



На точність фільтра впливатиме кут падіння, який сам по собі обмежений вбудованою діафрагмою та внутрішньою структурою мікрооб'єктива. Середнє поле зору, обмежене діафрагмою, становить  $\pm 20,5^\circ$  для забезпечення заданої точності (рис. 1). Всі оптичні характеристики оптимізовані для використання розсіяного світла.

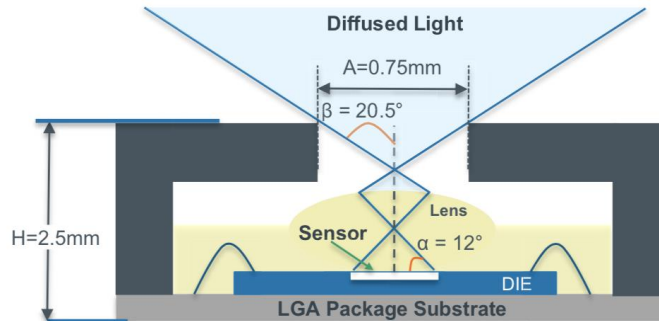


Рисунок 1. Оптична схема сенсору

Кожен пристрій містить аналого-цифровий перетворювач (16-бітний перетворювач АЦП), який інтегрує струм від фотодіоду кожного каналу. Тобто, систему з трьох сенсорів AS72651, AS72652, AS72653 можна використовувати для спектральної ідентифікації в діапазоні від УФ та видимого світла до ближньої інфрачервоної області (англ. NIR — near-infrared spectroscopy).

Об'єднавши показники з трьох сенсорів ми отримуємо змогу вимірювати спектральну потужність відблиску на 18 довжинах хвиль: 410 нм., 435 нм., 460 нм., 485 нм., 510 нм., 535 нм., 560 нм., 585 нм., 610 нм., 645 нм., 680 нм., 705 нм., 730 нм., 760 нм., 810 нм., 860 нм., 900 нм., 940 нм. з точністю до  $28,6 \text{ нВт/см}^2$  та похибкою  $\pm 12\%$ .

Однією з основних вимог для простоти використання приладу в дослідженні стану шкіри в медичних закладах є його мобільність. На це впливає розмір сенсору та необхідні для його роботи показники напруги та струму. В даному випадку обрані сенсори мають не великі габаритні розміри, а друкована плата на якій вони розміщуються розміром 4,1 см. на 3,6 см. Також, вирішальним фактором для створення мобільного приладу з батарейним живленням є споживання струму в робочому режимі, яке складає 5 мА на один сенсор, а також до 100мА для споживання світлодіодів.

За такої реалізації приладу необхідно додати модуль для бездротової передачі інформації на головний модуль або ПК. Для цього можна використати найбільш популярні модулі Bluetooth з частотою передачі 2,4 ГГц, яка є дозволеною для використання в медичних приладах. Це надасть змогу підключитися не тільки до ПК, а й до смартфона, що може позитивно вплинути на швидкість та простоту впровадження рішення.

Для проведення досліджень було обрано розроблену компанією SparkFun Electronics плату для відлагодження роботи з сенсорами серії AS7265x, що представлена на рис. 2.

Це рішення вже має в собі білий світлодіод з температурою освітлення 5700К, УФ-світлодіод з довжиною хвилі випромінюваного світла 405 нм. та інфрачервоний світлодіод з довжиною хвилі випромінюваного світла 875 нм. Ці

світлодіоди були вибрані для освітлення досліджуваного об'єкту найбільш різноманітною частотою видимого та невидимого світла [3].

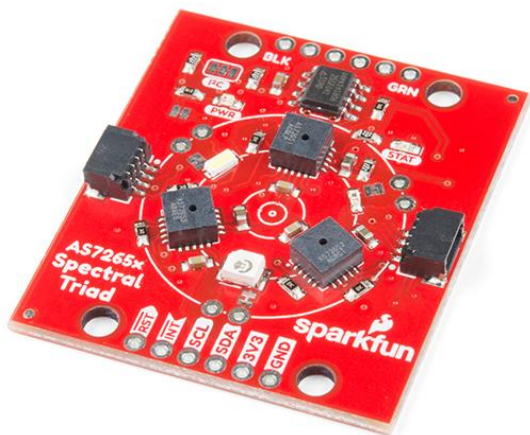


Рисунок 2. Відлагоджувальна плата SparkFun Triad Spectroscopy Sensor

Для обробки значень, які надходять від сенсорів було створено програмний модуль для мікроконтролера, що дозволяє візуалізувати дані для проведення практичного дослідження. Програмний модуль реалізує протокол комунікації з сенсорами на шині I2C та передає отримані дані в зрозумілому форматі на головний модуль або ПК через USB-UART перетворювач для відображення на моніторі.

## ДОСЛІДЖЕННЯ

Основна суть роботи спектрофотометричних методів дослідження — це порівняння виміряного спектру монохроматичного випромінювання, відбитого від поверхні зразка і еталону.

Отже, для створення автоматизованої системи діагностики стану шкіри необхідно провести експерименти, які матимуть на меті отримання великої кількості спектрів монохроматичного випромінювання різних видів ураження і захворювань шкіри. Створення, так званої, бібліотеки для автоматизованого програмного порівняння з отриманою в майбутньому спектральною характеристикою шкіри пацієнта.

Такий метод дозволяє швидко та безболісно провести дослідження, що вказує ступінь ураження теплового або хімічного опіку шкіри. При певному покращенні ПЗ можна створити візуальну карту опіку, де наочно буде вказано області на шкірі з глибшим ураженням [4].

Для покращення вихідних результатів порівнянь великої кількості сканованих спектральних характеристик необхідно використовувати принципи нейронних мереж для програмного забезпечення для виявлення глибоких залежностей між певними ділянками спектру та хворобою шкіри.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Спектрофотометрія <https://uk.wikipedia.org/wiki/Спектрофотометрія>
- [2] AS7265x Smart Spectral Sensor <https://ams.com/as7265x>
- [3] SparkFun Triad Spectroscopy Sensor <https://www.sparkfun.com/products/15050>
- [4] Опікова травма та її наслідки / Козинець Г. П., Слесаренко С. В., Сорокіна О. Ю., Клигуненко О. М., Циганков В. П. – Дніпропетровськ: Преса України, 2008. – 224 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.*

УДК 535.2:616-71

Д. В. Горбань, студент гр. ПБ-82мп.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ФОТОМЕТРІЯ ПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ЕЛІПСОІДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ

**Анотація** У даній роботі розглядається вплив потужності лазерного випромінювання на світлорозсіяння зразками біологічної тканини при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами. У якості зразку обрано гістологічний зріз яєчників жінки віком 62 роки. Використовуємо лазер з довжиною хвилі 632,8 нм та потужністю 2 мВт, а також фотометричну систему. Наведено вигляд системи кріплення зразка та розміщення еліпсоїдальних рефлекторів. Описано залежність потужності випромінювання від отриманих даних.

**Ключові слова:** еліпсоїдальний рефлектор, фотометрія, лазер, гістологічні зразки, рак.

### ВСТУП

Не зважаючи на те, що Україна не входить навіть в топ 5 країн за кількістю хворих на рак, вона посідає друге місце в світі по рівню смертності від раку. Щороку від раку помирає 90 тис. українців з них 35% – працездатне населення [1]. Данія займає перше місце за кількістю хворих на рак, яка в 1,5 рази більше ніж в Україні, але смертність при цьому є в два рази меншою [1]. Рак може ефективно лікуватись практично на всіх стадіях, але щоб виявити ранні симптоми потрібно пройти вчасну діагностику.

Технологічний процес виготовлення зрізів при біопсії різних тканин на підозру ракових утворень дозволяє отримати гістологічний оброблений зріз товщиною 4 – 8 нм, який придатний для діагностики засобами світлової мікроскопії, яку проводить лаборант або лікар. Людський фактор та великий потік пацієнтів, може, спричиняти похибки в дослідженнях, також впливає клас мікроскопу на якому працюють лікарі та лаборанти.

### МЕТОД

Сутність запропонованого методу полягає в скануванні гістологічного зразку та зчитуванні оптичних коефіцієнтів шляхом дії на зразок різними джерелами монохроматичного випромінювання, що реєструється через оптичну систему з дзеркальними еліпсоїдами обертання. Використання еліпсоїдів обертання спрощує складання та юстування оптичної системи завдяки суттєвому зменшенню кількості елементів, а відтак маси та габаритів приладів, що покращує їх експлуатаційні характеристики [2-5]. Схема розміщення рефлекторів та зразку у вимірювальній установці показана на рис. 1.

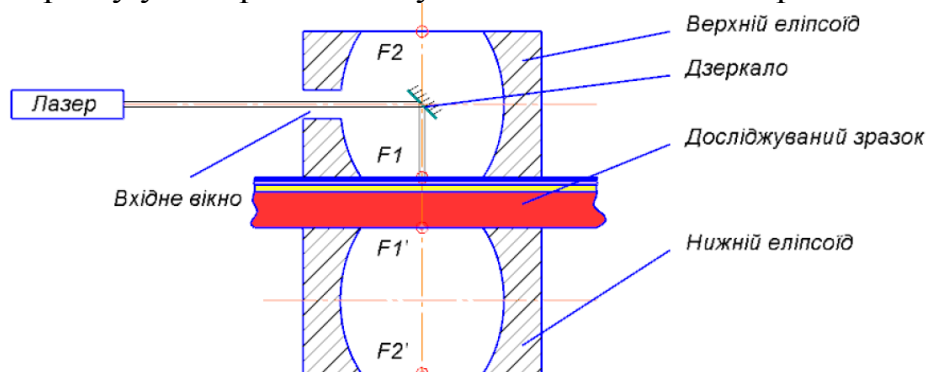


Рис.1 Схема розміщення еліпсоїдальних рефлекторів та зразку

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технічна реалізація експериментальних досліджень *in vitro* була забезпечена шляхом використання джерела лазерного випромінювання з довжиною хвилі 632,8 нм, потужністю 2 мВт та діаметром пучка 1,4 мм; еліпсоїдальних рефлекторів відбитого та пропущеного світла з ексцентриситетом 0,66 та фокальним параметром 16,875 мм; ПЗЗ камери – DMK 21AF04.AS; програмного забезпечення для аналізу фотометричних зображень. У якості досліджуваного зразка обраний гістологічний зріз товщиною 4 мкм яєчників, уражених раком, жінки віком 62 роки.

За допомогою комп'ютерно-інтегрованої системи з еліпсоїдальними рефлекторами та джерелом монохроматичного випромінювання довжиною хвилі 632,8 нм, використовуючи потужність 100%, 50% та 10%, проведені дослідження досліди на пропускання та відбиття гістологічного зразку, попередньо в якому за допомогою методу світлової мікроскопії було виявлено патологічне ураження раком. На рис.2 зображені фотометричні зображення у пропущеному через біологічний зразок світлі, а на рис.3 – у відбитому.

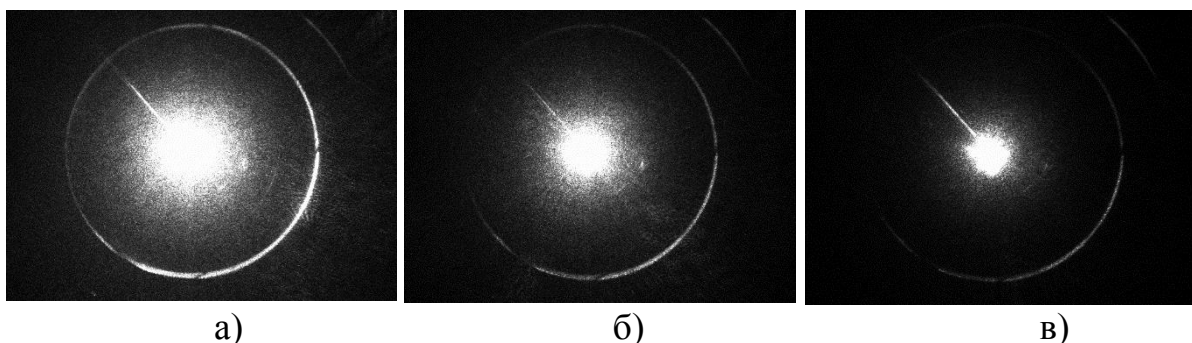


Рис. 2 Фотометричні зображення досліджуваного зразка при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами у пропущеному світлі при потужності лазерного випромінювання на рівні: 100% (а), 50% (б), 10% (в).

З рис.2 можна зробити висновок, що зі зменшенням потужності випромінювання діаметр пучка пропускання зменшується, що в свою чергу буде впливати на кількісні коефіцієнти фотометрії при оцифруванні даних. При потужності 100% слід зазначити, що краї еліпсоїдального рефлектору мають чітке свічення, а при 50% свічення має теж місце, але не таке характерне як при 100%. Зразок, який опромінений при потужності 10% має найменше підсвічення країв еліпсоїду. Також при 100% діаметр пропускання значно більший ніж при 50% та 10%, а краї пучка менш вираженні. При 100% можна помітити плавний перехід від засвіченого центру до країв еліпсоїдального рефлектору, що менш виражене при 50% та майже відсутнє при потужності 10%. Рис.2 наглядно показує залежність пропускання гістологічного зразку від потужності випромінювання.

На рис.3 зображені фотометричні зображення того самого зразку, що використовувався в дослідженнях на пропускання (рис.2) з використанням монохроматичного випромінювання довжиною хвилі 632,8 нм на рівнях потужності 100%, 50% та 10%. Результати дослідження на відбиття світла

значно відрізняється від результатів на пропускання через біологічний зразок, що можна помітити на фотометричних зображеннях на рис.3

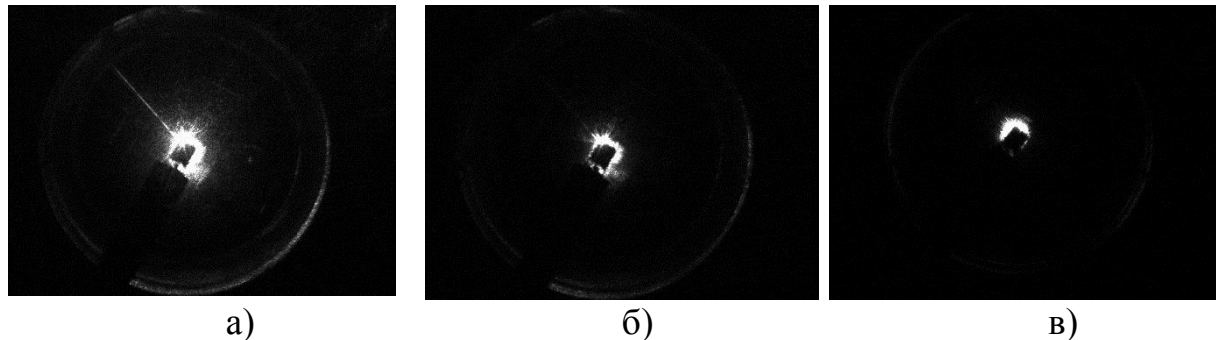


Рис.3 Фотометричні зображення досліджуваного зразка при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами у відбитому світлі при потужності лазерного випромінювання на рівні: 100% (а), 50% (б), 10% (в).

Аналізуючи рис.3 можна помітити, що діаметр пучка відбитого світла залежить від потужності випромінювання. Найбільший пучок спостерігається при потужності 100% та зменшується при 50%, а найменший пучок відбиття від гістологічного зразку спостерігається при потужності 10%. (рис.3.в). Опромінюючи зразок лазером з максимальною потужністю, помітне чітке свічення країв еліпсоїдального рефлектору, на 50% потужності свічення теж присутнє, але не так виражено, найменше свічення країв еліпсоїдального рефлектору характерне при потужності 10%. Також краї пучка при потужності 100% мають більший діаметр і не мають чітких меж та рівномірно розподіленні по всій площині еліпсоїдального рефлектору, що не можна сказати про зразок при потужності опромінення 50%. (рис.3.б). При опроміненні зразку лазером з потужністю 10% спостерігаються чіткіші краї пучка відбиття та найменший діаметр відбитого пучка.

## ПІДСУМКИ

Діагностика пухлин яєчника залишається одним з найбільш складних питань онкології, що зумовлено їх надзвичайно різноманітною гістологічною структурою [6]. Ракові утворення мають більш щільну структуру та яскраво виражену кровоносну сітку, що створює вагомі діагностичні можливості для фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами. Порівнюючи здорові гістологічні зразки з враженими раком за допомогою комп'ютерно-інтегрованої системи з еліпсоїдальними рефлекторами, опромінюючи їх різними довжинами хвиль видимого діапазону, можливо отримати результати що можуть бути переведені в чисельні значення та вписані в алгоритм програмного забезпечення, що даватиме можливість діагностувати ракові захворювання на ранніх його стадіях в різних біологічних тканинах людини методом *in vitro*.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Статистика онкологічних захворювань в Україні // УПРАВЛІННЯ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛДЕРЖАДМІНІСТРАЦІЇ URL: <http://uozter.gov.ua/ua/news-1-0-223-statistika-onkologichnih-zahvoryuvan-v-ukraini> (дата обращения: 10.11.2019).
- [2] Bezuglyi, and N. Bezuglaya, "Raman spectroscopy principles for in vivo diagnostic by ellipsoidal reflectors", Electrical, Control and Communication Engineering, vol. 15, no.1, pp. 39 – 46, 2019.
- [3] М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and A.I. Nagorni, "Control of optical clearing of biological tissue by ellipsoidal reflectors method", Microsystems. Electronics and Acoustics, vol.24, no.2, pp. 6 – 13, 2019.
- [4] М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019.
- [5] М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych, "Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method", Devices and Methods of Measurements, vol.10, no. 2, pp. 160 – 168, 2019.
- [6] Цитоморфологічні, цитогенетичні та імуноцитохімічні особливості ендометрію раку яєчника // Клінічна онкологія URL: <https://www.clinicaloncology.com.ua/article/8051/citomorfoloichni-citogenetichni-ta-imunocitoximichni-osoblivosti-endometrioidnogo-raku-yaychnika>. (дата: 10.11.2019).

*Наук. керівник – к.т.н., доцент., Безуглий М.О.*



УДК 616-085

А.В. Горейко, студент гр. ПБ-82мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЗАСТОСОВУВАННЯ ОПТИЧНОЇ БІОМЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

**Анотація:** У статті розглянуто зменшення інтенсивності лазерного випромінювання, від якого залежить вплив та руйнування біологічного об'єкту.

**Ключові слова:** інтенсивність, калібрування, лазерне випромінювання.

### ВСТУП

На сьогоднішній день, вплив лазерної інтенсивності можна розділити на два типи – високо- та низько-інтенсивне випромінювання. Високо-інтенсивне випромінювання ( $8 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2}$  і більше) застосовується при проведенні безкровних операцій та має велику проникну дію і вплив на біологічне середовище. Біологічна дія низько-інтенсивного лазерного випромінювання ( $0,1 \dots 3,0 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2}$ ), має успіх використання майже у всіх областях медицини для корекції порушень імунітету, покращення властивостей крові її мікроциркуляції в організмі, посилення процесів репарації і закінчуючи діагностикою захворювань внутрішніх органів [1-4].

Останнім часом використання лазерів стає все більш необхідною, що пов'язано з унікальними властивостями цих джерел світла, впливом на біологічні об'єкти і високою ефективністю застосування в різних сферах. Найбільше поширення застосування лазери отримали в направленні хірургії, урології і офтальмології, де використовується переважно вражаючий (руйнівний) ефект. Лазерна технологія застосовна для об'єктів з найрізноманітніших матеріалів, що знаходяться в різних агрегатних станах, серед яких найцікавішими і складнішими є біологічні. Лазерна біотехнологія має безпосереднє відношення до ряду глобальних проблем людства, таких, як рак, СНІД, захист довкілля від забруднень і так далі. Серед великого кола питань, що розглядаються у рамках сучасної лазерної біотехнології, можна виділити: – лазерну хірургію; – лазерну терапію; – лазерну діагностику [5-6].

### МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є створення високоефективної моделі пониження інтенсивності лазерного випромінювання для використання в медичних цілях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виконати аналіз сучасних методів пониження інтенсивності.
2. Розробити математичну модель та провести розрахунки пониження інтенсивності (з врахуванням особливостей поглинання, випромінювання та розсіювання).
3. Розробка експериментальної дослідницької установки на базі видимих лазерів для дослідження впливу лазерного випромінювання на біологічні об'єкти при зміні інтенсивності.

## БЛОК СХЕМА ЛАЗЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ

В даній роботі було розроблено блок схему лазерного пристрою для зменшення інтенсивності лазерного випромінювання, що представлена на Рис.1.

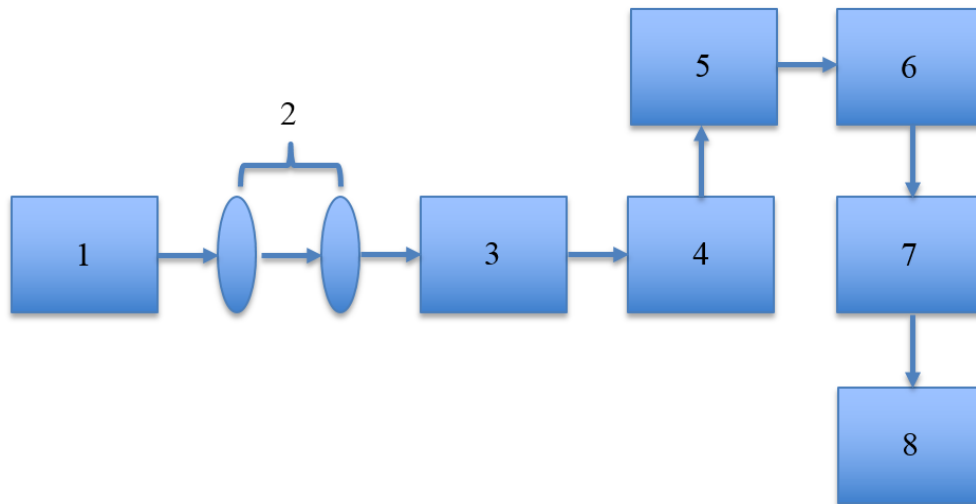


Рис.1 Блок-схема лазерного пристрою для зменшення інтенсивності

На Рис.1 представлена блок-схема, що описує взаємодію між головними блоками приладу.

Блок генерації лазерного випромінювання 1 виконує функцію генерування променя в установці.

Далі лазерне випромінювання проходить через лінзи 2, які формують пучок направляючи его до блоку вимірювання потужності 4, після він потрапляє до блоку калібрування 5, який дає змогу налаштувати лазерне випромінювання більш точно.

Блок послаблення(зменшення) лазерного випромінювання 3 відповідає за пониження прохідної потужності.

Від блоку калібрування сигнал надходить до блоку регулювання температури 6, в якому відбувається вимірювання вихідної температури та забезпечення від перегріву установки.

Також одним із найважливіших являється блок 7, за допомогою якого виконується контроль стабільності потужності (енергії) лазерного випромінювання при взаємодії на біологічний об'єкт 8.

## КОНТРОЛЬ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

В сучасних прилади лазерної терапії та хірургії мало уваги приділяється зв'язку між приладом та біологічним об'єктом, який має контролювати потужність лазерного випромінювання в зоні впливу. Розглядаючи перелік апаратів, котрі використовуються в медицині можна зробити висновок, що дана функція взагалі відсутня, а за наявності представлений температурними датчиками.

При розробці даного приладу велику увагу приділялось датчикам зменшення лазерного випромінювання та регулювання температури. Датчик



зменшення лазерного випромінювання дає змогу використовувати найрізноманітніші лазери, які необхідні в медичних цілях, не вражаючи біологічні об'єкти за рахунок зменшення глибини проникнення. Для цього буде встановлений трансформатор, який буде регулювати вхідну потужність лазера на вході та фільтрувати її потужності на виході для роботи з біологічним середовищем. Наступним важливим етапом була розробка датчика температури, який дав змогу використовувати лазери високої потужності, контролюючи їх інтенсивність та запобігати перегріванню приладу. Після чого було встановлено лінзи, які будуть фокусувати лазерне випромінювання при випромінюванні, тим самим отримати більш точну інформацію про потужність лазера. Останнім етапом було створення датчика контролю стабільності лазерного випромінювання, завдяки якому можна точно визначити потужність лазера та стабільність роботи установки для запобігання небезпеки.

Для спрощення конструкції і оптимізації роботи лазерного випромінювання прилад можна підключати до комп'ютера для керування або для проведення технічного обслуговування.

## **ВИСНОВКИ**

Запропонований пристрій для зменшення інтенсивності дає великий перелік переваг та застосувань в медичних цілях. Завдяки зменшенню інтенсивності з'явиться можливість використовувати більш потужні лазери не завдаючи шкоди організму та біологічному об'єкту. Даний пристрій компактний, ергономічний і може бути використаний в лабораторіях та медичних закладах в яких обмежений простір для розміщення громіздких пристроїв.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Брілль А.Г., Брілль Г.Є., Киричук В.Ф., Шенкман Б., Тамарін І., Дар-дик Р., Варон Д., Савіон Н. Вплив випромінювання He-Ne лазера на активацію і агрегацію тромбоцитів // Бюлетень експериментальної біології і медицини. 1999. - Т. 28. - №7. - С.48-49.
- [2] Воздвиженський І.С., Щеглова ОЕ, Саригін П.В. Можливості застосування лазерів в лікуванні пігментних утворень шкіри // Нові напрямки лазерної медицини. Матеріали Міжн. конф. М., 1996 - С. 27-28.
- [3] Герцен АВ, Леонтьєва Г.В. і співавт. Вивчення впливу низькоінтенсивного інфрачервоного лазерного випромінювання в експерименті // Нове в лазерній хірургії та медицині / Матеріали Міжн. конф. М., 1990. - с. 31-32.
- [4] Тучин В. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / В. В. Тучин. — Москва :, 1989. — 240 с.
- [5] Беликов А. В. Лазерные биомедицинские технологии (часть 2) / А. В. Беликов, А. В. Скрипник. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009. — 100 с.
- [6] Беликов А. В. Лазерные биомедицинские технологии (часть 1) / А. В. Беликов, А. В. Скрипник. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 116 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Н.В. Безугла*

**УДК 615.847.8**

*О.Т. Грузинська, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ДИНАМІЧНІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ У РІЗНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАНАХ**

**Анотація** Було проведено дослідження сучасних методів електрокардіографії (ЕКГ) та методу ЕКГ, що дозволяє отримати сигнали з каналів меридіанів серця та перикарду. Проведено вимірювання електричних сигналів серця стандартним способом та за допомогою удосконаленого методу - з можливістю вимірювання сигналів з каналів меридіанів перикарду та серця та аналіз отриманих результатів. Новизна цього методу полягає у отриманні більшої кількості інформації про роботу серця та отримати покращену картину стану серця та його роботи.

**Ключові слова:** методи електрокардіографії, сигнали ЕКГ каналів перикарда та серця.

### **ВСТУП**

Останнім часом у світі зростає інтерес медичної спільноти до спадку китайської народної медицини, адже незважаючи на різницю у підходах та розумінні суті захворювань, західна медицина та традиційна китайська медицина є не антагоністичними, а комплементарними одна одній. Захворювання серця є яскравим прикладом патології, яка щороку забирає мільйони життів, а тому, вдосконалення методів отримання ЕКГ та цих апаратів є одним з головних завдань сучасної медицини. Поєднання принципів західної та китайської народної медицини зможуть дати можливість отримати чітке уявлення про процеси появи сигналів електричної активності в клітинах міокарда та серця [1].

### **ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ**

ЕКГ – простий та зручний метод обстеження стану здоров'я людини. Електрокардіограма (ЕКГрама) – це записаний на фізичному носії або комп'ютерна реєстрація сигналу електричної активності серця. Стандартна ЕКГрама складається з запису сигналів з 12 відведень: 6 відведень від кінцівок - I, II, III, aVR, aVL, aVF та 6 грудних відведень - V1, V2, V3, V4, V5, V6. Всі 12 відведень дають загальне уявлення про роботу серця. Відведення I, II, і III є біполярними, aVR, aVL, aVF - уніполярними відведеннями. Осі відведень від кінцівок проходять через точку, що розміщена в центрі грудної клітини. Відхилення електричної вісі серця прийнято оцінювати у цій площині [2].

Завдання сьогодення – це створення комплексного способу діагностики та візуалізації тканин серця людини шляхом створення функціонально інших місць розташування електродів, задача яких отримувати сигнали чітко з місць полягання меридіан – точки на меридіані серця та точки з меридіану перикарду[3].

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Відведення - точки в просторі електричного поля між якими вимірюють різницю потенціалів. Вісь відведення - лінія, що їх з'єднує. На рис.1 зображена

структурна схема апарату комплексної діагностики, що реалізує запропонований спосіб розширеної функціональної діагностики ЕКГ.

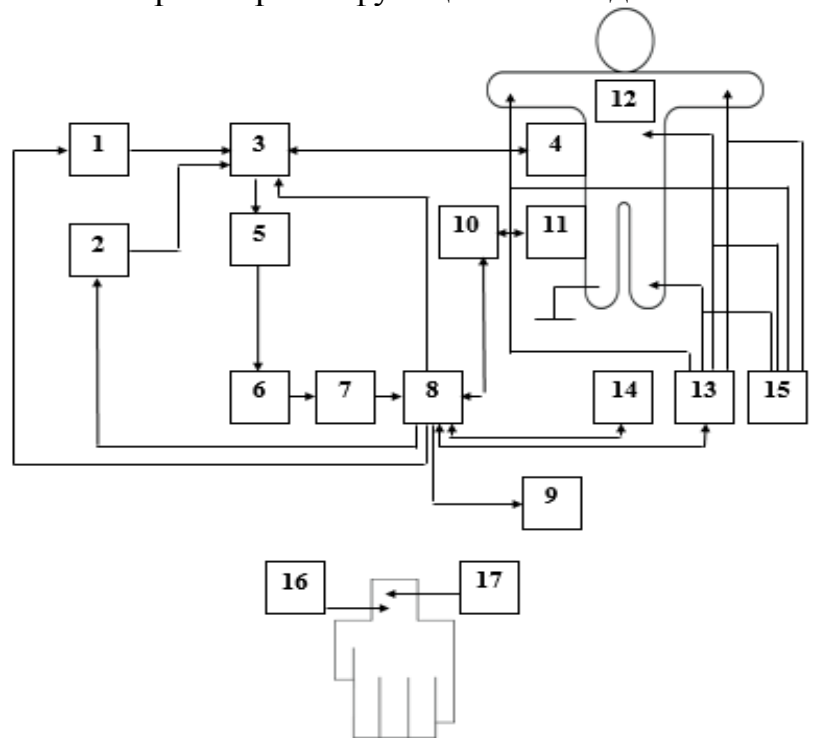


Рис.1 Апарат комплексної діагностики та візуалізації тканини серця людини: де 1- генератор неперервних ультразвукових коливань, 2-тактовий генератор, 3- комутатор,4- датчик ультразвукового дослідження, 5-підсилювач, 6- фільтр нижніх частот,7- аналого-цифровий перетворювач, 8- блок керування, 9- монітор, 10- блок контролю температури, 11- датчик температур, 12-об'єкт дослідження, 13- електрокардіограф (ЕК), 14- векторкардіограф, 15- відведення ЕК, 16-точка перикарда, 17- точка серця

Спосіб розширеної комплексної діагностики і візуалізації тканин серця людини включає контроль стану міокарда за допомогою електрокардіографії, реєстрацію в процесі кардіоциклу характеристики електрокардіограми та її аналіз, а також реєстрацію циклічної частоти обертання інтегрального електричного вектора в трьох площинах: фронтальній, сагітальній, горизонтальній, а контроль стану міокарда здійснюється фазовим секторним електронним[4].

Цей метод відрізняється від класичного методу вимірювання кардіограми тим, що точки приєднання першого відведення при реєстрації електрокардіограми розміщують по черзі в зонах зап'ястя на сигнальних точках меридіанів каналу перикарда і серця. Такий підхід зможе дати більше можливостей для діагностики та відкріє нові можливості для встановлення правильного діагнозу [5].

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Мета дослідження – провести аналіз сигналів, які були отримані з каналів меридіанів серця та перикарду. Для проведення дослідження було використано біодіагностичний апаратний комплекс «KL-720 Biomedical Measurement system», блок для вимірювання електрокардіограми та розроблені спеціально

для вимірювання сигналів електричної активності серця з каналів меридіанів серця та перикарду електроди [6].

Вимірювання проводилось в контрольній групі різних вікових категорій, що зазначено в табл 1. Перший етап дослідження - проведення стандартного вимірювання ЕКГ, другий етап - проведення вимірювання ЕКГ шляхом вимірювання сигналів з каналу меридіану перикарду, третій етап - вимірювання ЕКГ шляхом вимірювання сигналів з каналу меридіану серця.

На рис.1. – рис.2. наведені графіки порівняння стандартної ЕКГ, ЕКГ каналу меридіану серця (ЕКГс) та ЕКГ каналу меридіану перикарда (ЕКГп) у різних вікових груп.

В дослідженні параметрів зміни амплітуди зубців та часових інтервалів деполяризації шлуночків та передсердь серця (систоли) та їх реполяризації (діастола) прийняли участь дві контрольні групи молодого та зрілого віку.

Аналіз отриманих ЕКГ здійснювався у наступній послідовності: було вимірено значення амплітуди зубців стандартної ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп. Було встановлено характеристичні точки, зроблено порівняння зареєстрованих ЕКГ зі стандартними, та проведено оцінку зареєстрованої ЕКГ. Усі виміри проводилися у першому відведенні.

У таблиці 1 наведені результати аналізу електрокардіограм знятих звичайним способом, а також з каналу серця та з каналу перикарду.

Середнє значення ЧСС для обох вікових груп знаходиться у межах норми – 62 удари/хв.

Таблиця 1. Середнє значення амплітуди основних зубців ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп по віковим категоріям

Електрокардіограми		Амплітуда <i>P</i> , мВ	Амплітуда <i>R</i> , мВ	Амплітуда <i>T</i> , мВ	Інтервал <i>QRS</i> , мс	Інтервал <i>PQ</i> , мс	Інтервал <i>ST</i> , мс
ЕКГ	18-22	0,5175	2,55875	0,5805	86,75	151	59,5
	50-71	0,7775	2,55875	1,4075	82,5	143,5	59,25
ЕКГс	18-22	0,6975	2,225	1,61	86,75	154,5	59,75
	50-71	1,3	2,56	1,705	83,25	144	60,25
ЕКГп	18-22	0,485	2,0525	1,28	86,75	151,75	59,75
	50-71	0,7725	2,5725	1,7025	84	146,5	60,75

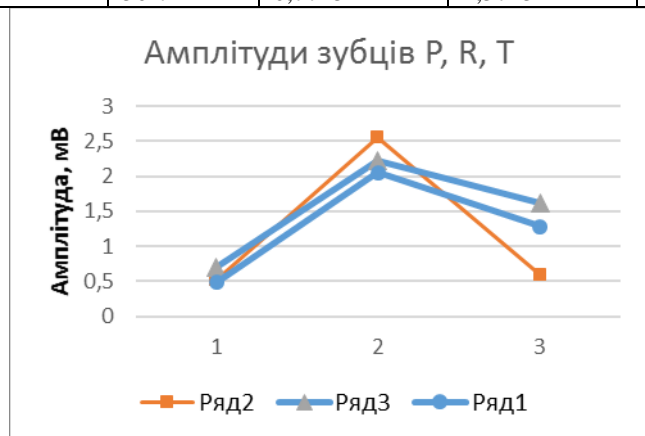


Рис.1 Графік амплітуди основних зубців ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у віковій категорії 18-22: де Ряд 1 - ЕКГ, Ряд 2-ЕКГс, Ряд 3- ЕКГп.

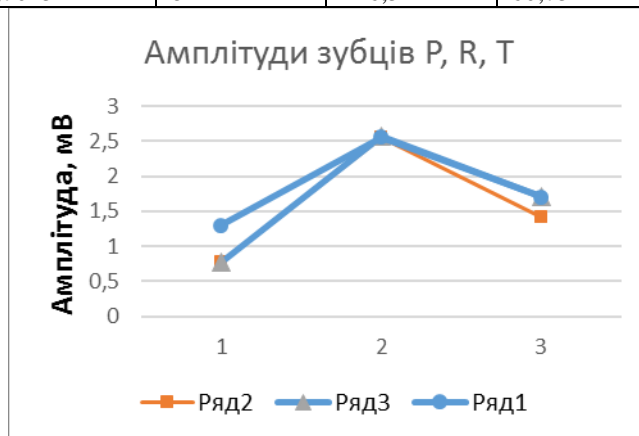


Рис.2 Графік амплітуди основних зубців ЕКГ, ЕКГс та ЕКГп у віковій категорії 50-70: де Ряд 1 - ЕКГ, Ряд 2-ЕКГс, Ряд 3- ЕКГп.

## **ВИСНОВКИ**

Проведено вимірювання стандартного сигналу ЕКГ у двох досліджуваних групах однієї статеві та різних вікових категорій для контрольного порівняння, з вимірюванням сигналів меридіана серця ЕКГс та меридіана парекарда ЕКГп, для кожного досліджуваного та для усіх двох контрольних груп.

Було встановлено, амплітуди основних зубців ЕКГ мають більші значення при вимірах ЕКГс та ЕКГп, що може свідчити про вищу чутливість цих місць для оцінки електричної активності серця людини. Також встановлено, що часові інтервали при вимірах звичайної ЕКГ, та ЕКГс та ЕКГп майже не відрізняються.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. - 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [2] А.П. Баранов. Основы ЭКГ для клинициста. / А.П. Баранов А.В. Струтынский // – Школа электрокардиографии - 2004. – 71 с.
- [3] 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.
- [4] A. Kurylova and N.F. Tereshchenko, “Estimation of ultrasound influence on biological tissue”, in XIII Int. PhD Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, 22—25 October 2011, vol. 29, pp. 319—323.
- [5] Грузинская, А. Т. Дифференциальный электрокардиографический метод диагностики состояния сердца / А. Т. Грузинская, Н. Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 18-19
- [6] Грузинська, О. Т. Метод електрокардіологічного дослідження з розширеними функціями / О. Т. Грузинська, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 298–301.

*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*

## КЕРУВАННЯ МАГНІТНО-ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

**Анотація** В даній статті розглянуто метод керування магнітно-лазерної терапії на основі аналізу фотоплетизмограми. На основі літературного аналізу було визначено що ці два види терапії мають майже однаковий терапевтичний ефект, магнітна складова збільшує глибину проникнення лазерного опромінення в тіло людини, тому в роботі увага акцентувалась на лазерне опромінення. Для уникнення негативних реакцій магнітно-лазерної терапії більш ефективним варіантом є використання комплексної методики, яка дозволяє під час проведення процедури отримувати інформацію щодо стану організму пацієнта. Маючи вихідні дані можна контролювати дозування, спостерігаючи за кровопостачанням органів, одразу під час сеансу. Отже, розробка методу управління магнітно-лазерною терапією на основі даних фотоплетизмограми є актуальним завданням. Розглянуто особливості даного методу, що полягає в підвищенні ефективності визначення рівня лазерної чутливості, шляхом аналізу структурних та спектральних характеристик фотоплетизмограми.

**Ключові слова:** фотоплетизмограма, лазерна терапія, пульсова хвиля, фізіологічний стан, кардіоцикл.

### ВСТУП

У останні десятиліття у вітчизняній і зарубіжній медицині знаходять усе більш широке вживання терапевтичні лазери червоного і інфрачервоного діапазону хвиль. Щороку розширюється список захворювань, в лікуванні яких використання магнітолазерної терапії (МЛТ) дає позитивний ефект, який раніше не досягався традиційною терапією [1]. Проте багато лікарів відзначають появу ряду «негативних» реакцій на проведення стандартизованих методик магнітолазерної терапії, які розглядаються ними як ускладнення магнітолазерної терапії [2, 3], що незрідка служить приводом для твердження про індивідуальне протипоказання МЛТ. Інженери, виробники терапевтичних лазерів, чекають від лікарів обґрунтування оптимальних для всіх пацієнтів параметрів магнітолазерного випромінювання для конкретних захворювань. Дози, що рекомендуються ж, і щільність потужності у виданому керівництві відрізняються на порядок і навіть більше для одного і того ж захворювання. Виробники апаратів магнітолазерної терапії вимушені пропонувати широкий вибір параметрів, що необґрунтовано ускладнюють і підвищують вартість магнітолазерних апаратів.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Відомі способи оцінки ефективності лазерної терапії носять ретроспективний характер і включають визначення багатьох клініко-лабораторних, біохімічних, імунологічних і інших показників крові. Безліч спроб реєстрації термінових клітинних і тканинних реакцій з метою оцінки загальних адаптаційних процесів в практичній медицині вживання не знайшли з причини складності інтерпретації реєстрованих зрушень в плані загальної віддаленої дії на цілісний організм.

Прогностичним критерієм оцінки ефективності лазерної терапії є в основному лише наявність і відсутність протипоказань клінічного характеру, хоча відоме положення про те, що для прогнозу загального терапевтичного

ефекту надзвичайно важливе встановлення термінової відповіді біологічного об'єкту на дію.

У клінічній практиці використовують спосіб прогнозування ефекту лазерної терапії, що полягає у визначенні деформованості еритроцитів *in vitro*, по динаміці якої на першій процедурі судять про зміни структур крові хворого під впливом лазерного опромінення і, вважаючи даний тест моделлю загальноорганізованих реакцій, прогнозують віддалений клінічний ефект [4]. Спосіб вирішує завдання стосовно внутрішньовенної лазерної терапії. Проте, технічна складність реєстрації вибраного параметра, що включає недоступність приладового забезпечення, суб'єктивність спеціально вивченого оператора в оцінці важковловимого параметра (еритроцит зазнає дуже незначні зміни під впливом лазерного опромінення) зводять нанівець практичну значущість способу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Інформативні параметри фотоплетизмограми можна виділити по вертикальній і горизонтальній осях.

Амплітудні характеристики пульсової хвилі, які відповідають анакротичному і дикротичному періоду, досліджуються по осі ординат. Вивчення цих параметрів надає інформацію про силу судинної реакції, не зважаючи на їх відносність. У цій групі ознак розглядаються амплітуда анакротичної і дикротичної хвилі та індекс дикротичної хвилі, що має абсолютне значення і власні нормативні показники.

Часові характеристики пульсової хвилі досліджуються по осі абсцис. Вони дають інформацію щодо співвідношення періоду систоли і діастолі та тривалості серцевого циклу. Дані параметри мають абсолютні значення і можуть порівнюватися з існуючими нормативними показниками. Ця група параметрів надає інформацію про тривалість анакротичної та дикротичної фази пульсової хвилі, період фази вигнання, тривалість пульсової хвилі, індекс висхідної хвилі, час наповнення, тривалість фази систоли та діастолі серцевого циклу, час віддзеркалення пульсової хвилі та частоту серцевих скорочень [6]. На рис. 1. представлені основні кодуючі точки об'ємного пульсу.

B1 є точкою початку періоду вигнання (періоду систоли), B2 – точкою фази форсованого вигнання (моменту максимального розширення судини), B3 – точка протодіастолічного періоду, B4 – точка початку діастолі, B5 – точка початку кінця діастолі і вказує на завершення серцевого циклу.

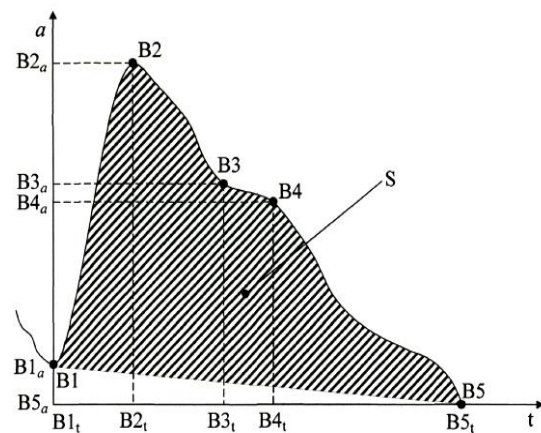


Рис. 1. Основні кодуючі точки об'ємного пульсу



На рис.1 виділяємо амплітудні параметри фотоплетизмограми (вісь ординат  $a$ ) та її часові параметри (вісь абсцис  $t$ ).

Після проведення аналізу параметрів фотоплетизмограми, було виявлено доцільність використання амплітудних, часових та частотних параметрів, як носіїв інформації. Отже, в процесі дослідження фотоплетизмограми має використовуватись комбінація амплітудних і часових методів аналізу.

В результаті дослідження нами був запропонований параметр, який визначає площу фігури, заштрихованої на рис.1, і є амплітудно-часовою характеристикою фотоплетизмограми. Розмірність цього параметра визначається як (амплітуда)  $\times$  (час) і вимірюється у відносних одиницях.

Амплітудно-частотний параметр фотоплетизмограми обчислюється за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^N a_i - \frac{B5_a - B1_a}{B5_t - 1} + B5_a - B5_t \frac{B1_a - B5_a}{1 - B5_t} \quad (1)$$

де  $a_i$ - величина  $i$ -го відліку фотоплетизмограми,  $N$  - число відліків в аналізованій фотоплетизмограмі в інтервалі  $[B1_t, B5_t]$ .

Проаналізувавши дані з матеріалів [7], можна зробити висновок, що найінформативнішими є хвилі тільки першого і другого порядку. Хвилі третього порядку спостерігати дуже проблематично. Беручи до уваги, що хвилі другого порядку мають середню частоту коливань 0,2 Гц, обмежимося інтервалом часу спостереження фотоплетизмограми 30 с. На рис. 2. представлено амплітудний спектр Фур'є у вікні довжиною 30000 відліків, а на рис. 3 - амплітудний спектр Фур'є того ж самого сигналу, але у вікні довжиною 3000 відліків.

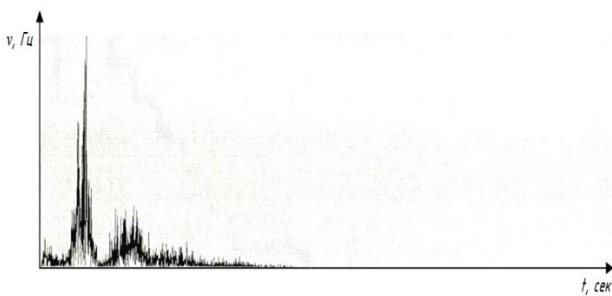


Рис. 2. Амплітудний спектр Фур'є фрагмента фотоплетизмограми (30000 відліків, частота дискретизації 100 Гц)

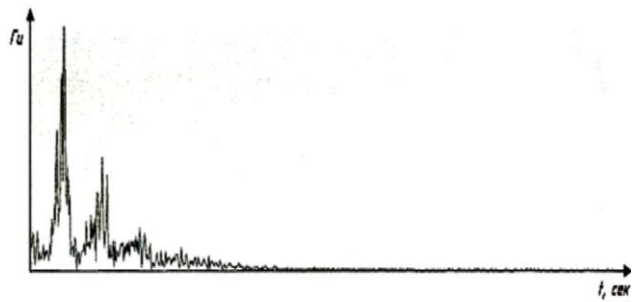


Рис. 3. Амплітудний спектр Фур'є фрагмента фотоплетизмограми (3000 відліків, частота дискретизації 100 Гц)

Дані рисунки демонструють відсутність істотного впливу довжини вікна на структуру сигналу. До того ж статистичні дослідження аналогічних спектрів фотоплетизмограм різних пацієнтів показали, що із зростанням ширини вікна третя гармоніка кардіосигналу стає менш вираженою.



## **ВИСНОВКИ**

В результаті аналізу фотоплетизмографічного сигналу встановлено, що при видобуванні з нього інформативних ознак доцільно використовувати структурні методи аналізу як в часовій, так і в частотній областях. Представлений метод дозволяє отримувати дані від організму пацієнта під час впливу на нього. Вихідні дані дозволяють визначити індивідуальне дозування магніто-лазерної терапії для уникнення негативних наслідків. На основі проведених досліджень виробники терапевтичних лазерів можуть випускати більш функціональні прилади, що в свою чергу призведе до зменшення ціноформування на прилади.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Илларионов, В.Е. Основы лазерной терапии [Текст] / В.Е. Илларионов. - М.: Изд. «Респект», 1992. 126 с.
- [2] Андрищенко, О.М. Использование моно- и комбинированной ЛТ в различных диапазонах длин волн для лечения нарушений сердечного ритма у больных ИБС [Текст]/ О.М. Андрищенко, А.И. Олесин, В.А. Максимов // Материалы междунар. конф.- 1992. С. 134-135.
- [3] Арканникова, Г.А. Результаты применения магнито-лазерной терапии в условиях кардиологического отделения [Текст]/ Г.А. Арканникова, Л.И. Рудан, Е.А. Липницкая // Матер. II Всероссийской научно-практической конференции по МИЛ-терапии.- М., 1996. С.51-52
- [4] Капустина, Г.М. Внутрисосудистое облучение крови, механизмы клинической эффективности, побочные действия, показания и противопоказания [Текст] / Г.М. Капустина, Г.Н. Максюшина, В.В. Малахов // Матер. Междунар. конфер. «Новые направления лазерной медицины». - М., 1996. С. 230-231.
- [5] Халед Абдул, Р.С. Способ перехода от категориальных данных к порядковым в экспертных системах медико-биологического назначения [Текст] / Р.С. Халед Абдул, А.Е. Белозеров, С.А. Филист // Системные исследования в науке и образовании: Сборник научных трудов/ Курск.гос.ун-т: МУ». Издательский центр «ЮМЭКС», 2007. С.7-10.
- [6] Мошкевич В.С. Фотоплетизмография [Текст]/ В.С. Мошкевич. -М.: Медицина, 1970. 154 с.
- [7] Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний [Текст] / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. - М.: Медицина, 1997.235 с.

*Науковий керівник – к.т.н., доцент Шевченко В.В.*

**УДК 615.47**

*І.А. Данилюк, студент гр. ПБ-42мп., О. Г. Шмендель, гр. ПБ-82ф,  
М.Ф. Терещенко, к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **КОМПЛЕКС ЛАЗЕРОТЕРАПІЇ**

**Анотація.** Проведено огляд та аналіз стану лазеротерапевтичних апаратів, які використовуються в медичній практиці. Запропонована їх класифікація та виявлені тенденції розвитку. Досліджена перспективна структурна схема та принцип побудови високоефективного адаптивного лазерного терапевтичного апарату. Проведені цикл досліджень на живому та не живому біологічному об'єкті.

**Ключові слова:** випромінювання лазерів, лазерний терапевтичний апарат, регенерація шкіри.

### **ВСТУП**

Використання видимого діапазону лазерного випромінювання(ЛВ), все частіше використовується в медицині і набуває все більшого досконалого характеру [1]. Шкіра кожної людини і не живих об'єктів мають різні теплофізичні та оптичні властивості і реакція шкіри пацієнта на дію лазерного випромінювання може під час процедури відрізнятись, внаслідок чого, у деяких випадках, лазерне опромінювання може зашкодити пацієнту Тому лікарю необхідно чітко визначати перед початком процедури часові, спектральні та енергетичні параметри діючого випромінювання[2].

### **АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ АПАРАТІВ ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ**

При дії лазерного випромінювання на інфекційну рану відмічається позитивний вплив в протіканні відновлювального процесу, характер нейрогуморальних зсуень, інтенсивність імунологічних процесів [3].

У медицині класифікують вплив лазерного випромінювання за такими методами(рис.1):

- внутрішньоорганний (світловод знаходиться всередині порожнини досліджуваного органа),
- комбінаційний – дія декількох факторів впливу(випромінювач знаходиться в іншому осередку терапії),
- дистанційний (випромінювач знаходиться на заданій відстані від тіла),
- контактний (випромінювач контактує з шкірним покривом),
- внутрішньосудинний (світловод випромінювача розміщений у просвіті судини),
- поверхсудинний (такий випромінювач кріпиться за допомогою пристосування над кровносною судиною),
- всерединопорожнинний (такий світловод розташовується всередині природної порожнини – всерединопорожнинне опромінення спинномозкового або вентрикулярного ліквору) [4].

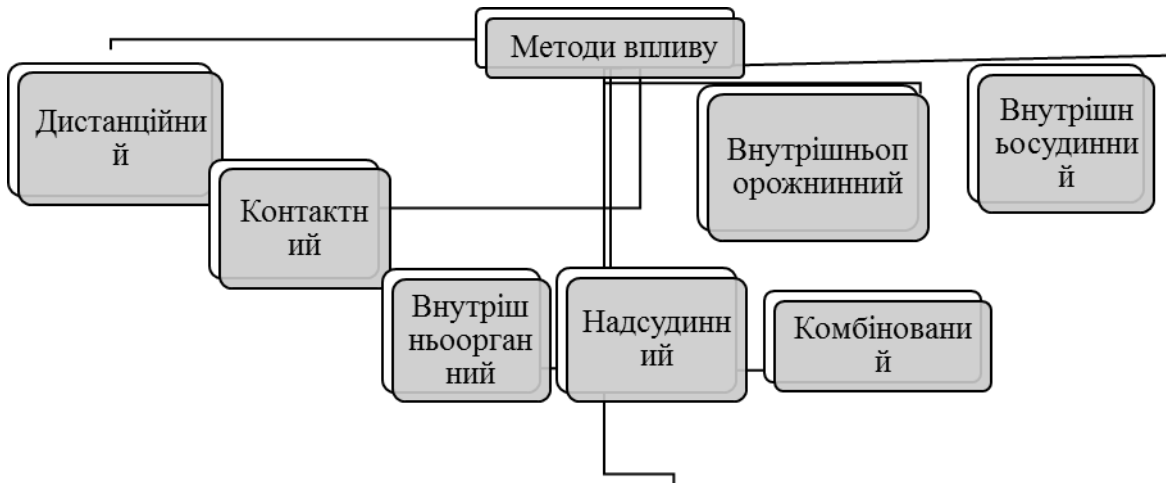


Рис.1. Класифікація методів впливу лазерним випромінювання

Можна виділити різні способи дії лазерного випромінювання

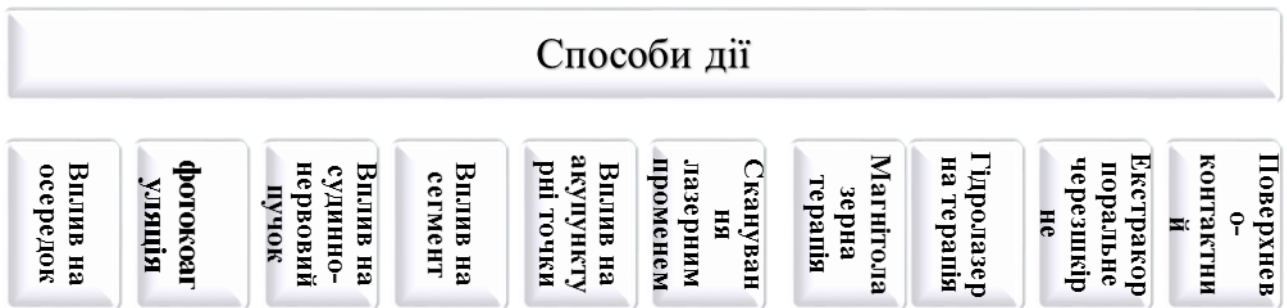


Рис. 2. Класифікація способів дії лазерного випромінювання

Нами була запропонована структурна схема комплексу лазеротерапії

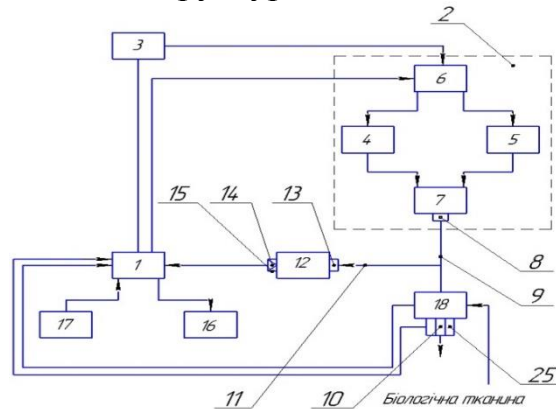


Рис.3 Структурна схема комплексу лазеротерапії

1 – мікропроцесор; 2 – оптичний блок; 3 – блок живлення; 4,5 – лазерні випромінювачі; 6 – блок буферного керування; 7 – волоконно-оптичний перетворювач; 8 – оптичний роз'єм; 9 – оптоволокно; 10 – лазерний інструмент; 11 – відвід; 12 – перетворювач; 13 – цанговий затискач; 14 – фотодіод (приймач); 15 – тримач; 16 – блок індикації; 17 – блок ручного керування; 18 – температурний сенсор; 25 – датчики визначення типу шкіри.

Адаптивний лазерний медичний апарат управляється мікропроцесором генерує лазерне випромінювання в видимому і інфрачервоному діапазонах оптичного спектру містить блоки індикації, оснащений температурними датчиками, що знаходяться та кріпляться в прикінцевій частині оптоволокна в площині поперечного перерізу з можливістю вільного кутового переміщення.

Температурні датчики вбудовані в роз'єм інструменту, який може зніматися та мінятися та під'єднані до мікропроцесором, при цьому має датчики визначення типу шкіри, розміщені на оптоволоконні і з'єднані з мікропроцесором. [4,5]

## ЕКСПЕРИМЕНТ

Проведення експериментів відбувалось в декілька етапів з неживою курячою ніжкою, курячою шкіркою, нігтем людини на лазерному терапевтичному апараті "Лица-терапевт М" в безперервному режимі випромінювання ( $\lambda=660$  нм, щільність потужності 50 мВт). Для виміру температур досліджуваних об'єктів використовувалась інфрачервону камеру «MobiRM3». Значення температура опромінюваного об'єкту визначалося до початку опромінення та по чергово кожен наступну хвилину на протязі всього періоду проведення етапів експерименту, що тривали кожні 6 хвилин. Взаємодія з лазерним випромінюванням відбувалась на довільно вибрану ділянку неживої курячої ніжки, курячої шкірки, нігтя та ділянку шкіри правої руки в зоні вказівного пальця. Інтервал від джерела випромінювання лазера до біологічного об'єкту – 1 см.



Рис.4 Ніготь

На одному із етапів експерименту об'єктом впливу є ніготь великого пальця руки. Відстань від джерела лазерного випромінювання до біологічного об'єкту – 1 см. Участь взяли 10 піддослідних, вік яких від 18 до 22 років. Стан їх здоров'я нормальний. Худощавої статури. Вага: в діапазоні 50 до 70 кг. Значення температури навколишнього середовища ( $T_{н.с.}$ ) – 18-21 °С.

## РЕЗУЛЬТАТИ

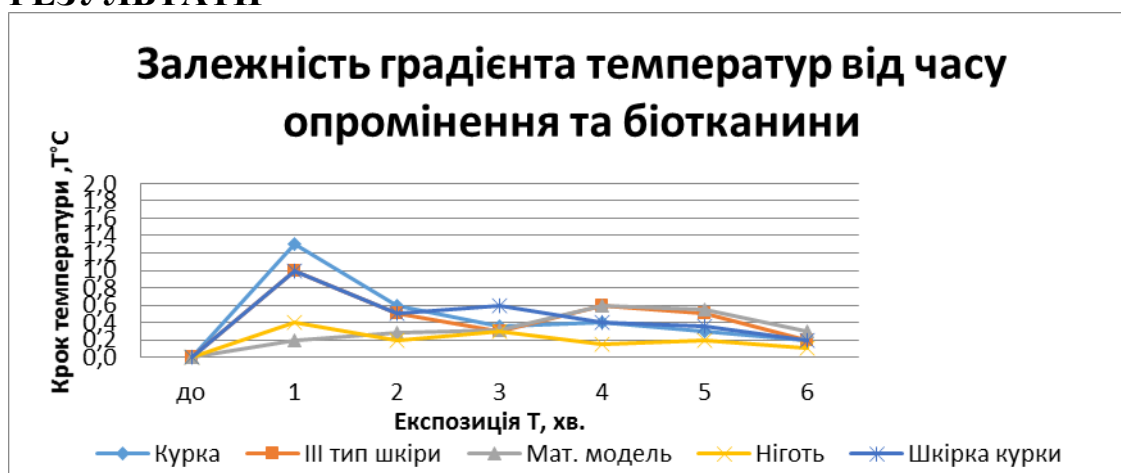


Рис. 5 Лазерне випромінювання з потужністю 10 мВт

На побудованому графіку (Рис. 5) видно різницю в підвищенні температури при дії ЛВ з нормованою потужністю 10 мВт та порівняння її з розрахунками. Суттєве зростання температури виникає на 1 та 3-5 хвилинах в шкірі людини та шкірі курки. Така закономірність відповідає математичній моделі і розрахунками для шкіри людини. Різниця у підвищенні температури обумовлена різною будовою та щільністю біологічних тканин, з якими проводився експеримент.

При розрахунках та побудові графіків враховувались, з отриманих даних, середні значення за проведеними етапами експерименту.

## **ВИСНОВОК**

Найбільш стрімким підвищення температури, під впливом лазерного випромінювання, припадає на першу хвилину дією ЛВ та на 3-5 хвилинах. Структура графіків відповідає квазіекспоненційній зміні. Перша хвилина дії лазерного випромінювання на шкіру призводить до найбільшого поглинання дози ЛВ, а після проходить перерозподіл тепла навколо точки опромінення, при цьому коефіцієнт поглинання збільшується. Таким чином по запропонованій математичній моделі визначають дозу опромінення, необхідну для максимального позитивного ефекту від дії лазерного випромінювання [6].

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. - 2014. - Вип. 47. - С. 156-162.
- [2] Тимчик Г. С. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси у біологічних тканинах / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. - 2015. - Вип. 49. - С. 153-158.
- [3] Шмендель, О. Г. Процеси змін градієнтів температур в біологічних тканинах при дії лазерного випромінювання / О. Г. Шмендель, І. А. Данилюк, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 337–340. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28142>
- [4] Шмендель, О. Г. Датчики аппаратов лазеротерапии для определения типа кожи / О. Г. Шмендель, И. А. Данылюк, Н. Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный техн. университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 274-275.
- [5] В. Ю. Рудик Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури / В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко // XI Міжнар. науково-техн. конф. "Приладобудування 2012: стан і перспективи", 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ "КПІ". – 2012. с. 193 – 194.
- [6] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. - 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>

**Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.**

**УДК 615.84**

*Дорошук. І. А., студент гр. ПБ-з82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТИМУЛЯЦІЇ І ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН**

**Анотація** Автоматизована система стимуляції і діагностики біологічних тканин (БТ) використовує способи електростимуляції БТ з дією на пацієнта різними струмами в діапазоні струму (0 - 30,0) мА, частоти (0,1 - 99,9) Гц та часу (0,1 – 9,9) мс. Така дія струмами різного виду на пацієнта та визваний ними ефект знаходиться під контролем з вимірюванням значень струму на тілі пацієнта в межах зони впливу та температури в даному місці з початку фізіотерапевтичної процедури і до її закінчення. Дана автоматизована система забезпечує максимальну ефективність біо стимуляції м'яких тканин та м'язів, з достовірним та безпечним контролем фізіотерапевтичної процедури. Процеси замірів градієнтів температури в зоні впливу відбуваються комплексно в взаємодії з спеціалізованим датчиком.

**Ключові слова :** електротерапія, стимуляції біологічних тканин, діагностика.

### **ВСТУП**

Життєдіяльність людського організму пов'язана з постійним обміном системи речовин, енергій та різноманітної інформації як у самому організмі, по типу замкнутої системи, так і між організмом та ближнім навколишнім середовищем. Такі обмінні процеси отримали назву метаболізм. Дані процеси обміну призводять до виникнення різноманітних фізичних полів в організмі людини та й в найближчому просторі навколо неї. По фізичній природі ці полів досить різні це і електромагнітні, електричні, магнітні, акустичні, теплові, різнорідний розподіл коефіцієнтів поглинання, опорів, заломлення, відбиття та інші. Відхилення процесів метаболізму від норми, так називаємо, патологія може викликати зміни значень параметрів полів та сигналів, які створює сам людський організм. Значення коливання параметрів цих полів та сигналів в станах - норми та патології визначаються за допомогою електричних вимірювальних систем, обладнань і за наявності кореляції між параметрами обмірюваних відхилень і захворюваннями це і надає можливості лікарському персоналу встановити достатньо обґрунтований діагноз – класифікувати отриманий сигнал. При такій системі діагностики та вимірювань, чим вища точність вимірів та кількість вимірюваних параметрів, тим більша вірогідність правильного встановлення діагнозу і ефективного лікування[1].

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

В сучасній фізіотерапії досить широко застосовуються системи та апаратами для електростимуляції м'язів та акупунктури, такі як «SVESA-1010», «Прогноз», «Дельта-2» (пригнічувач болі), «Біомед-010», «Куртід», «Dermaton-50600», «Ритм-2», «ЕПБ-60-01» та «Еліман-101» (апарат стимуляції м'яких тканин.). Ні в одному із цих апаратах не має діагностичного каналу оцінки стану пацієнта [2]. Такі системи, а особливо, автоматизовані системи з терапією та діагностикою вкрай необхідні для сучасної медичної практики.

Задачею розробки такої автоматизованої системи є розширення функціональних можливостей, автоматизація процесу зняття та накопичення

діагностичної інформації, зростання безпечності та ефективності використання електростимуляційних процедур [2].

В розробленій нами автоматизованій системі діагностики і стимуляції біологічних тканин використовується комплексний спосіб електростимуляції пацієнта імпульсним струмом з декількома типами імпульсів – квазі – прямокутними, трикутними та діадинамічними. Для цих імпульсів задають параметри тривалості та частоти імпульсів. Сам процес дії імпульсним струмом на пацієнта автоматизований, діагностують величину значень струму на тіла пацієнта в ділянці дії струму. При цьому контролюють параметри температури в цій же ділянці з початку процедури дії і до її закінчення. Значення частот міняють від 1 до 100 Гц., а інтервал імпульсів від 0,1мс до 10 мс., при цьому проходять вимірювання градієнтів температури виконують за допомогою спеціального датчика контактуючи з поверхнею тіла [3].

В спроектованій автоматизованій системі та методі електро терапії, спочатку вимірюють, знаходять відхилення від нормального функціонального стану, при цьому діагностуючи первинний функціонального стану пацієнта до початку самої процедури фізіотерапевтичного впливу, а вже потім впливають різними заданими імпульсними струмами відповідної терапевтичної процедури, та знову ж заміряють значення параметрів дійсного функціонального стану пацієнта, при цьому порівнюють ці стани, а тільки потім формують оброблений, необхідний корегуючий сигнал для стимуляції біологічних тканин людини. Це процес дає можливість практично відновити нормальний фізіологічний стан організму пацієнта [4].

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Параметри електричного струму, що впливає на пацієнта контролюють і заміряють за допомогою осцилографа та виводять на індикатор.



Рис. 1 Графік залежності значень амплітуди від частоти.

На рис.1 приведено графік залежності значення амплітуди від частоти струму. Запропонована автоматизована система стимуляції біологічних тканин людини реалізує спосіб з різноімпульсною електростимуляцією та здійснюють наступним чином. Індиферентний електрод ІЕ та активний електрод АЕ установлюють в заданій ділянці кінцівки чи на тілі пацієнта. З системи електростимуляції формують різнополярні електричних імпульсів з заданими

параметрами і через електроди АЕ і ІЕ пропускають струм, що змінюється по вибраному закону та формі з нормованими параметрами.



Рис. 2 Графік залежності значень опору від частоти

На рис.2 ілюструється графік залежності значень опору від частоти, а на рис.3 графік залежності значень напруги від частоти. Дана автоматизована система управляється комп'ютером К під'єднаним через адаптер АД, і зв'язаний з рідкокристалічним дисплеєм РКД та мікроконтролером МК, мікроконтролер під'єднаний до приладу реєстрації значень вимірюваного параметра ПРВП та адаптеру, а два активні і один індиферентний електроди, прилад для реєстрації вимірюваного параметра, під'єднаний до активних електродів та блоку, що відповідає за стабілізацію рівня тестуючого сигналу СРТС. Всі електроди з'єднані з блоком, що стабілізує рівень тестового сигналу. Датчики температури ДТ з'єднані з приладом реєстрації значень вимірювального параметру. Кероване джерело струму КДС підключається через адаптер до компютераю [5].

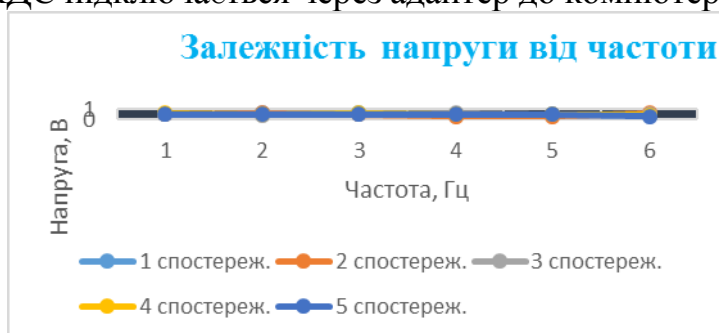


Рис. 3. Графік залежності значень напруги від частоти

При проведенні фізіотерапевтичної процедури нормовані значення електричних сигналів необхідної форми впливають на задану зону тіла пацієнта. За допомогою осцилографом контролюють та заміряються параметри струму, що протікає по біологічній тканині і індуються на табло РКД. На ділянці дії струму в біологічній тканині вбудованими датчиків ДТ фіксується температура з моменту початку процедури до її закінчення та її поверхневі та часові градієнти [6].

Ефективність лікування покращується у відповідності з наданими параметрами, а саме параметрами різноімпульсного струму, що відповідають розрахунковим значенням, до початку лікувальної процедури та значенням протоколу лікування. Стабільного ефекту можна досягти при зростанні частоти до 99,9 Гц [7]. Виміряні параметри температури тіла її поверхневого та часового градієнтів виводяться на індуктор і відповідають протоколу процедури.



## ВИСНОВКИ

Розроблена автоматизована системи стимуляції та діагностики біологічних тканин нормованими параметрами струму та з контролем температури по новітньому алгоритмом комплексної діагностики значень опору шкіри та значення температури в момент зняття активного опору та створення корегуючого сигналу для стимуляції біотканин людини. Такий алглритм дозволив підвищити точність діагностики та суттєво розширити функціональні можливості електротерапії за рахунок автоматизованого поєднання діагностики відхилень від значень нормального функціонального стану організму, та направленої електростимуляції з виваженим корегування значень електричного поля зони дослідження [10,11].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019, - 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 – <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [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] 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.
- [4] В.Ю.Рудик Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури / В. Ю. Рудик, М. Ф.Терещенко // XI Міжнар. науково-техн. конф. “Приладобудування 2012: стан і перспективи”, 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. с. 193 – 194.
- [5] 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. М-лы 9–й Межд. Научно-техн. конф. молодых учёных и студентов в 2 т., 20–22 апр. 2016 г., Минск, БНТУ. – 2016. – Том 1. – с.135.
- [6] Дорошук, І. А. Система стимуляції біологічних тканин з діагностикою / І. А. Дорошук, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 305–308. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28132>
- [7] Дорошук, І. А. Аппарат диагностики и электростимуляции биологических тканей / И. А. Дорошук, Н. Ф. Терещенко, В. В. Шевченко // Новые направления развития приборостроения : Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 114-115.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко.*

УДК 617.58-77

*І.П. Комісарова, студент гр. ПБ-з82мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ У ПРОТЕЗОВАНОМУ КОЛІННОМУ СУГЛОБІ

**Анотація.** У даній статті наведені та порівняні результати аналізу розподілів навантажень та деформацій у протезованому та не протезованому колінному суглобі у середовищі ANSYS. Ці данні отримані на основі змодельованих систем у програмному середовищі SolidWorks за допомогою реальних КТ-знімків пацієнта. Визначено основні біомеханічні параметри для матеріалів протезу. Підведено підсумок аналізу та визначено найслабший елемент у конструкції протезу.

**Ключові слова:** колінний суглоб, протез, розподіл навантажень, аналіз.

### ВСТУП

З кожним роком кількість операцій на колінному суглобі з метою протезування зростає. Але з кількістю операцій зростає і кількість ускладнень, що виникають в ході їх проведення, таких як: нестабільність протеза у кістці, супутній біль, поява алергії на матеріал ендопротеза і власне проблеми зносостійкості протезної конструкції.

Звідси і з'являється інтерес до даної проблематики. У медицині зараз докладають зусиль до пошуку оптимальної конфігурації колінного ендопротеза (біологічно наближеного до реальності), до вдосконалення матеріальної основи імплантату (поліпшення зносостійкості, пошук гіпоалергенних матеріалів і забезпечення максимальної стабільності в організмі), а також до пошуку найоптимальнішої позиції протеза безпосередньо у колінному суглобі, оскільки більшість причин ревізіонних операцій складає недостатня стабільність [1].

Тому метою даної роботи є визначення напружень, які виникають у протезованому колінному суглобі.

### МОДЕЛЮВАННЯ КОЛІННОГО СУГЛОБУ З ЕНДОПРОТЕЗОМ

Програмним забезпеченням для моделювання складної та багатоелементної моделі колінного суглобу було обрано САПР-систему SolidWorks. Основною причиною даного вибору була направленість програми на роботу з великою кількістю деталей неправильної форми. В даному випадку необхідно було працювати з моделями, що налічують від 5 до 14 елементів складної, вигнутої форми (рис. 1).

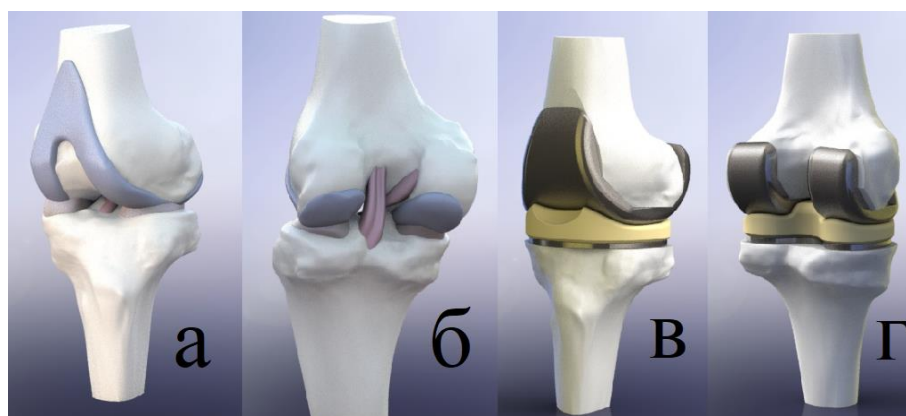


Рисунок 1. Моделі звичайного колінного суглоба (а, б) та протезованого (в, г)

## БІОМЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ МОДЕЛІ

Для проведення аналізу навантажень у моделях колінного суглобу необхідно задати біомеханічні параметри матеріалів, з яких складається біологічний колінний суглоб та ендопротез.

Механічні властивості біоматеріалів найкраще можна описати за допомогою їх густини, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона (табл. 1).

Значення для кісткових тканин обирались за середньостатистичними даними [2, 3].

Матеріали для колінного протезу були обрані на основі дослідження [4], що визначило найоптимальнішу конфігурацію матеріалів у даному ендопротезі, а саме: феморальний компонент –  $\text{CoCr}_{28}\text{Mo}_6$ , тибіальний –  $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$  і проставка – НВМПЕ (надвисокомолекулярний поліетилен) (табл.1). Колінний протез навантажується механічними силами, а його матеріали додатково піддаються впливу численних хімічних речовин усередині людського тіла. Згадане поєднання матеріалів задовольняє механічним, біологічним і фізичним умовам їх передбачуваного використання.

Механічні властивості біоматеріалів найкраще можна описати за допомогою їх модуля пружності і коефіцієнта Пуассона (табл. 1).

Таблиця 1. Біомеханічні властивості матеріалів [2-6]

Матеріал	Властивість		
	Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	Модуль Юнга, ГПа	Коефіцієнт Пуассона
$\text{CoCr}_{28}\text{Mo}_6$	7900	230	0,29
$\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$	4430	110	0,24
НВМПЕ	940	0,8	0,29
Стегнова кістка	127,15	17,6	0,3
Великогомілкова кістка	118,64	18,4	0,3
Меніск	1100	0,112	0,45
Зв'язки	1400	0,4	0,45

## АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ У ПРОТЕЗОВАНОМУ КОЛІННОМУ СУГЛОБІ

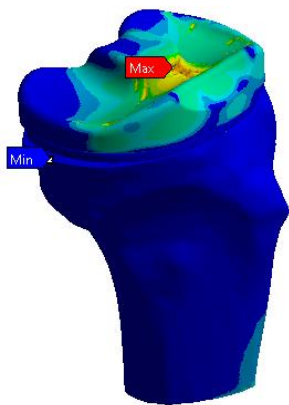


Рисунок 2. Розподіл еквівалентної пружної деформації у протезованому суглобі

Для аналізу було використане програмне забезпечення Ansys, де накладено сили і підраховано навантаження та напруження, що виникають у колінному суглобі. Особливість цього ПЗ – можливість створення великої кількості кінцевих елементів (від цього залежить точність аналізу моделі).

Основними параметрами для підрахунку необхідних даних стали: загальна деформація, еквівалентна пружна деформація та еквівалентне напруження (рис. 2). Порівняння проаналізований величин та їх локалізації для

двох моделей (с протезом та без нього) вказані у таблиці 2.

Таблиця 2. Значення аналітичних параметрів моделей

Модель	Пар-и	Загальна деформація, мм		Еквівалентна пружна деформація, мм/мм		Еквівалентне напруження, МПа	
		max	min	max	min	max	min
Звичайний колінний суглоб	Значення	0,4	0	0,05	$2,4 \times 10^{-6}$	6,6	0
	Локація	Медіальний меніск	-	Латеральний меніск	-	Внутр. сторона медіального меніска	-
Протезований колінний суглоб	Значення	0,1	0	0,016	$1,43 \times 10^{-9}$	9,14	0
	Локація	Рівномірне розподілення	-	Середина проставки	-	Середина проставки	-

## ВИСНОВКИ

Порівнюючи дані отримані після аналізу двох моделей колінного суглоба, можна підвести підсумок, що загалом протез не погіршує стабільність нижньої кінцівки. Значення показників є навіть дещо кращими за звичайний суглоб, окрім значень еквівалентного напруження. Тобто, можна вважати на даному етапі розвитку колінного ендопротезування найслабшим компонентом проставку, адже вона зазнає найбільших змін та пошкоджень під час використання. Пропонується здійснити удосконалення властивостей НВМПЕ, адже цей матеріал вважається досить новим у медичній сфері.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Jing, X. Обзор статей с данными по выживаемости компонентов системы Vanguard за 5-летний период / X. Jing // 17-й обучающий курс SICOT. – 2011. – С. 2–17.
- [2] Zumbun, K. (2009). Archive for rational mechanics and analysis. *Engineering mechanics*, 5, 16.
- [3] Григорьева Н. В. Показатели минеральной плотности костной ткани у женщин в зависимости от наличия и стадии остеоартроза коленного / Н. В. Григорьева, С. П. Крочак. – М.: НМТУ, 2015. – 112 с.
- [4] Анализ напряженно-деформированного состояния проектируемых конструкций эндопротезов коленного сустава / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцовский // Системы Методы Технологии, 2 окт. 2017 р. – Н.: НГТУ, 2017. – С. 93-102.
- [5] Saurabh, S. Biomechanical Analysis of Different Knee Prosthesis Biomaterials Using Fem / Saurabh, S., Amit Y., Rawal B.R. // *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. – 2014. – Vol. 4. – P. 120–128.
- [6] Campioni, I. Hip prostheses computational modeling: Mechanical behavior of a femoral stem associated with different constraint materials and configurations / Campioni, I., Andreaus U., Ventura A. // *Computational Modelling of Objects Represented in Images*. – 2012. – Vol. 3. – P. 277–281.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Безугла Н.В.

УДК 615.847.8

В.В. Копицик, студентка гр. ПБ-82мп, М.Ф. Терещенко к.т.н., доцент  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ В БІОСЕРЕДОВИЩІ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН

**Анотація.** отримані результати експериментальних досліджень з оцінки впливу ультразвукових коливань методом надшкірного трансдермального введення лікарських препаратів. Не інвазивні методи безболісного введення лікарських препаратів, на сьогоднішній день, є прогресивним напрямком розвитку анестезії в наукових пошуках, ефективного методу адресної доставки лікарських препаратів в біосередовище. Поряд з розробкою недефективних лікарських препаратів(ЛП) актуальні питання їх цільової доставки безпосередньо в осередок патології.

**Ключові слова:** ультрафонофорез, трансдермальний метод, адресні трансдермальні терапевтичні системи.

### ВСТУП

Ефективний результат терапії забезпечується не лише шляхом правильно підбору лікарських препаратів, а також, у виборі методу введення, що повинен мінімізувати шкідливий вплив та бути найбільш ефективним в порівнянні з іншими.

На сьогодні ми маємо велику базу недефективних лікарських препаратів, але досі відкрите питання цільової доставки даних ЛП в місце патології та пролонгація дії препарату.

Шкіра людини – це легкодоступна поверхня для ведення лікарських препаратів, що має складну морфологічну структуру та несе в собі важливий функціонал для організму людини, саме тому трансдермальний шлях викликає великий інтерес, як ефективний метод введення лікарських препаратів, що володіє рядом переваг: безболісний, не інвазивний метод, що має зворотній характер змін та не викликає подразнення.

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Трансдермальний метод забезпечує введення лікарських препаратів природнім шляхом без втручання технічних засобів та порушення цілісності організму [1].

Лікувально-фізіотерапевтичний вплив ультразвукових коливань на шкіру людини викликає зміну фізико-хімічних властивостей шкіри[2].

Відомо, що в основі фізіологічного впливу ультразвуку лежить: тепловий процес, механічний та фізико-хімічний. Підвищення проникнення шкіри пов'язано з комбінацією вище згаданих процесів[3].

Лікарські речовини можуть проникати, як через роговий шар, так і через відкриті протоки сальних та потових залоз.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Трансдермальні терапевтичні системи – це поєднання властивостей фізичних явищ (ультразвук, радіочастоти, оптичні параметри та ін.) з властивостями лікарських речовин[4].

Під дією ультразвуку спостерігається ряд позитивних змін, таких, як підвищення функціональності потових та сальних залоз, зміна значень рН

шкіри, підвищення інтенсивності обмінних процесів речовин та енергій, зміна окисно-відновлюваних процесів, стимуляція процесів тканинного дихання і фізіологічної регенерації, і як наслідок, підвищення проникнення шкіри.

Так ультрафонофорез – це метод фізіотерапії, що включає в себе використання ультразвукових коливань для доставки лікарського препарату в біологічне середовище.

Підґрунтям для використання даного методу є властивість ультразвуку розрихляти роговий шар шкіри, тим самим стимулюючи більш інтенсивне розкриття пор та підвищення трансфолікулярної доставки ліків[5].

Для оптимізації процесу ультрафонофорезу потрібно спиратися на вимоги ефективності та безпеки для пацієнта і враховувати такі параметри, як частота, інтенсивність ультразвуку, тип контактного середовища та час дії.

Зміна значення параметрів проникності визначається за формулою Фіка [6]:

$$J_s = K_p \Delta C_s, \quad (1)$$

де,  $K_p$  – константа проникності,  $J_s$  – величина потоку надходження речовини,  $\Delta C_s$  – різниця концентрації по різні боки мембрани.

Дана робота націлена на дослідження закономірностей зміни значень глибини проникнення лікарських речовин в біологічну тканину в залежності від параметрів ультразвукових коливань при трансдермальному нашкірному введенні. Одним із шляхів проникнення фармацевтичних препаратів в біосередовище є дифузійні потоки.

Так швидкість дифузійного потоку описується рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = -D \cdot s \cdot T \cdot \lim_{t \rightarrow 0} \frac{C_1 - C_2}{L}, \quad (2)$$

де,  $D$  - коефіцієнт дифузії,  $T$ - температура біосередовища,  $\frac{dm}{dt}$  - швидкість дифузії,  $s$  - площа мембрани,  $C_1$  і  $C_2$  значення концентрацій речовин по різні боки мембрани,  $L$  - товщина мембрани.

Товщина мембрани  $L$  пропорційна сталій часу  $\delta(\tau)$  відновлення товщини мембрани  $L \approx \delta(\tau)$  [7]:

$$\delta(\tau) = -\frac{\tau}{t} \cdot \ln(1 - \exp(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}})) \quad (3)$$

де  $\tau$  – стала часу відновлення мембрани,  $t$  – значення часу дифузії в мембрані (величина пропорціональна часу дії ультразвуку),  $\delta(\tau)$ - залежність, від сталої часу відновлення мембрани та товщини мембрани,  $E \approx I$ - потенціал дифузії відповідає енергії еквівалентної дії інтенсивності ультразвуку,  $F$  – стала Фарадея,  $R$  – універсальна газова стала,  $T(\tau)$  – температура,  $u_{Na}$  і  $u_k$  – значення потенціалів концентрації іонів натрію і калію.

Підставляючи формулу (3) в рівняння (2) знаходимо залежність швидкості проникнення дифузійного потоку ЛП в біологічну тканину:

$$\frac{dm}{dt} = D \cdot s \cdot T \cdot \lim_{t \rightarrow 0} \frac{(C_1 - C_2) \cdot t}{\tau \cdot \ln(1 - \exp(\frac{-I \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}))} \quad (4)$$

Таким чином отримали математичну модель проникнення лікарської

речовини в біологічну тканину від інтенсивності ультразвуку I.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Генератором ультразвукових коливань при проведенні експерименту використовували комбінований фізіотерапевтичний апарат МИТ-11 та апарат ультразвукової терапії УЗТ 1.01 Ф. Ці апарати використовують у фізіотерапії для проведення процедури ультрафонофорезу.

Для проведення досліджень в якості біологічного зразку використовувалася жирова тканина свині та м'ясо птиці (курка).

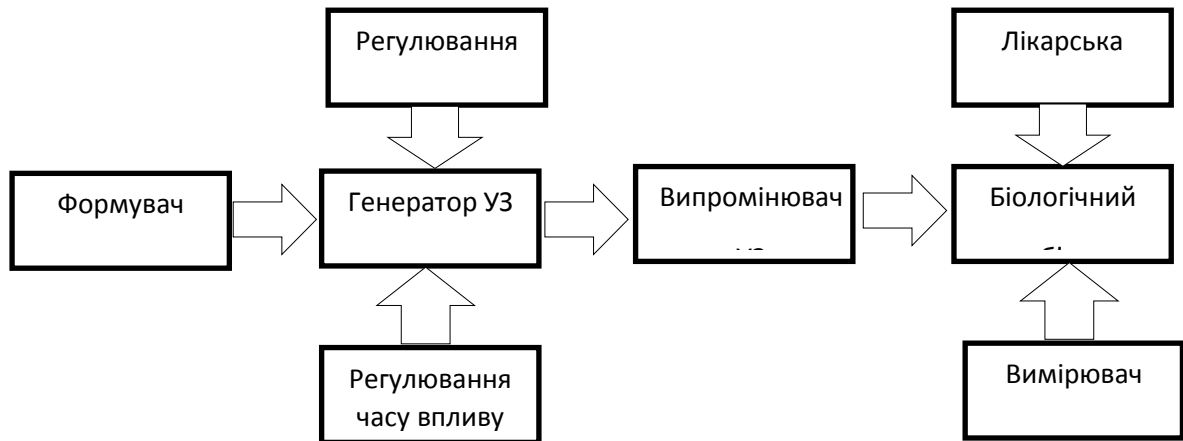


Рисунок 1. Структурна схема експерименту

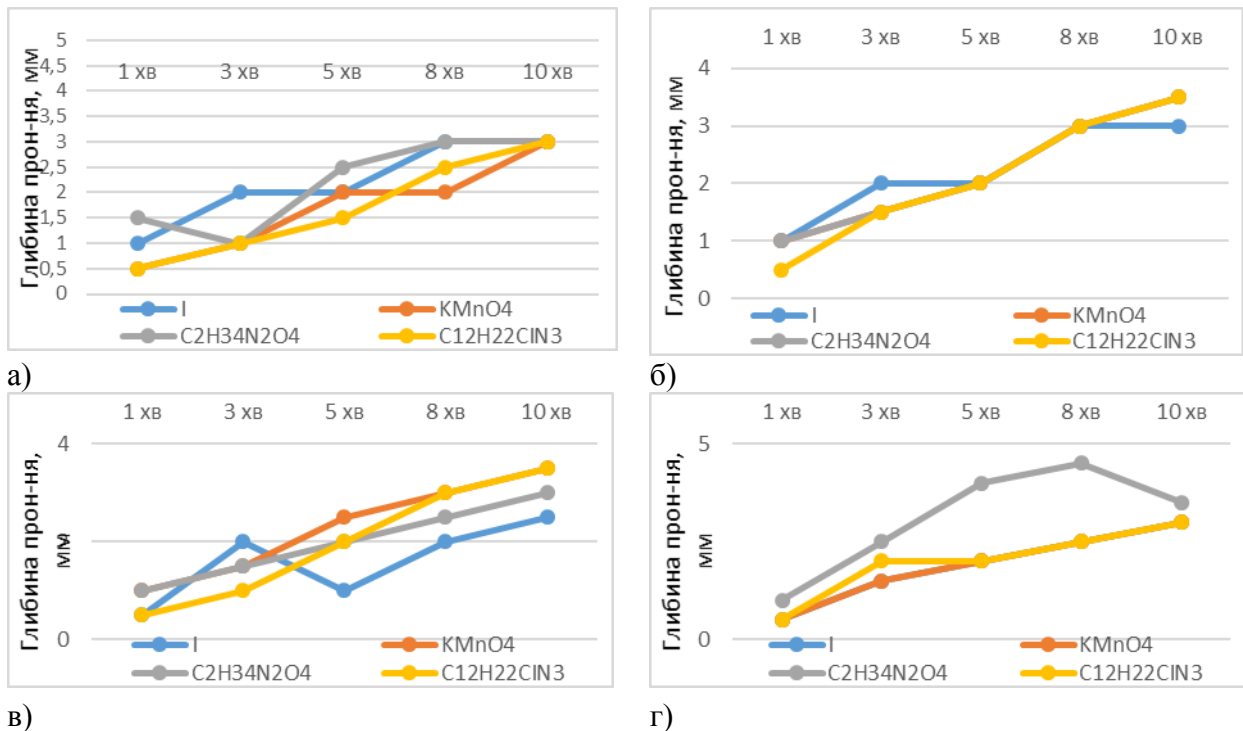


Рисунок 2. Значення глибини проникнення ЛР в залежності від часу впливу на частоті: а) 1,2 Гц; б) 9,4 Гц в) 37 Гц; г) 77 Гц

Змінюючи параметри ультразвукових коливань та час впливу проникнення для різних розчинів змінюється по-різному, це пов'язано з розмірами молекули



та фізико-хімічними властивостями препарату. Після проходження поверхневого шару шкіри, препарати проникають та насичують жирову тканину, що дозволяє без проблем проникати в кровоносну систему людини.

## ВИСНОВКИ

Данні отриманні в результаті експериментальних досліджень дозволять прогнозувати результат та контролювати процес введення лікарських препаратів.

В основі досліджень розроблено методики нашкірного введення препаратів що дозволило збільшити ефективність дії та отримання необхідної концентрації препарату в локальній зоні впливу, при цьому мінімізувати шкідливий вплив на організм людини.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф. Тимчик Г. С., Чухраєв М.В. Кравченко АЮ. - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. -184 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>
- [2] Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури // XI Міжнар. науково-техн. конф. “Приладобудування 2012: стан і перспективи”, 24—25 квітня 2012 р. — К.: НТУУ “КПІ”, 2012. — С. 193—194.
- [3] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1 // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136.
- [4] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Принципи побудови сучасних ультразвукових терапевтичних апаратів // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 40. — С. 137—145.
- [5] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0. Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [6] Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань /В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко 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.
- [7] Копищик, В. В. Влияние ультразвуковых колебаний на функциональное состояние кожи / В. В. Копищик, Н. Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения: Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17–19 апреля 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 5-6. . [0]

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*



**УДК 616-71:616-003**

*К.В. Корнієнко, студентка гр. ПБ-п72*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РАДІОТЕРМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД ДІАГНОСТИКИ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ**

**Анотація:** В цій роботі проведено аналіз основних методів діагностики онкологічних захворювань та ранньої діагностики раку молочної залози. Здійснено статистичний аналіз проблеми виникнення захворювання молочної залози серед жінок різного віку. Визначено загальні принципи та протипоказання до застосування фізичних, гістологічних і теплових методів дослідження злоякісних пухлин. Розглянуто основні засади та особливості використання радіотермографії, як методу для багаторазової діагностики раку молочної залози на ранніх стадіях розвитку.

**Ключові слова:** радіотермографія, онкологічні захворювання, рак молочної залози.

### **ВСТУП**

Станом на сьогодні, проблема виникнення раку молочної залози серед жінок молодшої (до 40 років), та старшої вікової категорії (від 50 років) продовжує зростати як на теренах України, так і в більшості розвинених країн світу. Згідно з інформацією, наведеної у джерелах [1-3], щороку у світі реєструють більш як п'яти тисяч нових випадків захворювання на рак молочної залози, що становить понад 25% від усіх ракових захворювань серед жінок. При цьому, згідно зі статистикою наведеної у дослідженні [2], щорічний рівень смертності від раку молочної залози (РМЗ) складає близько 1500 осіб, а близько 30000 проходили лікування від цієї хвороби.

В Україні, РМЗ разом із серцево-судинними захворюваннями є однією із найбільш розповсюджених проблем і займає близько 20% від всіх онкологічних захворювань серед жіночого населення віком від 50 років [3]. При цьому, в Україні піковий вік, для якого є характерним виникнення РМЗ, складає від 60 до 70 років [1]. Розглянемо основні методи діагностики раку молочної залози.

### **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ**

Серед основних методів діагностики онкологічних захворювань та РМЗ можна виділити три умовні групи, показані на рис. 1:

- Фізичні методи;
- Гістологічні методи;
- Теплові методи.

Фізичні методи дослідження (ФМД) ефективні при діагностиці уже сформованих пухлин, з чіткими межами. Середній розмір пухлини, який може діагностуватись за допомогою ФМД складає від 1-го до 2-х сантиметрів, та відповідає розміру пухлини, що може створювати додаткові метастази. Особливістю такого виду діагностики також є те, що променеве навантаження не дозволяє проводити систематичні дослідження фізичними методами частіше, ніж раз на півроку [1].

Гістологічні методи дослідження онкологічних захворювань є одними із найбільш перевірених, однак вони можуть бути застосовані лише інтраопераційно, або постопераційному хірургічному лікуванні для обмеженого переліку внутрішніх органів людини [4].



Рисунок 1. Загальна класифікація основних методів діагностики онкологічних захворювань

Теплові методи діагностики, у свою чергу, базуються на вимірюванні температурних змін чи аномалій в осередку дослідження тканин організму та забезпечують досить високу інформативність результатів вимірювання, при нешкідливості проведення досліджень. Зокрема, метод інфрачервоної (ІЧ) термометрії та радіотермометрії, заснований на діагностиці патологічних процесів, що супроводжуються зміною температури тканин, яка може бути викликана як із запальними процесами, так і злюкисним переродженням структури [1]. При цьому, злюкисні пухлини (ЗП) на термограмах проявляються у вигляді гіпертермії (тобто характеризуються підвищенням температури поверхні, внаслідок метаболічних процесів і посилення кровотоку в тканинах ЗП) [5].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У роботі було проведено статистичний аналіз та розглянуто основні методи діагностики онкологічних захворювань та раку молочної залози зокрема. При цьому, було визначено основні категорії існуючих методів діагностики РМЗ, та коротко схарактеризовано особливості практичного застосування кожної з категорій. Одним із найбільш ефективних методів діагностики РМЗ, що може бути використаний для подальших досліджень і обробки термографічних зображень методами машинного навчання [6, 7] є метод радіотермографії (РТМ). РТМ-діагностика дозволяє проводити термографічний аналіз захворювання внутрішніх органів та виявляти пацієнтів з підвищеною проліферацією епітелію, що дає змогу визначити захворювання РМЗ на ранніх стадіях, шляхом діагностики зміни температури

тканин, що передує структурним основним змінам. Метод РТМ є неінвазивним та на відміну від рентгенографічних методів, не викликає впливу іонізуючого випромінювання [5].

У порівнянні з інфрачервоною (ІЧ) термографією, що дає інформацію про температуру шкіряного покриву, метод радіотермографії дозволяє проводити діагностику температури тканин на глибині декількох сантиметрів та проводити багаторазові обстеження для спостереження за динамікою захворювання, з мінімальним шкідливим впливом на організм [1, 5].

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Постевка, І. Д. «Сучасний стан проблеми скринінгу раку молочної залози (огляд літератури).» Буковинський медичний вісник 20.2 (78) (2016).
- [2] Давидов М.И. Статистика злокачественных новообразований в России и странах ЮНГ в 2009 г. / М.И. Давидов, Е.М. Аксель // Вестн. РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН. – 2011. – Т. 22, № 3 (85). – 172 с
- [3] Рак в Україні, 2010-2011. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби / З.П. Федоренко, А.В. Гайсенко, Л.О. Гулак [та ін.]; гол. ред. І.Б. Щепотін // Бюл. Нац. канцерреєстру України. – 2012. – № 13. – 117 с.
- [4] Siegel R. Cancerstatistics, 2012 / R. Siegel, D. Naishadham, A. Jemal // CA Cancer J. Clin. – 2012. – Vol. 62, № 1. – P. 10-29.
- [5] Гончарук Н.Д. «Диагностика онкологических заболеваний по температурным аномалиям тепловизионного изображения и микроволновой спектроскопии» патент на корисну модель УДК А61В5/05, А61В5/04, А61В5/00, А61В5/02, G06F19/00.
- [6] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. *Naukovi Visti NTUU KPI*, (1), 45-53.
- [7] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62(1), 23-33.

***Наук. керівник – асистент, Вонсевич К.П.***

УДК 615.847.8

*Малий О.А., Лесніков А.Г. студенти гр. ПБ-392мп, М.Ф. Терещенко к.т.н.,  
доцент, Яковенко І. О., асистент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПАРАМЕТРИ ГЛИБИНИ ПРОНИКНЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ**

**Анотація** Встановлена закономірність впливу змінного магнітного поля на параметри глибини проникнення фармацевтичних препаратів в біологічну тканину під. Отримана залежність дозволяє контролювати та визначати параметри часу доставки лікарського засобу при проходженні шарів біологічної тканини. Ступінь проникності шкіряного покриву людини має суттєвий інтерес для фізіотерапії та фармакології, так як на ній базується терапевтичний ефект конкретних фізичних методів лікування. Ціль проведеного дослідження слідує з сучасного етапу розвитку методикою введення неінвазивно лікарських препаратів (ЛП).

**Ключові слова:** змінне магнітне поле, лікарські засоби, трансдермальна доставка.

### **ВСТУП**

Дія магнітне поле впливає на життєдіяльність організму людини. Змінюються параметри кровообігу, змінюється параметри швидкості біофізичних та біохімічних процесів, розширюються діаметри судини та капілярів. Магнітотерапія використовується для лікування широкого спектру захворювань людей будь-якого віку і практично не має протипоказань[1].

Магнітотерапія міцно увійшла в клінічну практику і заснована на використанні магнітних полів в широкому діапазоні зміни параметрів з різних джерел, і використовується в лікуванні великого спектру захворювань. Використання дії магнітних полів в співдружності з традиційною терапією сприяє досягненню основних цілей: росту ефективності лікування та обмеження побічної дії лікарських речовин[2].

На сьогоднішній день магнітні поля всебічно використовуються для стимуляції зростання проникності шарів шкіри та її клітинних мембран для лікарських препаратів, транспортування лікарських засобів в органи, біологічні тканини (БТ) та системи людини [3].

Щільне місце серед методів магнітотерапії займає магнітофорез лікарських речовин, в сутності якого лежить симбіоз фармацевтичних препаратів (ФП) з магнітними полями різних видів[4]. І в сьогоднішній недостатньо досліджений магнітофорез, тому задачі з встановлення оптимальних параметрів магнітного поля, при яких проникність максимальна для конкретних типів лікарських речовин в шкіру, жирові та м'язові волокна досить актуальні.

### **ПОСТАНОВКА ЦІЛІ**

Основною ціллю даної роботи є дослідження та встановлення параметрів глибини проникнення ЛП в біологічні тканини під дією різнопараметрового змінного магнітного поля. Встановлення закономірності дозволяє прогнозувати та контролювати час введення лікарського засобу в різні шари БТ, його можливий час проникнення в задані шари біологічної тканини. Така закономірність разом із методикою її оцінки дозволить прогнозувати та створювати високі концентрації конкретного лікарського препарату в заданій локальній зоні і є найбільш раціональною, з умов необхідності депонувати

задану кількість препарату з ціллю пролонгованої їх дії, в стадіях хронічних запальовальних процесів, болях в м'язах, кістках, хребті або суглобах кінцівок. Такий принцип введення ліків зменшить рівень шкідливої дії на організм людини. Такі можливості обумовлюють найбільш оптимальні умови для регулярного і довготривалого особистого застосування призначеного лікарського засобу пацієнту.

Така ціль слідує з напрямів розвитку неінвазивного методу введення фармацевтичних препаратів, поскільки такий метод поставки лікарських препаратів є найбільш безпечнішими та ефективнішими в порівнянні з інвазивними ін'єкціями в біологічні тканини.

В експерименті досліджувались параметри та властивості речовин проникати в біологічну тканину на задану глибину. В загальному випадку процес проникнення речовин через шкіру в м'язові волокна, відбувається за законом Фіка [5]:

$$J_s = K_{pi} \cdot \Delta C_s, \quad (1)$$

де  $J_s$  – потоку надходження речовини;  $\Delta C_s$  – різниця концентрації по обидва боки мембрани  $K_{pi}$  – значення константи проникності для конкретного шару БТ;.

В дослідженнях R. Tregear узагальнивши дані встановив, що в переважній більшості процес всмоктування речовини через шкіру базується на положеннях закону Фіка і може бути записаний узагальненим рівнянням [6]:

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_{mi}}{\delta} \cdot \Delta C_s, \quad (2)$$

де  $J_s$  – потік приходу речовини (притік);  $K_m$  – коефіцієнта розподілу речовини між розчинником і мембраною;  $D_{mi}$  – значення константи дифузії для розчиненої речовини в конкретному мембранному шарі;  $\delta$  – значення товщини мембрани,  $\Delta C_s$  – різниця концентрації по протилежним сторонам мембрани.

В параметрі товщини мембрани враховується сукупності параметрів [7]:

$$\delta(\tau) = -\frac{\tau}{t} \cdot \ln(1 - \exp(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}})) \quad (3)$$

де  $\delta(\tau)$  – залежність, від сталої часу відновлення мембрани, товщини мембрани,  $t$  – значення часу дифузії в мембрані (пропорціональна часу дії магнітного поля),  $\tau$  – стала часу відновлення мембрани,  $E \approx \Phi$  – потенціал дифузії для енергії еквівалентної дії магнітного поля,  $R$  – універсальна газова стала,  $F$  – стала Фарадея,  $u_{Na}$  і  $u_k$  – значення потенціалів концентрації іонів натрію і калію,  $T(\tau)$  – температура.

Підставивши рівняння (3) в формулу (2) отримаємо вихідну математичну модель залежності проникнення потоку лікарського препарату в біотканину під дією енергії  $E \approx \Phi$  магнітного поля

$$J_s = \frac{K_m \cdot D_m}{-\frac{\tau}{t} \cdot \ln(1 - \exp(\frac{-\Phi \cdot F}{R \cdot (T(\tau))} \cdot \frac{u_k + u_{Na}}{u_k - u_{Na}}))} \cdot \Delta C_s \quad (4)$$

Таким чином проведемо практичне дослідження отриманої закономірності (4).

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Поставлена ціль вирішувалась експериментальним шляхом з встановленням залежності параметрів як швидкості, так і глибини проникнення лікарського препарату в біологічну тканину під дією магнітного поля зі змінними характеристиками. Дія змінного магнітного поля проводили за допомогою фізіотерапевтичного апарату «МІТ-11» [7]. Для обґрунтування практичної ефективності впливу змінюючого магнітного поля була виконана серія експериментів з системою замірів на поверхні та глибині біологічної тканини, з ціллю оцінки проникнення неоднорідних фармацевтичних препаратів різного кольору, структурно-молекулярного стану, розміру – це розчини перманганату калію ( $KMnO_4$ ), йоду (I), брильянтовий зелений ( $C_{27}H_{34}N_2O_4S$ ), на експериментальному стенді, схема структурна якого приведена на рис.1.

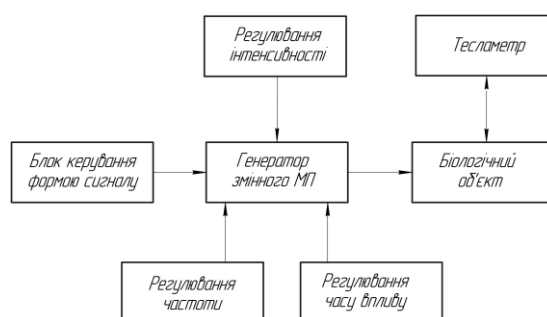


Рис.1. Структура експериментального стенду

## ЕКСПЕРИМЕНТ

На біологічну тканину (сало) наносимо лікарський препарат і впливаємо магнітним полем змінних біполярних імпульсів амплітудою по індукції від 1,0 мТл до 100 мТл та частотою (1-100,0) Гц. Магнітна індукція поля в зоні введення фармацевтичного препарату буде [5,6]:

$$B(t) = k_B \cdot I(t) + B_3 \quad (5)$$

де  $k_B$  – постійна по магнітній індукції індуктора,  $I(t)$  – значення імпульсного струму,  $B_3$  – значення магнітного поля навколишнього середовища (магнітне поле Землі).

Характер процесу дії магнітного поля на біологічну тканину контролюють шляхом заміру тесламетром значень магнітної індукції на в зоні знаходження ФП, а глибину проникнення заміряємо цифровим штангельциркулем з початку процедури впливу і її закінчення.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При обробці даних експерименту була проведена оцінка дії змінного магнітного поля на ефективність глибини проникнення фармацевтичних препаратів протягом короткого інтервалу часу. По результатам можна зробити наступні висновки:

1. При зростанні інтервалу часу дії змінним магнітним полем – зростає глибина проникнення ЛП (рис.2);

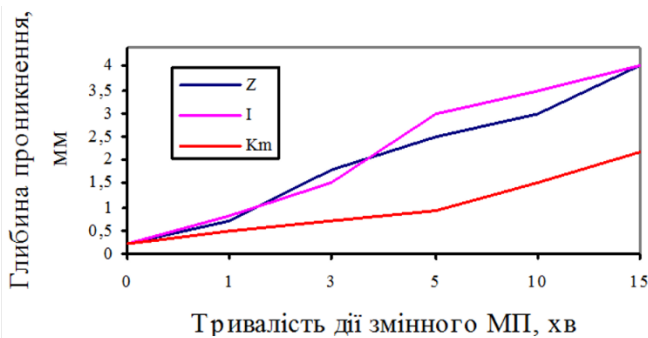


Рис.2. Глибина проникнення фармацевтичних препаратів дії змінного магнітного поля за час  $t$  хв.

2. Найбільша глибина проникнення у розчина йоду (I), за 15 хвилин на глибину 3,5 мм при дії магнітного поля в 17 мТл та брильянтового зеленого ( $C_{27}H_{34}N_2O_4S$ ) в 3,4 мм примагнітній індукції в 15 мТл.

3. Оптимальне значення глибини проникнення ФП при дії магнітного поля в (10-20) мТл.

## ВИСНОВКИ

Експериментально виявлена залежність параметрів глибини проникнення ЛП від інтервалу дії змінного магнітного поля та значення магнітної індукції. Збільшення інтервалу часу дії та значень індукції  $B(t)$  змінного магнітного поля призводить до зростання глибини проникнення ЛП. Структура досліджуваних сполук ФП також впливає на глибину та швидкість проникнення в біологічну тканину.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Рудик В.Ю., Терещенко М.Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури // XI Міжнар. науково-техн. конф. "Приладобудування 2012: стан і перспективи", 24—25 квітня 2012 р. — К.: НТУУ "КПІ", 2012. — С. 193—194.
- [2] Тимчик Г. С. Система температурного контролю в магнітотерапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, В. Ю. Рудик // Наукові вісті НТУУ "КПІ". — 2013. — № 1. — С. 111—116
- [3] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1 // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136.
- [4] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Принципи побудови сучасних ультразвукових терапевтичних апаратів // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 40. — С. 137—145.
- [5] М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, *Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія*. Київ.: КПІ ім.Ігоря Сікорського, Вид-во«Політехніка»,2018.ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [6] Рудик В. Ю. Спосіб адаптивної магнітотерапії / В. Ю. Рудик, М. Ф. Терещенко, Т. О. Рудик // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Приладобудування. - 2016. - Вип. 51. - С. 139–144.
- [7] Tymchik G.S. The temperature method of control in a magnetotherapy / G.S. Tymchik, M.F. Tereshchenko, V.U. Rudyk // XIV PhD Workshop OWD 2012, Wisla. - P. 318-324.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

УДК 004.896

*В. І. Мартиненко, студент гр. БП-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## БІОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ

**Анотація.** У роботі розглянуто біометричні дані для ідентифікації людини. Біометрія – це метод встановлення особистості (автентифікація та ідентифікація) за допомогою вимірювання або оцінки її фізіологічних параметрів (статичних та динамічних). Тому біометричний контроль здатен вирішити багато питань безпеки (медична галузь, військова справа, страхова медицина), так як необхідна інформація не може бути використана сторонньою особою. В роботі описано основні засоби ідентифікації та обрано метод, що базується на використанні другого покоління біометричних даних. Запропоновано загальну структурно-функціональну схему вимірювального каналу KL-720 та описано метод зняття та обробки даних для біометричної ідентифікації.

**Ключові слова:** біометричні дані, біометрична ідентифікація, фотоплетизмограма, дискримінантний аналіз, пульсова хвиля, об'ємний пульс.

### ВСТУП

Біометричні дані, які можна використати для біометричної ідентифікації діляться на два покоління: перше покоління, такі як відбитки пальців, підпис і голос та друге покоління на основі біосигналу (електрокардіограма, енцефалограма, фотоплетизмограма)[1]. Параметри другого покоління використовують анатомічну діяльність будь-якого органу людини, який супроводжується певними циклічними змінами і утворює унікальний біометричний сигнал.

Фотоплетизмографія представляє собою оптичний метод (проходження інфрачервоного або червоного випромінювання через живі тканини), за допомогою якого реєструється об'ємний пульс крові, що викликаний періодичними змінами кров'яного об'єму за рахунок ударів серця[2]. Фотоплетизмограма містить індивідуальну інформацію про певну персону (частоту серцевих циклів, судинний тонус, стан периферичної гемодинаміки організму, сатурацію) та за допомогою кількісного та якісного аналізу нормативних значень параметрів пульсової хвилі безпосередньо може здійснюватися ідентифікація. На рисунку 1 показані точки В1, В2, В3, В4, В5 відфільтрованого сигналу, які є основними точками об'ємного пульсу та за допомогою яких визначаються параметри пульсової хвилі [3].

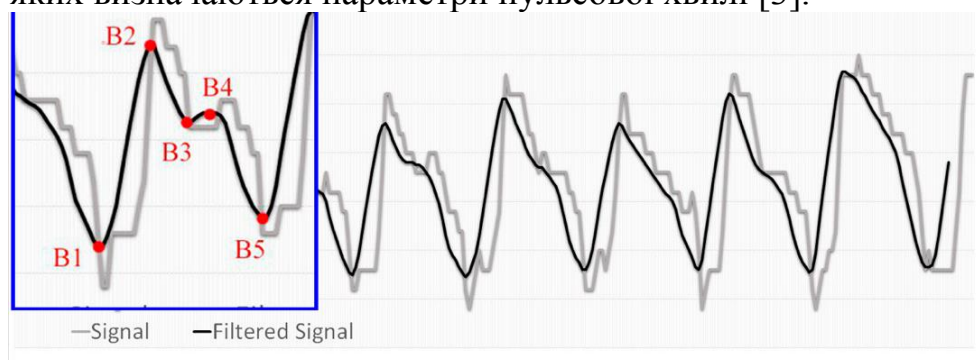


Рисунок 1. Початковий та відфільтрований сигнали: В1 – початок систолічного періоду, В2 – максимальне розширення судини, В3 – протодіастолічний процес, В4 – діастола, В5 – кінець серцевого циклу



## ЗАСОБИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТУ

Для вимірювання фотоплетизмограми (ФПГ) в роботі використовували біомедичну вимірювальну систему KL-720 та модуль KL-75006 для зняття фотоплетизмограми з чутливим фотосенсором (рис. 2). Датчик представляє собою інфрачервоний світлодіод і приймаючий фототранзистор та працює в конфігурації спільного колектору.

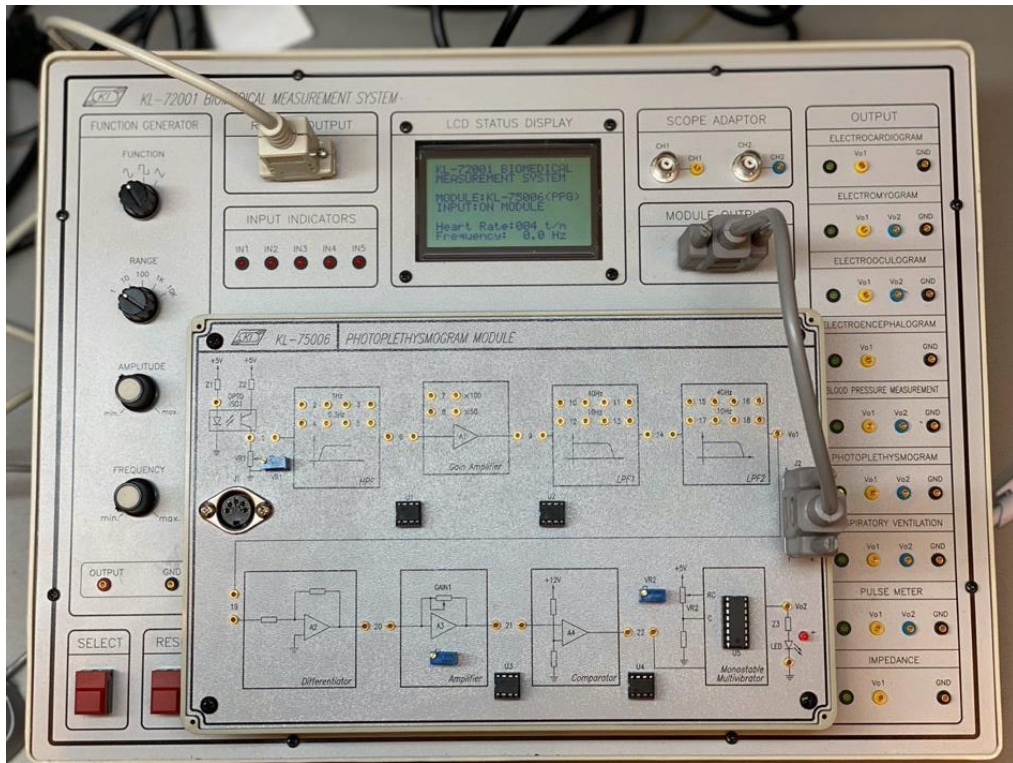


Рисунок 2. Загальний вигляд біометричної вимірювальної системи KL-720 з встановленим модулем KL-75006 для зняття фотоплетизмограми

Палець при дотику до датчику (рис.3) змінює інтенсивність відбитого інфрачервоного світла відповідно до ступеня насиченості досліджуваної ділянки кровоносної судини. Отриманий сигнал містить шум [4], що заважає виділити необхідні параметри, тому використовується високочастотний фільтр Баттерворта, що видаляє шуми створенні тремтінням пальця пацієнта та загального зміщення напруги постійного струму установки.

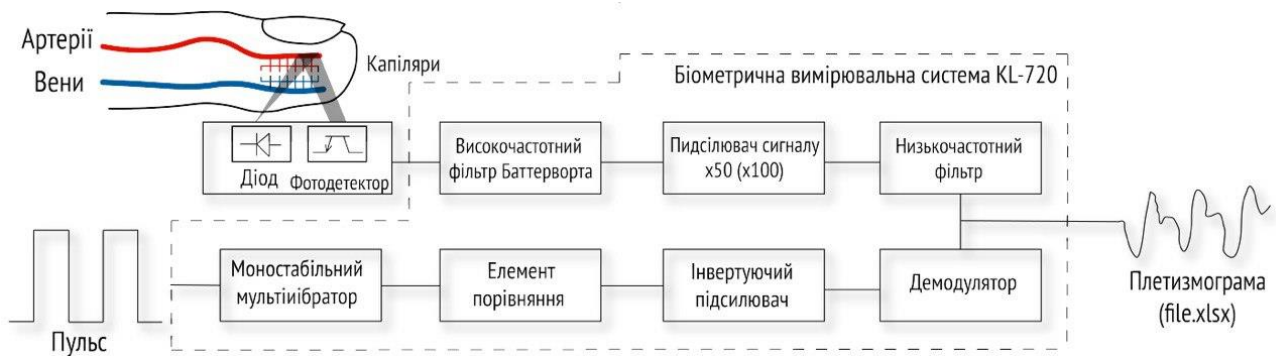


Рисунок 3. Загальна структурна схема вимірювального каналу KL-720

Далі відбувається підсилені сигналу на основі ОРЗА з коефіцієнтом підсилення 50 (100) для подальшої фільтрації 4-х діапазонним низькочастотним фільтром. Низькочастотний фільтр утворений послідовним з'єднання двох 2-діапазонних фільтрів Баттерворта, що зменшує високочастотні шуми від джерела живлення KL-720 та залишкового освітлення флуоресцентних ламп, що можуть розміщуватись в лабораторії [4,5]. Подальші модулі використовуються для виділення з нього сигналу пульсу серця людини у вигляді прямокутних імпульсів моностабільного мультівібратору.

## ОБРОБКА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА АНАЛІЗ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У даній роботі для дослідження ідентифікації людини за допомогою біосигналу ФПГ для порівняння однорідності показників проходження пульсової хвилі, було використано інтервальні параметрами амплітуди та часу, що представлено відповідно в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1. Амплітудні параметри пульсової хвилі

	<i>Амплітуда пульсової хвилі (АПХ)</i>	<i>Амплітуда дикротичної хвилі (АДХ)</i>	<i>Висота інцизури (ВІ)</i>	<i>Індекс дикронічної хвилі (ІДХ)</i>
<b>Формула</b>	$АПХ = B2 - B1$	$АДХ = B4 - B5$	$ВІ = B3 - B5$	$ІДХ = (B3 - B5) / (B2 - B1) \cdot 100\%$
<b>Нормативні значення</b>	—	АПХ/2	(2·АПХ)/3	63-73%

Таблиця 2. Часові параметри пульсової хвилі.

	<i>Тривалість анакротичної фази (ТАФ)</i>	<i>Тривалість дикротичної фази (ТДФ)</i>	<i>Тривалість пульсової хвилі</i>	<i>Індекс висхідної хвилі</i>
<b>Формула</b>	$ТАФ = B3 - B1$	$ТДФ = B5 - B4$	$ТПХ = B5 - B1$	$ІВВ = (B2 - B1) / (B5 - B1) \cdot 100\%$
<b>Нормативні значення</b>	—	—	—	15-24%

В результаті дослідження було проведено 56 вимірювань фотоплетизмограми людини, в яких отримані дані було відцентровано та оброблено за допомогою медіанної фільтрації. Для подальшого дискримінантного аналізу в базі даних було проведено навчання, в якому 39 спостережень було присвоєно «ідентифікованій» персоні, а решта – неавторизованим особам. За допомогою дискримінантного аналізу можливо визначити відмінності між двома групами та спроектувати класифікатор груп.

Дискримінантний аналіз характеризується двома методами вводу незалежних змінних [6-8]: примусове включення та кроковий відбір.

Досліджуючи середні значення та середнє квадратичне відхилення (таблиця 3) параметрів АПХ, АДХ та ВІ встановлено, що середні значення для

ідентифікованої особи сильно відрізняються від середніх значень невідомих алгоритму людей.

Таблиця 3. Порівняльна таблиця середніх значень

<i>Статус ідентифікації</i>	<i>Параметр</i>	<i>Середнє значення</i>	<i>Стандартне відхилення</i>
<i>Ні</i>	АПХ	2,5247	1,17360
	АДХ	1,2424	0,70385
	ВІ	1,5194	0,84254
<i>Так</i>	АПХ	0,6459	0,05716
	АДХ	0,3210	0,04352
	ВІ	0,3823	0,04853
<i>Загалом</i>	АПХ	1,2163	1,07832
	АДХ	0,6007	0,57284
	ВІ	0,7275	0,69747

Результатом дискримінантного аналізу методом примусового включення всіх даних вибірки інтервальних характеристик наведені в таблиці (таблиця 4), яка вказує на результати класифікації. Проведений аналіз показує, що із 17 вимірювань, які належать неідентифікованим особам, алгоритм помилково розпізнав 3 і прийняв їх в ідентифікований кластер. Загальний відсоток достовірності і класифікації по інтервальним параметрам – 94,6%.

Таблиця 4. Результати класифікації примусового включення

		<i>Статус ідентифікації</i>	<i>Передбачена належність до груп</i>		<i>Загалом</i>
			<i>Ні</i>	<i>Так</i>	
<i>Фактична належність до груп</i>	<i>Кількість</i>	Ні	14	3	17
		Так	0	39	39
	<i>Відсоток, %</i>	Ні	82,4	17,6	100,0
		Так	0	100,0	100,0

Другий спосіб проведення дискримінантного аналізу, який включає до розрахунку кожне спостереження покроковим методом, помилково ідентифікував та авторизував лише 1 вимір. А загальний відсоток достовірності даного методу класифікації – 98,2% (таблиця 5).

Таблиця 5. Результати класифікації покрокового включення

		<i>Статус ідентифікації</i>	<i>Передбачена належність до груп</i>		<i>Загалом</i>
			<i>Ні</i>	<i>Так</i>	
<i>Фактична належність до груп</i>	<i>Кількість</i>	Ні	16	1	17
		Так	0	39	39
	<i>Відсоток, %</i>	Ні	94,1	5,9	100,0
		Так	0	100,0	100,0

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день необхідність біометричної ідентифікації зростає, так як існує потреба знаходження найбільш стійкого та унікального біометричного сигналу людини, що неможливо підмінити, вкрати чи передати третій особі. В результаті експерименту ФПГ двома методами точність класифікації по інтервальним параметрам знаходиться на високому рівні (метод примусового включення дозволив здійснити розрахунок з достовірністю 94,6%, а ідентифікація з використанням покрокового включення збільшила цей показник до 98,2%). Отримані дані вказують на можливість розпізнати людину за допомогою мінімального технічного обладнання та легко інтегрувати в автоматизовані системи медичної діагностики та лабораторних аналізів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Azam, Siti Nurfarah Ain and Sidek, Khairul Azami and Ismail, Ahmad Fadzil (2018) Photoplethysmogram based biometric identification incorporating different age and gender group. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, 10 (1-5). pp. 101-108. ISSN 2180-1843 E-ISSN 2289-8131
- [2] Федотов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. – М.; Радио и связь, 2013 – с.27-56
- [3] Karimian, N., Guo, Z., Tehranipoor, M., & Forte, D. (2017). Human recognition from photoplethysmography (PPG) based on non-fiducial features. 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).doi:10.1109/icassp.2017.7953035
- [4] Яковенко И. А. Повышение достоверности неинвазивного анализа макроэлементов в крови методом цифровой обработки ЭКГ / И. А. Яковенко, Т. Р. Ключко, А. Н. Пельх, Е. А. Леус // Вісник НТУУ "КПІ". Серія радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2010. Вип. 42. – С. 144-152.
- [5] Дискриминантний аналіз [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLVMB\\_25.0.0/spss/base/idh\\_disc.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLVMB_25.0.0/spss/base/idh_disc.html).
- [6] Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. - Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999, с.270
- [7] Кларк Д.В., мл., Ньюман М. Р., Олсон В.Х. и др. Ред. Д.Г. Вебстер. Медицинские приборы. Разработка и применение. – К.: Медторг, 2004. - 620 с
- [8] Яненко О. П., Перегудов С. Н., Куценко В. П. Медична техніка для терапії та діагностики: навчальний посібник / НТУУ «КПІ». Київ : НТУУ «КПІ», 2013.

*Науковий керівник асистент Яковенко І.О.*

**УДК 615.847.8**

*Б.О. Марушевський, студент гр. ПБ-82мп, Н.В. Безугла к.т.н.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **БІОМЕДИЧНИЙ СПЕКТРОФОТОМЕТР**

**Анотація.** Розглянуто вимірювання відображення і пропускання зразка за допомогою інтегруючої сфери - широко використовуваний в науці і виробництві метод. Проведено дослідження актуальності методів сучасних спектрофотометрів з допомогою інтегруючої сфери, аналіз методів, способів та пристроїв впливу на біологічні тканини та середовища. Створення інтегруючої сфери за допомогою 3Д принтера

**Ключові слова :** Спектрофотометр, інтегруюча сфера, колімування випромінювання.

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Стрімкий розвиток лазерних технологій привели до їх впровадження практично в усі напрямки науки і техніки, в тому числі в біологічні дисципліни і медицину.

Актуальність наукових розробок в даній галузі зумовлена тим, що при використанні спектрометра отримуємо інформацію про структуру та функції біологічних середовищ (БС), що базуються на з'ясуванні характеру розсіяння ними випромінювання. Медико-біологічні критерії, вироблені на підставі численних експериментів, та адекватна математична модель поширення оптичного випромінювання в БС є діагностичним базисом для оцінки фізіологічного та функціонального стану тканини або органу, до складу якого входить дане БС.

### **МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Існує багато методів визначення оптичних параметрів біотканин. Ці методи можна розділити на два великі класи: прямі і непрямі. Прямі методи мають жорсткі обмеження на властивості використовуваного в експерименті зразка, для того щоб узгодити умови експерименту з припущеннями, зробленими для отримання точного рішення.

Непрямі методи вимірювання. Отримання оптичних параметрів розсіюючих зразків засновано, як правило, на використанні непрямих методів. При цьому параметри розраховуються з вимірюваних величин (наприклад, повного пропускання, відбиття і колімуванням пропускання) на основі теоретичної моделі поширення світла. В результаті отримані оптичні параметри залежать не тільки від результатів вимірювання, але і від обраної моделі поширення світла в зразку.

Вимірювання з використанням інтегруючої сфери відносяться до непрямих методів визначення оптичних властивостей мутних середовищ. Вимірювання відображення і пропускання зразка за допомогою інтегруючої сфери - широко використовуваний в науці і виробництві метод, відомий з початку ХХ століття. Свого часу був виконаний цілий ряд досліджень, спрямованих на розробку математичних моделей інтегруючих сфер і методів корекцій вимірюваних величин, що враховують особливості геометрії експерименту. Освітлення зразка колімуванням пучком випромінювання призводить до менших похибок у визначенні дифузного віддзеркалення зразка, ніж освітлення останнього дифузно падаючим світлом.

## ІНТЕГРУЮЧА СФЕРА

Інтегруюча сфера використовується для того, щоб отримати сигнал фотореєструючих пристроїв, пропорційний інтенсивності світла, що пройшло через зразок. У тому випадку, коли інтегруюча сфера не використовується, частина розсіяного випромінювання не потрапляє на майданчик фотоприймача, і дані про оптичні параметри досліджуваного об'єкта виходять невірними. Це відбувається внаслідок того, що конус розсіяного світла може бути більше, ніж кут, в межах якого збирається світло фотоприймачем.

Серед методів визначення оптичних властивостей сильно розсіювальних неоднорідних середовищ, один з найбільш широко використовуваних і точних методів - спектральні вимірювання з використанням інтегруючих сфер. Можуть бути різні конфігурації проведення вимірювань відображення і пропускання зразка. Перш за все, існують два способи освітлення зразка: дифузно і колімірований. Коліміроване освітлення зразка дозволяє точніше визначити оптичні властивості досліджуваної тканини. Однак, в ряді випадків, добитися освітлення зразка колімірованим випромінюванням не вдається, наприклад, при використанні одночасно двох інтегруючих сфер. У цьому випадку необхідний облік проходження світла через зразок при дифузному освітленні.

При проведенні спектральних вимірювань розсіювальних зразків значну роль грає той факт, що отримання однорідного зразка може являти собою непросту задачу. Вплив можливих артефактів, пов'язаних неоднорідностями зразків.

## АНАЛІЗ СФЕРИ

При взаємодії колімованого випромінювання оптичного діапазону з біологічним середовищем відбуваються наступні основні процеси: поглинання, відбиття, розсіяння (назад і вперед) та перевипромінювання. Кожен з зазначених процесів несе інформацію про мікро- та макроструктуру цього середовища, а саме про розміри та форму окремих його складових, їх орієнтацію, що характеризуються оптичними параметрами БС (коефіцієнтом поглинання  $\mu_a$ , розсіяння  $\mu_s$ , фактором анізотропії розсіяння  $g$  та показником заломлення  $n$ ).

Очевидно, що видозмінений внутрішній склад досліджуваного БС при наявності патологічних процесів у тому або іншому органі або тканині організму спричиняє зміну оптичної здатності БС до поглинання, відбиття, розсіяння та перевипромінювання. І саме чисельні характеристики, що описують кожен з цих процесів, можуть стати порівняльним біометричним базисом, котрий свідчить про стан тканини або органу, зразок якого було досліджено.

Похибки при вимірюваннях неминучі. Так, наприклад, при вимірах з однієї інтегруючої сфери, при дослідженні неоднорідних зразків можуть виникати помилки через те, що відображення і пропускання вимірюються для кількох

різних ділянок зразка. Це відбувається внаслідок того, що, при послідовних вимірах, необхідно змінювати положення зразка щодо сфери: при вимірюванні пропускання зразок поміщається перед входним отвором, для вимірювання відображення - після вихідного отвору. У разі одночасних вимірювань з двома інтегруючими сферами необхідно брати до уваги той факт, що частина світла, яка пройшла через зразок в другу сферу, може повернутися в першу сферу і навпаки. Таким чином, виявляється необхідним урахування взаємодії сфер.

При реєстрації спектрів з використанням однієї інтегруючої сфери необхідно, переміщувати зразок для того, щоб отримати спектри пропускання, відбиття або повного поглинання. Стандартна система включає в себе джерело світла, монохроматор для виділення необхідної спектральної ділянки випромінювання, систему формування профілю монохроматизованого світлового пучка, інтегруючу сферу з вбудованим фотоприймачем і систему реєстрації сигналу.

Як правило, всі складові являють собою єдину конструкцію спектрофотометра, за винятком інтегруючої сфери - вона може бути як вбудованою, так і змінною приставкою. При використанні інтегруючої сфери одним з небажаних ефектів є реєстрація люмінесценції зразка. Так як не існує перешкоди для потрапляння даної люмінесценції всередину сфери, люмінесценція потрапляє на фотоприймач і спотворює дані про поглинання або відображенні. При цьому треба враховувати, що, внаслідок того, що просторовий кут збору люмінесценції становить практично  $2\pi$ , величина її вкладу в реєстрований сигнал може бути дуже великий.

## СТВОРЕННЯ СФЕРИ

Дослідження розсіювальних властивостей біологічної тканини напівпровідниковим лазером. Для цього експерименту використовується інтегруюча сфера (надрукована на 3D принтері) з внутрішнім діаметром 190 мм, покрита зсередини білилами.

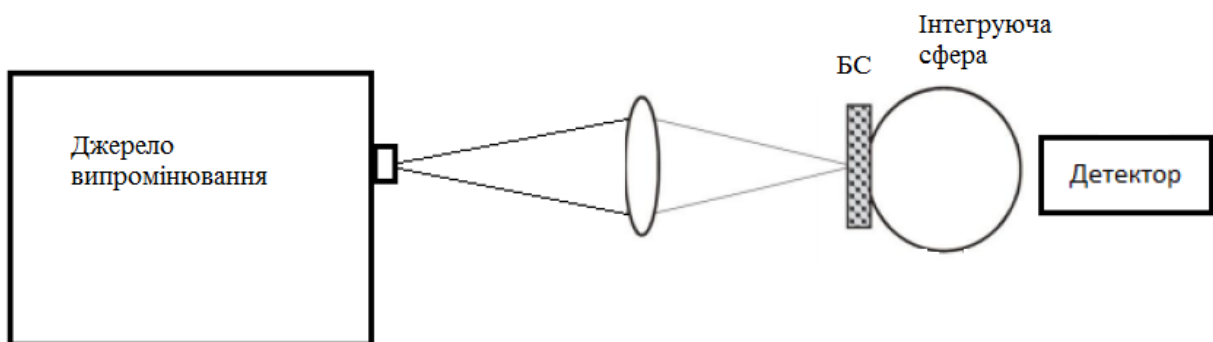


Рисунок 1 - Схема установки для вимірювання дифузного пропускання

Інтегруючою сферою називається порожня всередині сфера досить великого діаметра (звичайний діаметр 6-15 см, високоякісні сфери досягають двох метрів), покрита зсередини речовиною з альбедо (коефіцієнтом дифузного віддзеркалення) близьким до одиниці. Це означає, що внутрішня поверхня

сфери являє собою практично ідеальний дифузний відбивач. Всередину сфери, через вхідний отвір, потрапляє вхідний потік, який служить для вимірювання пропускання розсіючих зразків, якщо зразок перекриває вхідний отвір. Якщо зразок розташований в тому місці поверхні сфери, на яке падає вхідний світловий потік, то мова йде про вимірювання спектрів дифузного відбиття. При приміщенні зразка в центр сфери, на її поверхню потрапляє як випромінювання, розсіяне від передньої грані зразка, так і пройшло через зразок. В результаті сумарна освітленість поверхні зменшується пропорційно величині світла, поглиненого в зразку і стає можливим вимір повного поглинання. Таким чином, змінюючи положення досліджуваного зразка, за допомогою інтегруючої сфери можливо дослідження різних оптичних параметрів досліджуваного об'єкта. Вимірювання освітленості внутрішньої поверхні сфери здійснюється за допомогою фотоприймача, встановлений за спеціальним отвором в стінці сфери.

### **ВИСНОВКИ**

Було створено інтегруючу сферу, як зміну приставку для проведення дослідів отримання сигналу фотореєструючих пристроїв, пропорційний інтенсивності світла, що пройшло через зразок.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В. В. Тучин. – Саратов: Сарат. универ., 1998. – 384 с.
- [2] LaComb R. B. Quantitative Second Harmonic Generation Imaging of the Diseased State Osteogenesis Imperfecta: Experiment and Simulation / R. B. LaComb, O. Nadiarnykh, P. J. Campagnola // Biophysical Journal. – 2008. – Pp. 4504–4514.
- [3] Тучин В. В. «Оптическая биомедицинская диагностика» В 2 томах / В. В. Тучин. – Москва: Физмалит, 2007. – 560 с.

*Наук. керівник – к.т.н., проф. Н.В. Безугла*



УДК 535.7,535.3

Є.В. Олійник, студент гр. ПБ-82мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

**Анотація.** В роботі представлено як показник заломлення зміну своє значення в залежності від способу дослідження, тобто *in vitro* та *in vivo*. Також описано основні оптичні параметри біологічного зразка і показано, що для кожного шару біологічної тканини ці показники мають різне значення. Було створено класифікацію методів дослідження показника заломлення в мутному середовищі на двох рівнях: тканинний та клітинний. Запропоновано установку для вимірювання показника заломлення у біологічних середовищах, та описано основні її компоненти, та описано обмеження та вимоги для більш точного визначення показника заломлення.

**Ключові слова:** оптичні параметри, показник заломлення.

### ВСТУП

Показник заломлення біологічних тканин має велике значення при оцінці взаємодії випромінювання з тканиною. Для більшості тканин показник заломлення знаходиться в межах 1,335–1,62 при дослідженнях у видимому діапазоні світла. Однак, визначені *in vitro* та *in vivo* показники заломлення можуть суттєво відрізнятися. Наприклад, виявлено, що показник заломлення в мезентеріальній тканині щурів при дослідженнях *in vitro* становить 1,52, а при *in vivo* – 1,38. Хоча дана різниця і має вагоме пояснення, що пов'язане із зниженням показника заломлення через порушення гідратації, однак більш достовірну інформацію дає показник заломлення, визначений *in vivo*. Метою даної роботи є аналіз методів визначення показника заломлення на тканинному та клітинному рівнях та оцінка умов їх використання [1].

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Фізична модель біологічних тканин може бути представлена чотирма незалежними макроскопічними параметрами, які характеризують поширення та взаємодію випромінювання в даній тканині: параметр анізотропії розсіяння ( $g$ ), коефіцієнт поглинання ( $\mu_a$ ), коефіцієнт розсіяння ( $\mu_s$ ) та показник заломлення ( $n$ ). Перераховані оптичні параметри містять інформацію про біохімічні, морфологічні, структурні і функціональні особливості тканини.

З точки зору оптики тканина – це складна структура, яка може бути представлена багатьма шарами. Для прикладу розглянемо просту двошарову модель шкіри, що представлена епідермісом та дермою (рисунок 1). Кожний шар володіє набором своїх оптичних параметрів [2].

В даній роботі основну увагу приділено дослідженню показника заломлення. На рис.1 показано як змінюється розподіл світла в залежності від показника заломлення шару [3].

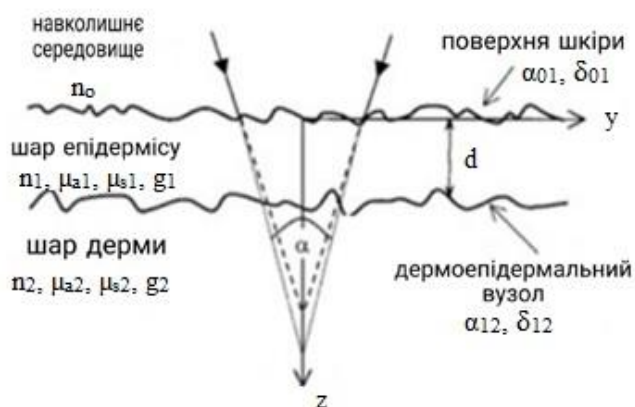


Рисунок 1 Схематичне зображення двошарової моделі тканини [3]

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі проведеного аналізу літературних джерел розроблено класифікацію методів дослідження показника заломлення за двома основними параметрами біологічного рівня: клітинний та тканинний. Для клітинного виділено наступні методи: повного внутрішнього відбиття, оптичної когерентної томографії, спектроскопія комбінованого розсіяння світла та метод конфокальної лазерної ендоскопії. Для дослідження показника заломлення клітини: метод кутового розсіяння світла та метод 2D і 3D рефракції.

В роботі більш детально розглядається гоніометричний метод, що базується на явищі повного внутрішнього відбиття (ПВВ). Автором розроблено макет установки (рис.2) з використанням еліпсоїдального рефлектору [4], що забезпечує візуалізацію явища ПВВ. Даний елемент досить непогано себе зарекомендував при інших дослідженнях біологічних тканин [5-7].

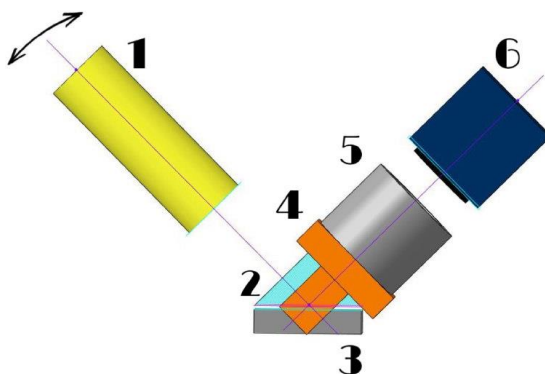


Рисунок 2 Макет експериментальної установки:

1 - лазер ЛГН 207а, 2 – призма, 3 – предметний стіл, 4 – елемент з'єднання, 5 – еліпсоїдальний рефлектор, 6 – камера DMK 21AF04

Принцип роботи установки полягає в наступному. Лазерне випромінювання від джерела випромінювання 1 проходить через призму 2 та потрапляє на біологічне середовище, що розташоване на предметному столі 3. Після взаємодії з біологічним середовищем відбите випромінювання збирається в нижній фокальній площині еліпсоїдального рефлектору 5. Особливістю елемента 5 є те, що випромінювання, зібране в одній фокальній площині,

передається в іншу фокальну площину. При цьому враховується додаткова дифузна компонента відбитого випромінювання [4]. Камера б розміщена таким чином, що її фокусна відстань співпадає з верхньою фокальною площиною еліпсоїдального рефлектора.

Особливістю даної установки є забезпечення візуалізації явища повного внутрішнього відбиття в режимі реального часу, що дасть змогу більш точно визначити кут повного внутрішнього відбиття за яким розраховується показник заломлення.

При розробці макету необхідно врахувати наступні вимоги та обмеження: значення показника заломлення призми 2 повинно бути більшим за значення показника заломлення досліджуваного середовища (1.62); досліджуване середовище повинно бути в контакті з призмою 2; призма 2 повинна бути в контакті з еліпсоїдальним рефлектором 3 для усунення втрати випромінювання; фокусна площина еліпсоїдального рефлектора повинна співпадати з фокусною відстанню об'єктиву камери.

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод та макет установки з визначеними вимогами може бути реалізований у вигляді технічного засобу, що дасть змогу визначати показник заломлення біологічних тканин *in vivo*.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Сафонова Л. П. Спектрофотометрия в функциональной диагностике. – М.: Изд- во МГТУ им. Баумана, 2005. – 67 с.
- [2] Edited by Tuan Vo-Dinh. Biomedical Photonics Handbook. (2015), pp. 65-68, 151-182.
- [3] J.-C. Lai, Z. Li, C. Wang, and A. He. Experimental measurement of the refractive index of biological tissues by total internal reflection. Applied Optics 44(10), 1845–1849 (2005).
- [4] Патент МПК(2018.01)G01 N21/43 Пристрій для вимірювання показника заломлення біологічних середовищ. Маляренко Д.Ю., Безугла Н.В., Безуглий М. О.
- [5] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych. Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method. Devices and Methods of Measurements, vol.10, no. 2, pp. 160–168, 2019.
- [6] M. Bezuglyi, and N. Bezuglaya. Raman spectroscopy principles for *in vivo* diagnostic by ellipsoidal reflectors. Electrical, Control and Communication Engineering, vol. 15, no.1, 2019.
- [7] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and A.I. Nagorni, "Control of optical clearing of biological tissue by ellipsoidal reflectors method", Microsystems. Electronics and Acoustics, vol.24, no.2, pp. 6 – 13, 2019.

**УДК 617.089**

*Р.В. Пичак, студент гр. ПБ-з82мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕЛЕКТРОДИ ХІРУРГІЧНОГО СТЕПЛЕРА**

**Анотація.** В даній статті наведено конструкцію моделі хірургічного степлера для з'єднання тканин з технологією високочастотного зварювання. Виконано симуляцію впливу навантаження та досліджено вплив навантаження на електроди в програмному середовищі "SolidWorks Simulation".

**Ключові слова:** хірургічний степлер, високочастотне зварювання, моделювання, жива тканина.

### **ВСТУП**

Використання хірургічного степлера для з'єднання тканин з технологією високочастотного зварювання значно підвищує швидкість хірургічного втручання, знижує травматичність тканин та ризик виникнення інфекційно-запального процесу й післяопераційна реабілітація проходить набагато швидше та легше. Розробка і вдосконалення апаратів та інструментів для високочастотного зварювання є одним з провідних напрямків розвитку в сучасній медичній сфері [1].

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є моделювання та дослідження впливу навантаження на модель фрагменту м'якої тканини для визначення сили, яку потрібно прикласти до ручки механізму штовхання під час стискання, щоб отримати оптимальний тиск під час зварювання живих тканин.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для реалізації поставленої задачі симуляція навантаження та дослідження впливу дії цього навантаження на електроди вибрано програмне середовище «SolidWorks Simulation».

Моделювання конструкції хірургічного степлера для з'єднання тканин з технологією високочастотного зварювання виконано в програмному середовищі «SolidWorks» [2]. Таким чином розроблена конструкція степлера, твердо тільна модель якого наведена на рисунку 1.

Розмірні характеристики та параметри основні елементи цього інструменту інструмента відображенні в таблиці 1.

В наслідок того, що для спрощення розрахунків при дослідженні впливу навантаження на електроди за допомогою середовища «SolidWorks Simulation» модель хірургічного степлера для з'єднання тканин з технологією високочастотного зварювання (дивись рис. 1) було спрощено. Загальний твердо тільної моделі спрощеного складання інструменту ультразвукового зварювання для проведення досліджень наведено на рисунку 2.

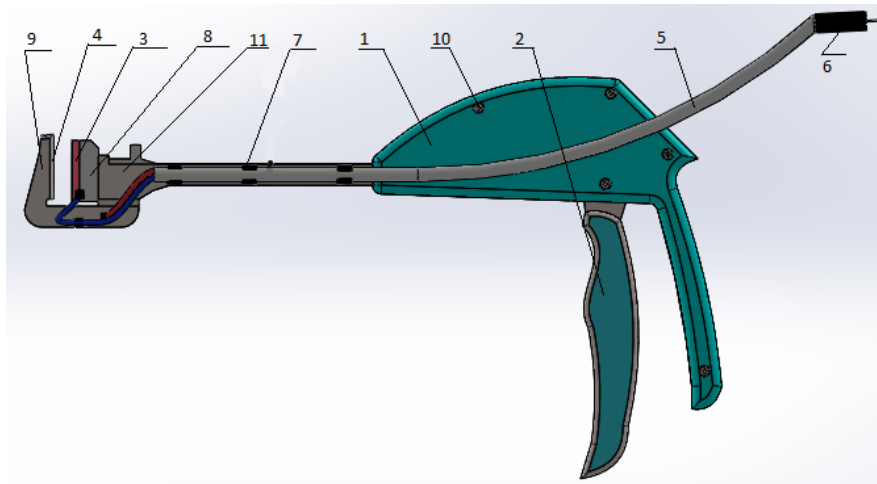


Рисунок 1. Твердотільна модель хірургічного степлера для з'єднання тканин з технологією високочастотного зварювання

Таблиця 1. Параметри та основні елементи зварювального інструменту

Назва	Характеристики	Позиція на рисунку
Елементи інструменту:		
Корпус	Розміри: 187x199 мм, матеріал: фторопласт	1
Ручка механізму стиснення	Розміри: 210x88 мм, матеріал: фторопласт	2
Електрод штовхача	Живлення: до 100 вольт, розміри: 35x5 мм, матеріал: мідь	3
Електрод опорної частини	Живлення: 0 вольт, розміри: 37x4 мм, матеріал: мідь	4
Кабель живлення	Довжина: 50 мм, не заземлений з подвійною ізоляцією	5
Штекер з плавким запобіжником	Розмір штекера: 15x45 мм, плавкий запобіжник: запобіжник низьковольтний керамічний нерозбірними 6А 100в 10x40мм	6
Кріплення шнура живлення	Розміри: 8x7 мм, матеріал: фторопласт	7
Штовхач	Розміри: 35x249 мм, матеріал: хірургічна сталь марки 316L	8
Опорна частина	Розміри: 50x65 мм, матеріал: хірургічна сталь марки 316L	9
Гвинт	Кількість: 6 шт. розмір: М3, довжина 16 мм	10
Корпус опорної частини	Розміри: 50x200 мм, матеріал: хірургічна сталь марки 316L	11

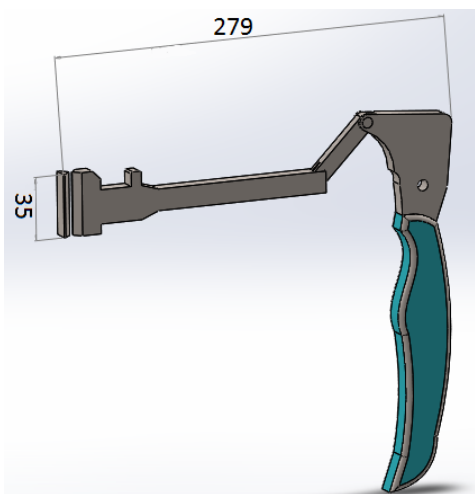


Рисунок 2. Спрощена модель степлера для проведення досліджень (розміри в мм)

Згідно експериментально отриманих результатів Лебедева О.В., Дубко А.Г. та Лопаткіної Є.Г. оптимальним навантаженням на м'яку тканину під час зварювання є тиск в  $2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  [3]. Тому під час дослідження степлера необхідно створити за допомогою степлера тиск на живу тканину під час зварювання з вказаним оптимальним навантаженням [4].

Для проведення досліджень конструкції степлера використано найбільш подібний за фізичними властивостями матеріал «жива тканина», фрагмент якого представлено на рисунку 3. Ця м'яка тканина має такі

характеристиками: модуль пружності 1 Мпа; коефіцієнт Пуассона 0,45; межа міцності при розтягуванні 3 Мпа [5].

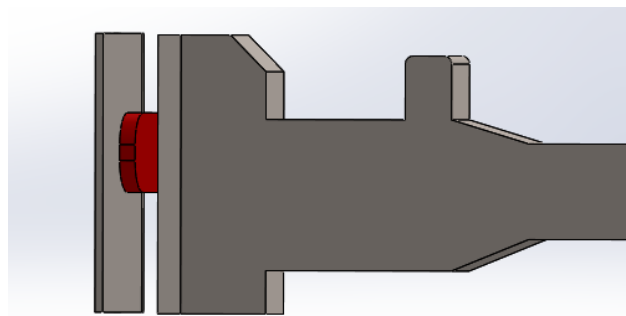
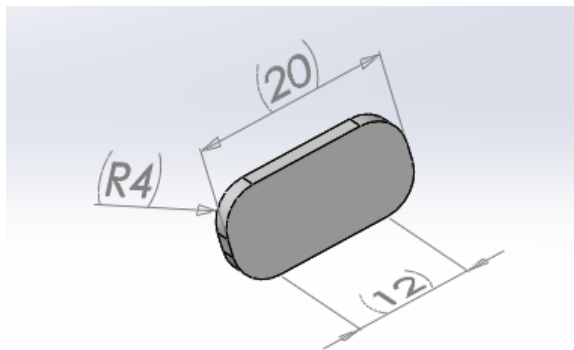


Рисунок 3. Ескіз матеріалу “жива тканина” Рисунок 4. Схема розміщення фрагменту м’якої тканини між електродами

В ході досліджень модель фрагменту м’якої тканини розмістили між електродами (дивись рисунок 4). На тканину прикладена сила гравітації (для відповідності реальним вимогам середовища), а до ручки стиснення – зростаючі за потужністю сили.

На ручку стиснення механізму штовхання (дивись рисунок 5) прикладалися сили в 20 Н, 30 Н та 40 Н. В результаті отримано розрахункові значення напруги на модель фрагменту м’якої тканини, а саме: при силі 20 Н –  $1,32 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  що менше оптимального значення; при силі 30 Н –  $1,8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ , що також менше оптимального та при силі 40 Н –  $1,96 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ , що задовольняє оптимальним умовам (дивись рисунок 6).

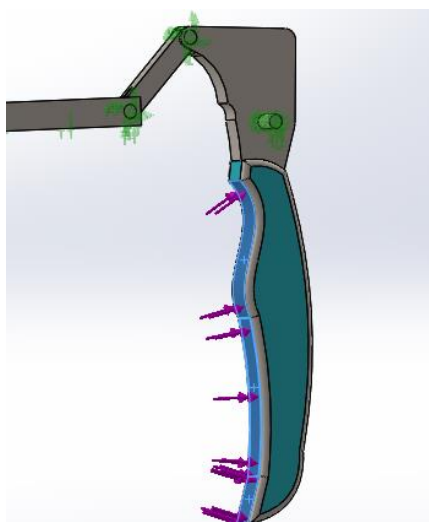


Рисунок 5. Схема прикладення сили до ручки стиснення механізму штовхання

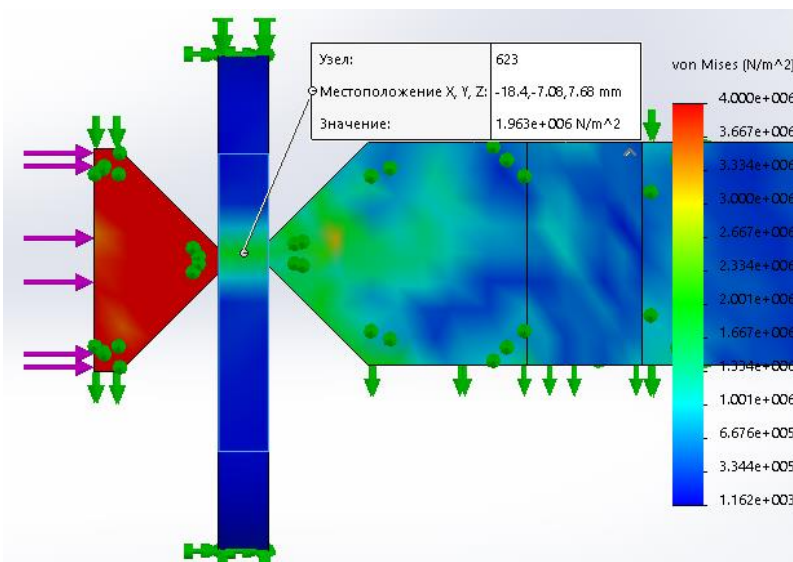


Рисунок 6. Схема пружного стану моделі фрагменту м’якої тканини при прикладенні сили в 40 Н

Для моделі фрагменту м’якої тканини (дивись рисунок 4) отримано залежність напруги від сили, що прикладена до тканини за допомогою механізму стиснення степлера.



Рисунок 7. Графік залежності напруги від сили стиснення

## ВИСНОВОК

Виконано моделювання та дослідження впливу навантаження на модель фрагменту м'якої тканини за допомогою «SolidWorks Simulation».

За результатами досліджень встановлено значення сили, яку потрібно прикласти до ручки механізму штовхання під час стискання, що забезпечує оптимальний тиск на фрагмент м'якої тканини в  $2 \times 10^6$  Н/м<sup>2</sup> і яка складає 40 Н, забезпечуючи оптимальність процесу зварювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Сварка живых мягких тканей [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.weldingsite.in.ua/rss20.html>.
- [2] Пичак Р.В., Вислоух С.П. Моделювання лінійного хірургічного степлера для зеднання тканин з технологію високочастотного зварювання в програмному середовищі «Solidworks» // Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-практичної інформації з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент». – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 170 – 171.
- [3] Основные биофизические свойства мягких живых тканей при электросварке [Електронний ресурс] / Лебедев А.В., Дубко А.Г., Лопаткина Е.Г // Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24353276>.
- [4] Біомеханіка. Модуль пружності живої тканини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://sytenko.org.ua/kadurin/10.html>.
- [5] Несостоятельность швов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.e-reading.club/chapter.php/73641/29/Haii\\_-\\_Assistirovanie\\_pri\\_hirurgicheskikh\\_operaciyah.html](http://www.e-reading.club/chapter.php/73641/29/Haii_-_Assistirovanie_pri_hirurgicheskikh_operaciyah.html).

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



УДК 621.6.078:621.373.1

*Т.І. Поліщук, студент гр. ПБ-82мп, М.Д. Макаров, студент гр. ПБ-82мп,  
І.В. Фетов, студент гр. ТП-61*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ АПАРАТУ ДЛЯ СПОРТИВНОЇ МЕДИЦИНИ

**Анотація.** Досить серйозною проблемою, яка виникає під час контролю за функціональним станом людини, наприклад, під час спортивних тренувань та змагань, важкої фізичної роботи, військових дій, є покращення фізіологічних показників організму. Особливим показником функціонального стану людини є кількість глюкози в крові, оскільки саме нормальний вміст глюкози забезпечує функціонування всіх органів і тканин живого організму [1, 2]. Збільшується вміст глюкози в таких гормонах, як глюкагон, адреналін, глюкокортикоїди тощо. У той же час фізичне навантаження впливає на кількість глюкози таким чином, що при нестабільному стані організму збільшується ризик гіпоглікемії [3], що небажано для людини, яка перебуває у стані активної дії.

**Ключові слова:** лазерний душ, моніторинг, функціональний стан людини, відновлення.

### ВСТУП

Вакуумний гідролазерний масаж, як один з різновидів рефлекторного впливу, може використовуватися самостійно для оздоровлення або в комплексному лікуванні багатьох захворювань в умовах клініки, курорту, профілакторію, готелю або будинку.

Особливістю запропонованого принципу відновлення організму є те, що він використовує дію складного лазерного випромінювання лазерним душем, яке діє на поверхню шкіри та сприяє збільшенню наповнення крові судинами [4, 5]. У той же час організм масажується водою. Таким чином, можна регулювати фізіологічний стан людини в період перевантаження [4, 5].

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Одними із дослідників проблем ККД роботи гідроагрегатів є С.Ф. Артюх, д-р техн. наук, професор; І.І. Червоненко, які розглядали дану проблему з точки зору ГЕС, в даному ж досліді буде розглянуто дану проблему з точки зору використання пристрою у домашніх умовах.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час проведення досліді було використано гідролазерний апарат компанії «МедІнТех», одна з комплектуючих частин якого використовувалася для досліді (див рис. 1).



Рисунок 1. Зображення комплектуючої частини, що використовувалася в досліді



В процесі дослідження було визначено необхідність провести розрахунок потоку води в апараті у зв'язку з наявністю закручення потоку в кінці апарату та турбіни перед змішувачем.

Також було встановлено, що зі зміною змішувача змінюється і тиск води, що також підтверджуються законом Бернуллі (1) [6].

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const \quad (1)$$

Було обчислено критерій Рейнольдса (2), втрати тиску на супротив тертя, а також місцевий супротив, досліджено вплив параметрів води на роботу гідролазерного душу.

$$Re = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu} \quad (2)$$

Звідси можна зробити висновок, що вплив даної процедури на організм також залежить і від кількості отворів у змішувачі та режимом включення за наявності таких.

Процедури, пов'язані з інтегрованим впливом світлового випромінювання, зокрема когерентного [7], різної довжини хвилі впливають на нервову систему. А, отже, може використовуватись при лікуванні порушень кінематики руху, яка є наслідком захворювань нервової системи.

При процедурі вакуумного гідролазерного масажу слід враховувати рівень роздратування рефлексогенних зон, який залежить від режиму роботи лазера і душової насадки, тривалості процедури, області роздратування (особа, живіт, спина, кінцівки та ін.) і, безумовно, від стану пацієнта (віку, статі, особливостей індивідуальної реактивності, виду захворювання і ін.).

Терапевтичний ефект також досягається за допомогою впливу температури води. Душова насадка встановлюється контактено, на область впливу. Холодний душ – температура води нижче 20 °С; прохолодний – температура води 20-34 °С Теплий душ – температура води 38-39 °С; гарячий душ-температура води-40 °С і вище.

Результатом дослідження стало встановлення того, що параметри води мають хоча і невеликий, однак відчутний вплив на швидкість її обертання, і відповідно на генерацію імпульсів.

## **ВИСНОВКИ**

У зв'язку з цим можна сказати що даний ефект можна використовувати при заданні автоматичного включення режимів роботи гідролазерних апаратів.

Потрібний більш детальний розгляд реальних моделей, оскільки під час проведення дослідження було виявлено невеликі вібрації, у зв'язку з можливістю утворення ними компонадних полів та їх впливів на організм людини. Подальша перспектива розвитку даного напрямку досить велика, оскільки він охоплює не лише гідролазерні апарати, а й інші прилади, що для своєї роботи використовують гідравлічні турбіни.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Джейсон Дж. Бурмейстер та Марк А. Арнольд, «Оцінка мірних місць для неінвазивного вимірювання рівня глюкози в крові за допомогою інфрачервоної спектроскопії передачі», Клінічна хімія, 45: 9, с. 1621–1627, 1999.
- [2] Барман І., Конг К.-Р., Сінгх Г.П., Дасарі Р.Р., Фельд М.С., "Точна спектроскопічна калібрування для неінвазивного моніторингу глюкози шляхом моделювання фізіологічної динаміки глюкози", Аналітична хімія, Вип. 82 (14), стор 6104-6114, 2010.
- [3] Башкурова К.В., «Вплив різних фізичних вправ на рівень сахари в крові при сахарному діабеті 1 типу», Наукове повідомлення студ. XXI ст. Гуманітарні науки: сб. ст. за мат. VI межд. студ. науч.-практ. конф. № 6. 2012. Режим доступу: URL: [sibac.info/archive/humanities/6.pdf](http://sibac.info/archive/humanities/6.pdf).
- [4] Патент № 49245 А України. Спосіб та обладнання для комплексного фізіотерапевтичного впливу /Клочко Т.Р., Скіцюк В.І., Гончаренко О.В., опубл. Бюл. № 9, 2002 .
- [5] Т. Klotchko, “ Interaction of low-intensity electromagnetic fields of light range with biological objects ”, 20th Microwave & Telecommunication Technology, International Crimean Conference, IEEE, 2010/9/13, p.1167-1168, 2010.
- [6] Лойцянский Л.Г. Механіка рідини і газу. М.-Л.: Підручник для вузів. - 7-е Вид., Випр. - М.: Дрофа, 2003. — 91с
- [7] Т.Р. Клочко, Взаємодія когерентного світлового випромінювання з біологічними структурами, Вісник НТУУ “КПІ”. Серія Приладобудування, Вип. 38, с. 111 – 117, 2009.

*Наук. керівник – доцент., к.т.н., Клочко Т.Р*

УДК 57.087

І.А. Прилипа, студентка гр. ПБ-382мп, доц. Стельмах Н.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОД МОНІТОРИНГУ НЕЙРОМ'ЯЗОВОЇ БЛОКАДИ

**Анотація.** В даній статі розглядається проблема моніторингу нейром'язової блокади, завдяки якому є змога дізнатися стан міорелаксації організму пацієнта під час анестезії з метою забезпечення зміни за потреби дози анестуючого препарату та мінімізації негативних наслідків наркозу. У роботі розглянуто метод інструментальної оцінки нейром'язової блокади, що є інтерпретацією реакції м'язової тканини на електронейростимуляцію. У результаті проведеного аналізу встановлено, на які методи інтерпретації реакції м'язу на електронейростимуляцію та було обрано найбільш перспективні з них.

**Ключові слова:** електронейростимуляція, нейром'язова блокада, моніторинг, міорелаксація.

### ВСТУП

У сучасній медичній практиці застосування загальної анестезії є одним з ключових факторів, що дозволяють проводити хірургічне втручання з лікувальною метою. При анестезії застосовують препарати, які порушують передачу збудження рухового нерва до м'яза – освіти нейром'язової блокади (НМБ) провідності імпульсів з нерва на кісткову м'яз, яка здійснюється через синапси, тобто загальної міорелаксації. Загальна назва таких препаратів – міорелаксанти. З їх допомогою можливо цілеспрямовано регулювати певні функції організму. Також з'явилася можливість застосовувати штучну вентиляцію легенів. Були закладені основи прогресивної концепції багатокомпонентної анестезії. Розслаблення скелетних м'язів, що досягається за допомогою міорелаксантів, становить один з основних компонентів комбінованої анестезії [1-2].

Разом з новими можливостями анестезії із застосуванням міорелаксантів залишилися проблеми загального наркозу: можливість зрушень в роботі серця і легенів, післяопераційна смертність, погіршення пам'яті, випадання волосся, м'язова слабкість тощо. Особливо гостро ці симптоми проявляються у дітей. Частота неадекватної НМБ на різних етапах операції коливається від 15 до 20%. Рівень глибини НМБ в кінці оперативного втручання в 15% випадків є неадекватним вимогам хірургів. Залишкова НМБ, на думку хірургів, зустрічається в їхній практиці в 28% випадків, на думку анестезіологів – в 33% випадків. Це необхідно розглядати як ризик розвитку у пацієнтів можливих ускладнень в післяопераційному періоді, пов'язаних із залишковою курарізацією [3]. Використання сучасних міорелаксантів з більш коротким часом дії не призвели до зникнення випадків залишкової курарізації [4, 5].

Клінічні ознаки, за якими можна судити про НМБ – м'язовий тонус, зміна легеневого опору, обсяг дихання, здатність підняти голову, покашляти, висунути язик, потиснути руку і ін. – неточні та не здатні забезпечити своєчасну корекцію дози міорелаксантів, або взагалі не можливі в умовах загального наркозу. Це може привести або до передозування, або, навпаки, – до недостатньої НМБ [1]. Знання ж актуального в цей момент значення НМБ дає можливість оптимально вибрати час для інтубації і екстубації трахеї; підтримувати відповідний рівень наркозу, шляхом введення певної дози міорелаксанта; визначити відповідний момент для усунення блокади [1].

Таким чином, розробка нових та удосконалення вже існуючих методів і засобів інструментальної оцінки НМБ є актуальним завданням.

Метою роботи є розгляд існуючих методів оцінки НМБ, вибір найбільш актуального з них, а також розробка концепції для його удосконалення на підставі виявлених недоліків.

## МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методом інструментальної оцінки НМБ є інтерпретація реакції м'язи пацієнта на електронейростимуляцію (ЕНС). Амплітуда викликаного м'язового скорочення у відповідь на ЕНС відображає реакцію організму на дію міорелаксантів. При повній НМБ м'язові відповіді на ЕНС не реєструються.

Моніторинг НМБ здійснюється за допомогою приладів, загальна структурна схема яких показана на рис. 1. Конструктивно прилад може бути виконаний у вигляді модуля, що підключається до хірургічного монітора пацієнта, або у вигляді окремого приладу. Залежно від цього деякі блоки на схемі можуть бути відсутні.

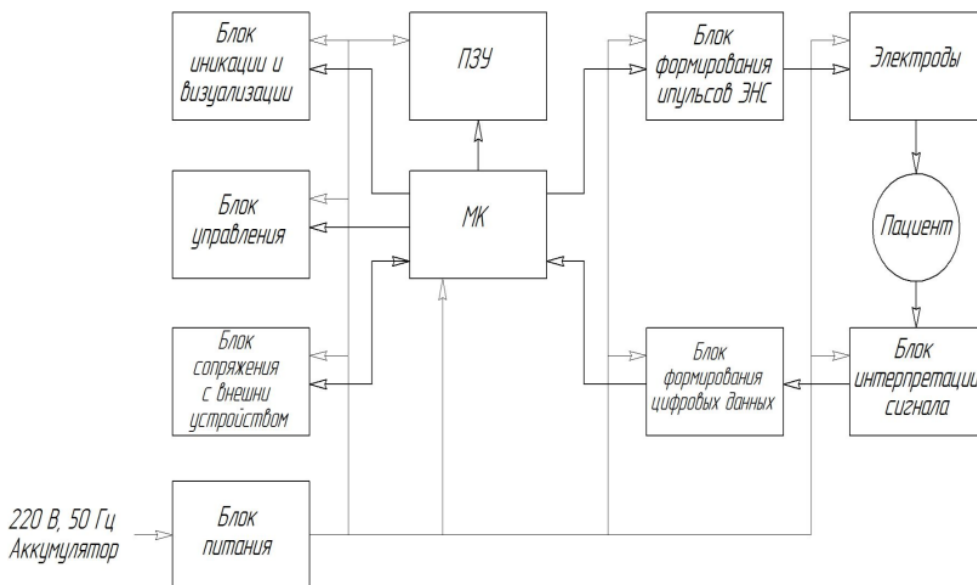


Рисунок 1 – Структурна схема приладу контролю НМБ

Центральним елементом є мікроконтролер (МК). Він призначений для: 1) подання керуючих сигналів формування ЕНС; 2) отримання даних відповіді мотонейронів, їх цифрової обробки; 3) записи отриманих даних на ПЗП; 4) виведення даних про стан НМБ на дисплей; 5) відправки даних на зовнішній пристрій; 6) отримання керуючих сигналів з клавіатури. Частота подачі керуючих сигналів може варіюватися від 0,1 до 200 Гц в залежності від обраного режиму стимуляції.

Блок формування імпульсів відповідно до керуючого сигналами МК створює прямокутні уніполярні імпульси струму.

Блок інтерпретації сигналу забезпечує оцінку реакції м'язу на імпульси ЕНС. Розрізняють такі методи інтерпретації:

1. Механоміографія. Використовується стимуляція м'язу *musculus adductor pollicis*, яка попередньо навантажується баластом масою 200-300 мг.

Сила скорочення м'яза великого пальця руки перетворюється в електричний сигнал, який згодом аналізується. Недоліком методу є необхідність жорсткого фіксування руки і передпліччя, недостатня точність, чутливість до зовнішніх впливів і громіздкістю обладнання.

2. Акселерометр. У відповідь на стимуляцію відбувається скорочення м'язи, керамічний п'єзоелектричний трансдюсер отримує прискорення, в результаті чого його маса тисне на тензоелемент з силою, пропорційною прискоренню руху. Основною вимогою для його проведення є достатня рухливість м'яза, що скорочується.

3. Фономіографія. Суть методу полягає в тому, що під час скорочення м'язи створюють акустичну хвилю (так званий м'язовий шум), який можливо зареєструвати за допомогою спеціального мікрофона.

4. Електроміографія. Вимірювання викликаних електричних м'язових відповідей. Для проведення електроміографії використовують м'язи, що інервуються n. ulnaris або n. medianus. Викликані електроміографією відповіді отримують з м'язів thenar або hypothenar кисті або з першої дорсальної m. Interosseus [7].

Найбільш перспективним методом є акселерометричний, тому що він володіє такими перевагами: датчики прискорення менш схильні до електромагнітним наведенням, можливість застосовувати в проекції багатьох нервів. Дані метод має і ряд недоліків: неможливість використовувати для оцінки дії малих доз міорелаксантів, схильний до артефактів [6].

Метою удосконалення даного методу є усунення наведених недоліків. Для того, що б оцінювати дію малих доз міорелаксантів, необхідно застосовувати високочутливі датчики прискорення. При їх використанні з'явиться проблема в оцінці отриманих даних, тому що корисний сигнал буде мало відрізнятися на фоні природних шумів (рух місця, де встановлений датчик, внаслідок природних життєвих процесів, маніпуляцій при операції, артефактів). Задля зниження шумів можна ввести в конструкцію сенсора додатковий датчик, який встановлюється якомога ближче до першого, але так, щоб він не знаходився в проекції стимульованого нерва. Далі за сигналами основного і опорного датчика за допомогою математичного апарату, можна точніше виділити корисний сигнал.

Блок формування цифрових даних забезпечує аналогову фільтрацію сигналів інтерпретатора, їх посилення і перетворення в цифровий вигляд. Постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ) необхідно для збереження даних за весь період операції.

Блок індикації та візуалізації приладу в залежності від конструктивного виконання може містити дисплей, на якому виводяться дані про встановлений режим ЕНС, оцінці відповіді на ЕНС, заряд батареї живлення, або містити тільки індикатори включення приладу.

Блок управління приладу може містити елементи управління, які забезпечують перемикання режимів ЕНС, регулювання вихідного значення сили струму ЕНС, управління записом даних.

Блок сполучення із зовнішнім пристроєм виконує передачу оброблених даних з модуля на монітор пацієнта і команди управління в зворотному напрямку. Якщо це окремий прилад, то цей блок може передавати дані на персональний комп'ютер, або, взагалі, відсутні - дані можуть бути зняті з ПЗП.

Блок живлення приладу забезпечує перетворення вхідного напруга мережі 220 В і 50 Гц (або батареї) в напруга живлення елементів приладу, в тому числі в максимальне напруження ЕНС 300 В.

## **ВИСНОВКИ**

Моніторинг НМБ при операціях з використанням анестезії є необхідним для успішного виконання операцій і запобігання ускладнень в післяопераційний період. Для забезпечення інструментальної оцінки НМБ використовуються прилади з представленої загальною структурою.

Подальшими перспективами розвитку моніторингу НМБ є поліпшення методів інтерпретації сигналів. Концепцією розвитку акселерометрического методу є розробка нової конструкції датчика, із застосуванням високочутливих акселерометрів, а також додаткового опорного сенсора.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Калакутский Л.И., Манелис Э.С. Аппаратура и методы клинического мониторинга: учебное пособие. — Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 1999. — 161 с.
- [2] Новые мышечные релаксанты в клинической анестезиологии / Б.Р. Гельфанд, Т.Ф. Гриненко, П.А. Кириенко, А.Г. Борзенко // *Consilium medicum*. — 2001. — № 1. — С. 4–10.
- [3] Неадекватная миоплегия и остаточная кураризация – значимость проблемы с точки зрения анестезиолога и хирурга / П.А. Кириенко, Е.С. Горобец, А.В. Бабаянц и др. // *Анестезиология и реаниматология*. — 2011. — № 5. — С. 35–38.
- [4] Скрупский Ф.В. Современные методы мониторинга нейромышечной блокады [Текст] / Ф.В. Скрупский, Г.С. Тымчик, Н.В. Стельмах // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. — 2013. — 6 (83). — С. 59-63
- [5] Велигоцький, Д.В. Апаратно-програмний комплекс для неінвазивного діагностування карбоксигемоглобіну в потоках крові [Текст] / Д.В. Велигоцький, Н.В. Стельмах, С.О. Мамілов, С.С. Єсьман // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. — 2012. — 1/1 (72). — С. 71-74
- [6] Viby-Mogensen J., Casper C. Is the performance of acceleromyography improved with preload and normalization A comparison with mechanomyography // *Anesthesiology*. — 2009. — Vol. 110, № 6. — PP. 1261– 1270.
- [7] Мониторинг нервно-мышечного блока в анестезиологии: учебно-методическое пособие / С.С. Грачев, А.Е. Скрыгин, И.М. Ровдо, И.З. Ялонецкий. — Минск: БГМУ, 2012. — 23 с.

*Наук. керівник – доц. Стельмах Н.В.*

УДК 57.087:612.741.1

О. А. Прутула, студент гр. ПБ-82мп, асистент Вонсевич К.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ М'ЯЗІВ МЕТОДОМ FORCE-МІОГРАФІЇ

**Анотація.** У роботі розглянуто особливості реєстрації біологічного сигналу м'язів та основні засоби для практичної реалізації методу Force-міографії. Описано залежність точності класифікації жестів від типу датчиків, їх кількості, просторового розміщення та фіксації у вимірювальному пристрої. Визначено основні типи датчиків, що використовуються для реєстрації біологічного сигналу та проаналізовано загальні принципи їх роботи, розглянуто основні переваги та недоліки. Окрім того, в роботі було представлено блок – схему системи вимірювання Force-міографічного сигналу і охарактеризовано її складові частини.

**Ключові слова:** Force-міографія, оптоволоконні датчики, тензо – датчики, резистивні датчики зусилля, п'єзоелектричні датчики.

### ВСТУП

Вивчення і класифікація рухової активності м'язів верхніх кінцівок є популярною темою при розробці різноманітних пристроїв для діагностики і реабілітації, систем розпізнавання жестів, тощо. При цьому, більшість методів вимірювання активності м'язів [1] працюють за принципом реєстрації потенціалу, що виникає внаслідок руху окремих одиниць м'язів чи сухожиль, кінцівки людини. Реєстрація біологічного сигналу м'язів зазвичай здійснюється за допомогою спеціальних датчиків, що можуть відрізнятися за принципом дії та конструкцією залежно від методу проведення вимірювань і кінцевої мети дослідження [2, 3]. Для реєстрації сигналів м'язів методом Force-міографії можуть використовуватись декілька видів сенсорів, обмеження щодо вибору яких встановлюються лише за окремими характеристиками (чутливість, динамічний діапазон, тощо), а не за фізичною природою датчику [4]. Серед основних видів сенсорів, що застосовуються для Force-міографії (рис. 1) виділяють: оптоволоконні датчики, датчики опору (RSG), тензо – датчики (FSR), резистивні датчики зусилля (FSS) та п'єзоелектричні датчики.

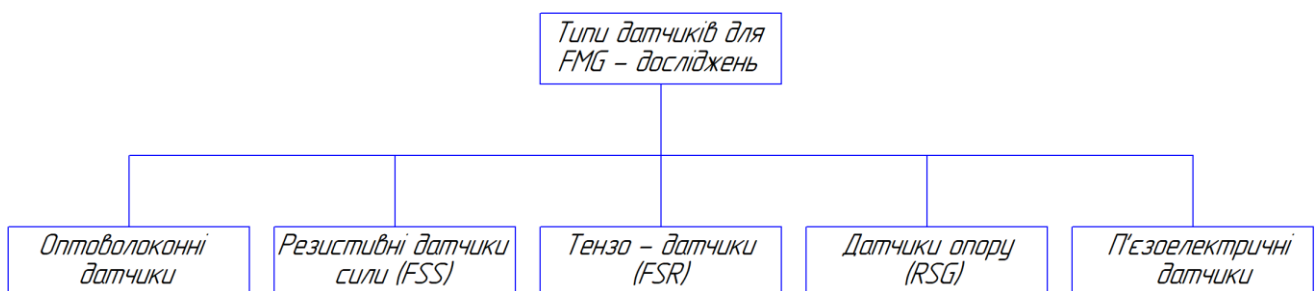


Рисунок 1. Типи датчиків для FMG-досліджень

При цьому, сенсор є одним із основних елементів вимірювальної апаратури для Force-міографії, від ефективності роботи якого залежить як інформативність та якість вимірюваних сигналів м'язів, так і подальша точність їх класифікації.

Метою даної роботи є огляд основних особливостей застосування п'єзоелектричних та тензорезистивних датчиків при Force-міографії м'язів

верхніх кінцівок людини, що можуть бути використані у системах типу мозок-комп'ютер (Brain-Computer interfaces), чи у протезних пристроях .

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Для проведення вимірювань за допомогою методу Force-міографії, зазвичай використовується вимірювальна апаратура, із виконанням конструкції типу «браслет», яка одягається на вимірювальну зону кінцівки пацієнта (зап'ястя, передпліччя, тощо). При цьому, кількість датчиків для Force-міографії (розміщених у вимірювальному приладі, на чітко визначеній відстані один від одного), зазвичай становить від 3-х до 126-ти, та залежить від мети кожного конкретного дослідження [4, 6].

Робота тензорезистивних (FSR) датчиків ґрунтується на тензорезисторі, що зафіксований на пружному елементі. Прикладена до такого датчику сила викликає деформацію пружного елемента. При цьому, ступінь деформації є прямо пропорційним до прикладеної сили і обчислюється за рахунок зміни опору [5]. Особливістю таких датчиків є те, що вони мають незначний час відгуку і хорошу чутливість, однак для зменшення нелінійності й забезпечення плавності вихідної характеристики, повинні бути включені у спеціальні вимірювальні схеми. В свою чергу, п'єзоелектричні сенсори це гнучкі компоненти, що складаються із п'єзоплівки, котра має здатність зміщуватися під час прикладенням до неї зовнішнього механічного впливу, викликаючи тим самим високі напруги в середині п'єзополімеру [6]. П'єзоелектричні датчики мають широкий динамічний діапазон, високу чутливість і в загальному випадку – є досить ефективними для використання у задачах Force-міографії. Однак, варто зазначити, що вихідний сигнал таких сенсорів, перед його обробкою в аналогово-цифровому перетворювачі вимірювального приладу, повинен обмежуватись по амплітуді та фільтруватись за допомогою відповідних електронних схем. Якщо ж говорити про практичне застосування зазначених сенсоров у Force-міографії та процес формування вихідного сигналу активності м'язів, то: у FSR-датчику відбувається зміна амплітуди вихідної напруги сенсору за рахунок зміни вхідного опору, а для п'єзоелектричних сенсорів характерним є генерування високої вихідної напруги в середині п'єзополімерів (внаслідок тиску м'язів на чутливу поверхню датчику).

На рис. 2. показано узагальнену схему вимірювання Force-міографічного сигналу для тензорезистивних та п'єзоелектричних датчиків.

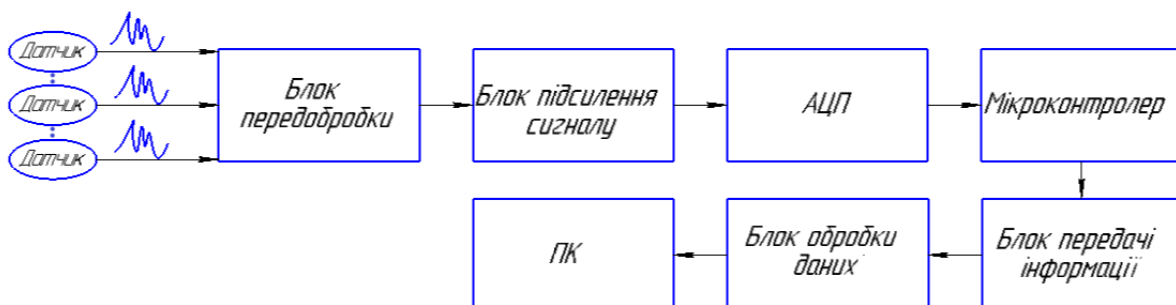


Рисунок 2. Узагальнена схема вимірювання Force-міографічного сигналу



Система вимірювання Force-міографічного сигналу містить у своєму складі: блок передобробки, блок підсилення сигналу, аналогово-цифровий перетворювач, мікроконтролер, а також обробки та передачі інформації на ПК.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У цій статті авторами було проаналізовано особливості застосування основних сенсорів, що використовуються для вимірювання force-міографічних сигналів. Зокрема: розглянуто загальні принципи роботи сенсорів, визначено особливості їх просторового розміщення. Визначено можливості практичного застосування зазначених сенсорів та особливості процесу формування вихідного сигналу активності м'язів для кожного з типів датчиків. Показано узагальнену схему вимірювання Force-міографічного сигналу для тензорезистивних та п'єзоелектричних датчиків.

Приклад вихідних force-міографічних сигналів, отриманих за допомогою тензорезистивних та п'єзоелектричних датчиків, використаних в запропонованій авторами вимірювальній схемі показано на рис. 3.а та рис. 3.б.

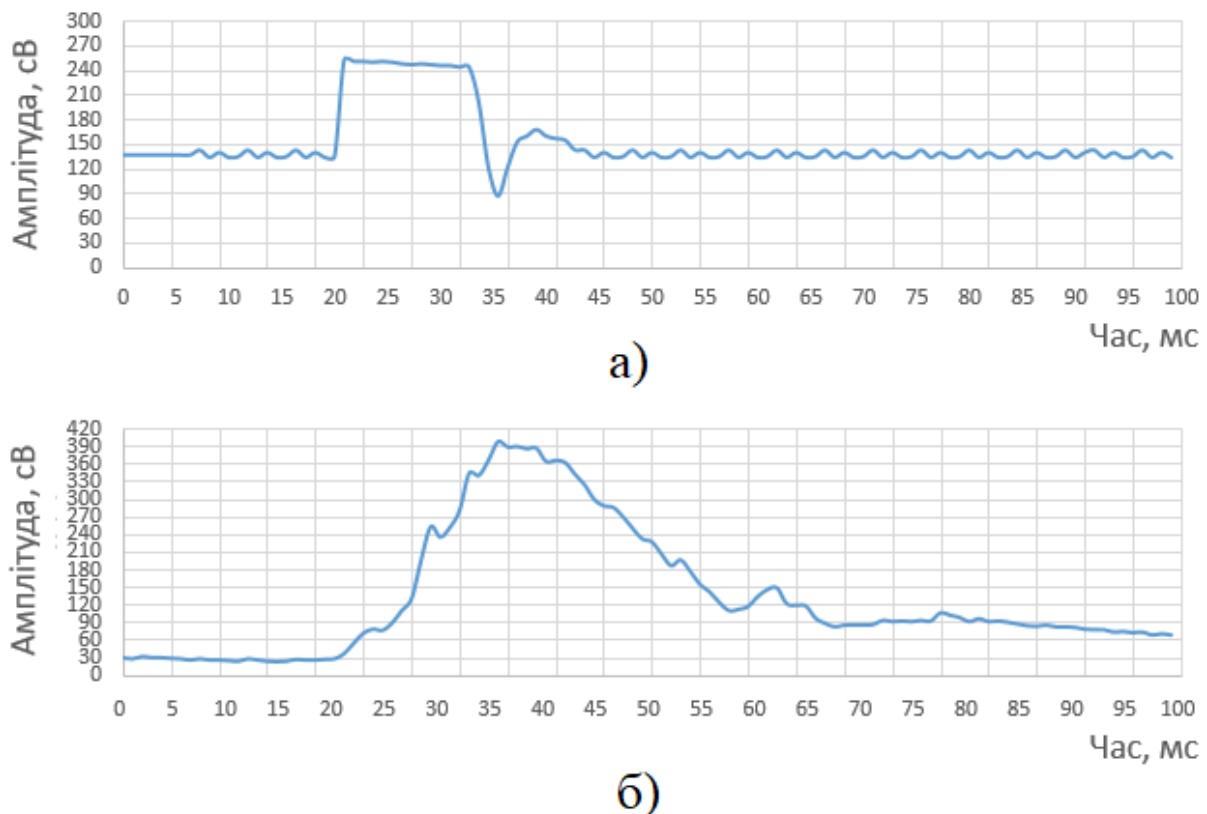


Рисунок 3. Приклад FMG-сигналу вимірюного підчас стискання руки в кулак: а) за допомогою тензорезистивного датчику, б) за допомогою п'єзодатчику.

Як видно з рисунку обидва види сигналів є інформативно-значимими і можуть бути використані в задачах протезування чи системах розпізнавання жестів, після визначення набору їх характеристик та проведення класифікації за допомогою спеціальних методів машинного навчання [7, 8].

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Vonsevych, K. (2017). Information-measuring system of myograph of bionic limb prosthesis. *Perspektyvni Tekhnolohii ta Prilady*, 10(1), 32-37.
- [2] Bezuglyi, M. A., Bezuglaya, N. V., Ventsuryk, A. V., & Vonsevych, K. P. (2019). Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method. *Приборы и методы измерений*, 10(2).
- [3] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Prytula, O. A. (2019). OPTICAL FEEDBACK BASED ON THE PHOTOMETRYBY ELLIPSOIDAL REFLECTOR IN BIONIC FINGERS APPLICATION. *KPI Science News*, (3), 63-72.
- [4] Franti E, Milea L, Verona B. Methods of Acquisition and Signal Processing for Myoelectric Control of Artificial Arms / E. Franti, L. Milea, B. Verona // ROMANIAN JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY. – 2012. – № 2 – С. 91–105.
- [5] Radmand, A., Scheme, E., Englehart, K.: High-density force myography: a possible alternative for upper-limb prosthetic control. *J. Rehabil. Res. Dev.* 53(4), 443–456 (2016)
- [6] Jiang, X., Merhi, L.-K., Menon, C.: Force exertion affects grasp classification using force myography. *IEEE Trans. Human-Machine Syst* (2017, accepted)
- [7] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. *Naukovi Visti NTUU KPI*, (1), 45-53.
- [8] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62(1), 23-33.

*Наук. Керівник - д.т.н., доцент Безуглий М. О.*

УДК 004.896

О.Д. Рудий, студент гр. БП-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОБРОБКА СИГНАЛУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДИНИ

**Анотація.** У роботі наведено існуючі методи біометричної ідентифікації та розглянуто їх недоліки, переваги та обрано метод для проведення експерименту. Розглянуто основні етапи процесу ідентифікації та виявлено головну проблему – виділення ознак, що характеризують об'єкт. У роботі використовувалась біометрична система, яка заснована на електричній активності людського серця у формі сигналів електрокардіограми (ЕКГ). Було виконано дослідження за допомогою стенду для медичних вимірів KL-720, де в результаті отриманий сигнал електричної активності серця мав ряд артефактів і шумів. В роботі було проведено фільтрацію знятого сигналу для подальшого використання біометричними системами ідентифікації особистості та встановлено відповідні параметри і характеристики для біометричної ідентифікації.

**Ключові слова:** електрокардіограма, біометрична ідентифікація, автентифікація, параметри ЕКГ, високочастотний шум, низькочастотний шум, Z-масштабування, ФВЧ Баттерворда.

### ВСТУП

На сьогоднішній день прослідковується необхідність в використанні біометричної автентифікація, яка за допомогою біологічних характеристик підтверджує особистість людини. Дані системи мають високий рівень захисту, так як оцінюють фізичні параметри і характеристики конкретної особистості. Біометричні системи контролю доступу зручні для користувачів тим, що необхідна інформації знаходяться завжди при людині і не може бути загублена, вкрадена чи фальсифікована. Такий контроль доступу є більш надійним оскільки ідентифікатори не можуть бути передані третім особам або бути скопійованими з метою обходу системи захисту [1,2] та скоєнню злочину. Також з розвитком медицини та медичного приладобудування біометрична ідентифікація дозволить систематизувати, коректно зберігати дані обстеження про пацієнтів та мінімізувати людський фактор впливу на результат.

### ОГЛЯД МЕТОДІВ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Методи біометричної ідентифікації особистості (рис.1) поділяються на статичні, які незмінні в часі, і динамічні - процес вимірювання відбувається деякий час необхідне для знаходження персональних характеристик. Статичні методи мають ризик отримання інформації третіми особами. Наприклад, ідентифікацію по обличчю легко замінити по фотографії, однак існує подібний спосіб - по райдужній оболонці ока, але він має свої незручності [1,2]. Метод ідентифікації за відбитками пальців використовується більшістю людей щодня (смартфони, офіси, платіжні системи), але для захисту важливої і конфіденційної інформації метод небезпечний, так як існує безліч методів за допомогою яких легко зробити зліпок і виготовити макет пальця з ідентичним відбитком для легкого обходу системи.

Запобігання помилок, пов'язаних з ідентифікації особистості в медичних установах має велике значення, так як важливо визначити особистість пацієнта перед проведенням будь-якої медичної маніпуляції чи встановлення діагнозу. Для таких цілей використовують систему контролю і управління доступом (СКУД) призначену для ідентифікації особи, автоматичного надання доступу

до інформації. На жаль, законодавчого документа про впровадження процесу ідентифікації не існує. А це значить, дуже важливо розробити локальний алгоритм ідентифікації пацієнта.

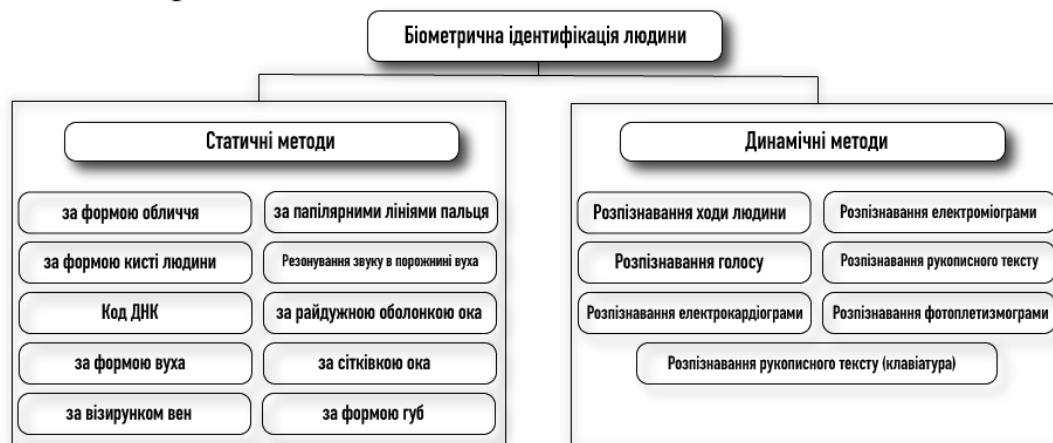


Рисунок 1. Класифікація біометричної ідентифікації особистості

Щоб підібрати метод з меншою вартістю витрат, але з достатньою точністю визначення особистості необхідно порівняти кожен з можливих. У таблиці 1 показано порівняння методів за основними параметрами [2].

Таблиця 1. Порівняння методів біометричної ідентифікації особистості

Біометрична SKUД використовує	FAR %	FRR %	Фальсифікація	Незмінність характеристик	Чутливість до зовн. факторів	Швидкість автентифікації	Вартість
Відбиток пальця	0,001	0,6	Можлива	Низька	Висока	Висока	Низька
Розпізнавання форми лица 2D	0,1	2,5	Можлива	Низька	Висока	Середня	Середня
Розпізнавання форми лица 3D	0,0005	0,1	Проблематична	Висока	Низька	Низька	Висока
Райдужна оболонка ока	0,00001	0,016	Безуспішна	Висока	Середня	Висока	Висока
Сітківка ока	0,0001	0,4	Неможлива	Середня	Висока	Низька	Висока
Візирунок вен	0,0008	0,01	Неможлива	Середня	Середня	Висока	Середня
Розпізнавання за плетизмограмою	0,0007	0,01	Проблематична	Середня	Середня	Висока	Низька
Розпізнавання за електрокардіограмою	0,0005	0,01	Проблематична	Середня	Середня	Висока	Середня

Де FAR - коефіцієнт помилкового пропуску, тобто відсоток виникнення ситуацій, коли система дозволяє доступ користувачу, незареєстрованим в системі, а FRR - коефіцієнт помилкового відмови, тобто відмова в доступі справжньому користувачеві системи.

Фальсифікація біометричних даних для отримання інформації та контролю є складним процесом, який можливий при спеціальній підготовці і особливого технічного супроводу. Виходячи з цього було запропоновано використовувати сигнал електричної активності серця, оскільки електрична активність кожної людини унікальна і має високий ступень захисту.

Процес ідентифікації можна умовно розділити на наступні стадії:

- збір вихідних даних;
- попередня обробка сигналу (фільтрація і т.д.);
- витяг характерних ознак, їх обробка і створення шаблону;
- порівняння надходить шаблону з базою даних сформованих шаблонів.

Основна проблема при біометричній ідентифікації є виділення ознак, які характеризують об'єкт. Існують підходи, засновані на виділенні таких параметрів, як амплітуди, кути, вертикальні і горизонтальні складові сегментів ЕКГ-сигналу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТУ

Для отримання ЕКГ в роботі використовувався навчальний стенд для проведення біомедичних вимірювань KL-72001 (рис.2) та модуль електрокардіограми KL-75001. Модуль використовує 6 відведень від кінцівок для зняття електрокардіограми. Контур вибору відведення містить ланцюг повторювача напруги для узгодження імпедансу між електродом і шкірою, що підсилює чутливість вимір.

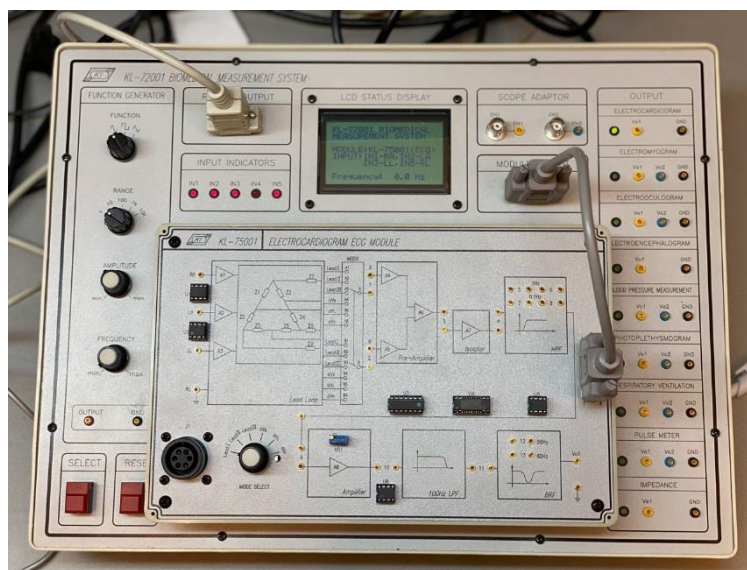


Рисунок 2. Загальний вигляд стенду для реєстрації ЕКГ

Розв'язує контур використовує оптичний метод та передбачений для ізоляції сигналу і лінії джерела живлення. Смуга пропускання смугового фільтра становить 0,1 - 100 Гц, а коефіцієнт посилення підсилювача дорівнює 10. Після того, як сигнал проходить через режекторний фільтр із середньою частотою 50 Гц, він відображається на екрані.

У дослідженні використовувати перше відведення, за яким чітко можна виявити необхідні зубці й періоди електричної активності серця. Для проведення аналізу ЕКГ сигнал фіксувався в один і той же час доби з однаковими умовами у представника чоловічої статі (вікова група 20-25 роки).

В результаті вимірювання біоелектричних процесів в міокарді за допомогою електрокардіографа і записи сигналу в цифровий вигляд ми зіткнулися з низкою проблем, таких як низькочастотний дрейф, шум і т.д [3, 4]. Для аналізу було вибрано ділянку з найменшим впливом перешкод, та проведено фільтрацію сигналу.

В роботі було запропоновано алгоритм обробки ЕКГ для проведення біометричної ідентифікації (рис.3), де було виділено досліджувані ділянки ЕКГ та проведено цифрову фільтрацію сигналу. Так як характерні ознаки

електрокардіограми можуть не бути виявлені через шуми, то необхідно використовувати кілька методів фільтрації. Для первинної фільтрації використано Z-масштабування даних на основі середнього значення і стандартного відхилення: розподіл різниці між змінною і середнім значенням на стандартне відхилення [5].

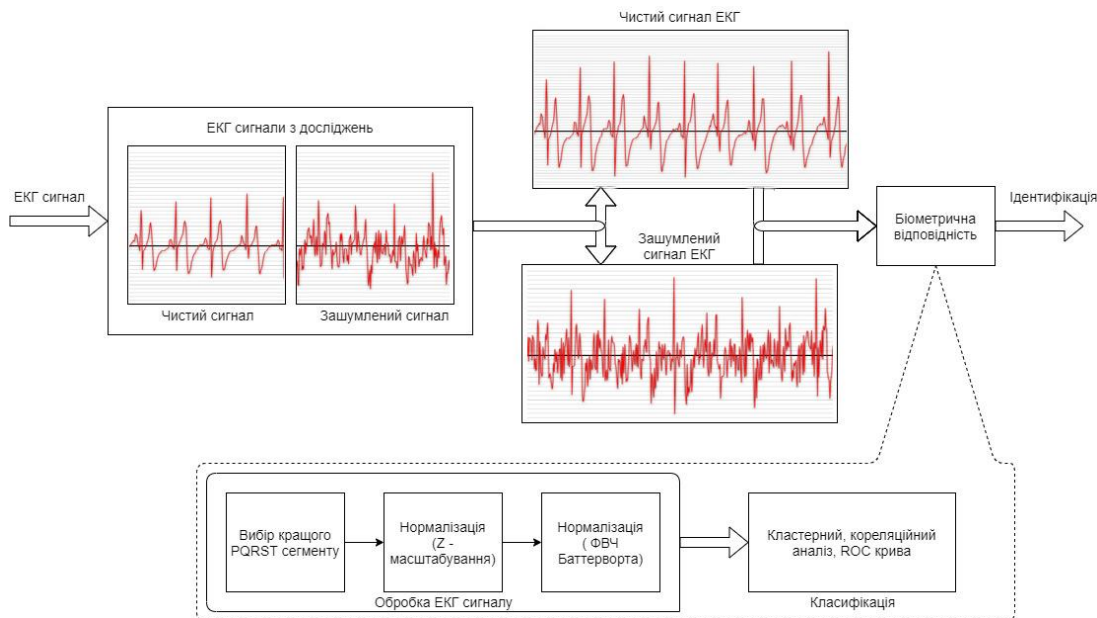


Рисунок 3. Алгоритм обробки сигналу ЕКГ для проведення біометричної ідентифікації

Після нормування виконується фільтрація сигналу від шумів. Всі шуми властиві електрокардіограмі можна розділити на[6]: низькочастотний шум (блукання базової лінії, викликане диханням, потовиділенням, рухом досліджуваного), вплив частоти живлення (погане заземлення електрокардіографа) та високочастотний шум (шум окремого серцебиття).

Для видалення таких шумів використовуємо ФВЧ Баттерворда [7]. Перевагою такого фільтра є максимально гладка АЧХ на частотах смуги пропускання і її зниження практично до нуля на частотах смуги приглушення.

В якості критеріїв аналізу взяли 30 параметрів, що характеризують форму сигналу. Для скорочення числа параметрів і виділення індивідуальних ознак проведено кореляційний аналіз між обраними характеристиками, та отримано комбінацію, що складається з 8-ми змінних, які описують один імпульс ЕКГ [8].

Для ідентифікації було використано метод формального незалежного моделювання класів. Даний метод дозволяє працювати з великою кількістю параметрів класифікуючи спектроскопічні дані.

Було використано метод головних компонент, який є методом зниження розмірності або стиснення даних, за допомогою якого отримали дані зі значно меншою розмірністю та без втрати даних, що описують вибірку.

Після побудови показників ЕКГ головних компонент в просторі можливо обчислити відстань між класами, а також відстань від кожного класу до нового об'єкта. У цьому просторі задають класифікаційне правило, що використовується для ідентифікації.

## **ВИСНОВКИ**

Біометричної ідентифікації людини по ЕКГ досить складний процес, де основним завданням є вивчення можливості виділення індивідуальних характеристик електричної активності людського серця. Необхідною умовою є формування шаблону компонентів у яких статистичний метод аналізу показав найбільший приріст дисперсії. Дана робота показала високий потенціал використання ЕКГ для автентифікації з недорогими датчиками, що дозволяє вбудовувати їх в автоматизовані системи для мінімізації помилок і виключити фальсифікацію даних.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Биометрия: учеб. пособие / Л. В. Горбунов, Н. Ф. Клещев. – Х. : НТУ «ХПИ», 2014. – 160 с
- [2] Sidek, K. A., Khalil, I., & Jelinek, H. F. (2014). ECG Biometric with Abnormal Cardiac Conditions in Remote Monitoring System. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 44(11), 1498–1509. doi:10.1109/tsmc.2014.2336842
- [3] Яковенко И. А., Клочко Т. Р., Пельх А. Н., Леус Е. А. Повышение достоверности неинвазивного анализа макроэлементов в крови методом цифровой обработки ЭКГ // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. 2010. №42.
- [4] Яковенко И.А., Клочко Т.Р., Леус Е.А. Автоматизация обработки ЭКГ для повышения достоверности диагноза // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 156-163.
- [5] Artificial intelligence could use EKG data to measure patient's overall health status [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/08/190827084744.htm>.
- [6] Биометрическая идентификация, основанная на ЭКГ. // Вестник РГМУ. – 2016. – С. 38–42.
- [7] Расчет и проектирование цифровых фильтров : [учеб.-метод. пособие] / в. г. коберниченко. — екатеринбург : изд-во урал. ун-та, 2013. — 64 с.
- [8] Сабанов А. Г. Сравнительный анализ методов биометрической идентификации личности / А. Г. Сабанов, С. Г. Смолина // Труды ИСА РАН / А. Г. Сабанов, С. Г. Смолина., 2016. – С. 11–20.

*Науковий керівник: асистент Яковенко І.О.*



УДК 617.3

*О.В.Руцька, студентка; М.Ф. Терещенко, к.т.н. доц.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ВАКУУМНОЇ АБСОРБЦІЇ ТА САНАЦІЇ РАН**

**Анотація** Новітня методика очищення та лікування поверхні ран, що пришвидшує виздоровлення пацієнта та зменшує ризик зараження і подальшого ускладнення при різних видах ран. Комплексна система включає в себе вакуумну очистку ранової поверхні від сторонніх включень та інтенсивну обробку ушкоджених тканин розпилюваним розчином лікувального препарату. Впровадження такого методу сприяє швидшому загоєнню рани, забезпечує стерильні умови та мобілізує механізми, що сприяють інтенсивній грануляції тканин та швидшій фазі регенерації.

**Ключові слова:** вакуумна абсорбція, санація, ультразвуковий розпилювач.

### **ВСТУП**

Тіло - це складний механізм, і динамічний процес загоєння ран є прекрасним прикладом того, як різні системи нашого організму разом з правильними методами по догляду за ранами спільно працюють над зміною пошкоджених тканин. В стерильних умовах, без впливу зовнішніх факторів зараження і не маючи ніяких захворювань, що можуть впливати на процес загоєння рани (наприклад діабет), даний процес проходить швидко і не несе ніякої загрози [1]. Проте, якщо хоч один з цих негативних факторів впливу є можливе погіршення стану пацієнта, час виздоровлення і можливий непередбачуваний фатальний результат. Саме з цієї причини було розроблено комплексну систему вакуумної абсорбції та санації ран[2].

Комплексна система вакуумної абсорбції та санації ран – це новітній метод лікування. Використання даного методу сприяє швидшому загоєнню рани, забезпечує стерильні умови та мобілізує механізми, що сприяють грануляції тканин та швидшій регенерації. Дана система складається з апарату для вакуумної абсорбції та ультразвукового розпилювача, що в комплексному використанні сприяють інтенсивному відновленню здоров'я пацієнта.

### **МЕТА РОБОТИ**

Дослідження впливу комплексної системи вакуумної абсорбції та санації ран на очищення поверхні шкіри та порівняння з іншими методами очищення.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Вибір методу очищення поверхні рани це перший і визначальний етап успішного лікування пацієнта, особливо з ранами великої тяжкості.[3] Було проведено експерименти, які показують вплив різних методів очищення та порівняння їх з очищенням за допомогою комплексної системи вакуумної абсорбції та санації ран [4].

В даній роботі розглядалися такі методи очищення(рис.1):

- 1) Звичайний - стандартизований метод очищення – використання антисептичних препаратів[5].
- 2) очищення з використанням аспіратора вакуумного та антисептичних препаратів [6].



3) очищення з використанням комплексної системи вакуумної абсорбції та санації ран з антисептичними препаратами[7].

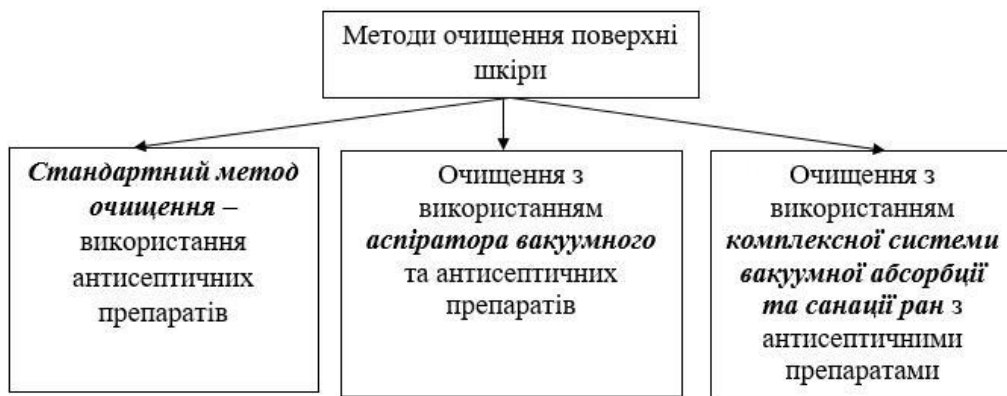


Рис.1 Класифікація методів очищення поверхні рани

Так, в якості антисептичних препаратів використовувались:

- 1) Хлоргексидину (0,05% розчин); 2) Перекись водню ; 3) Антисептика рук; 4) Настоянки календули; 5) Дистильованої вода.

Методика проведення дослідів (рис 2):



Рис. 2 Методи проведення дослідів

Так на рис.3 приведено візуальне порівняння методів очищення шкіри, де:

- 1) використання стандартного методу
- 2) використання аспіратора вакуумного
- 3) використання комплексної системи вакуумної абсорбції та санації ран.

Для визначення забуднення використовувався тестер для *Xiaomi Mi TDS*

Pen.

СЕКЦІЯ №8 — ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ.

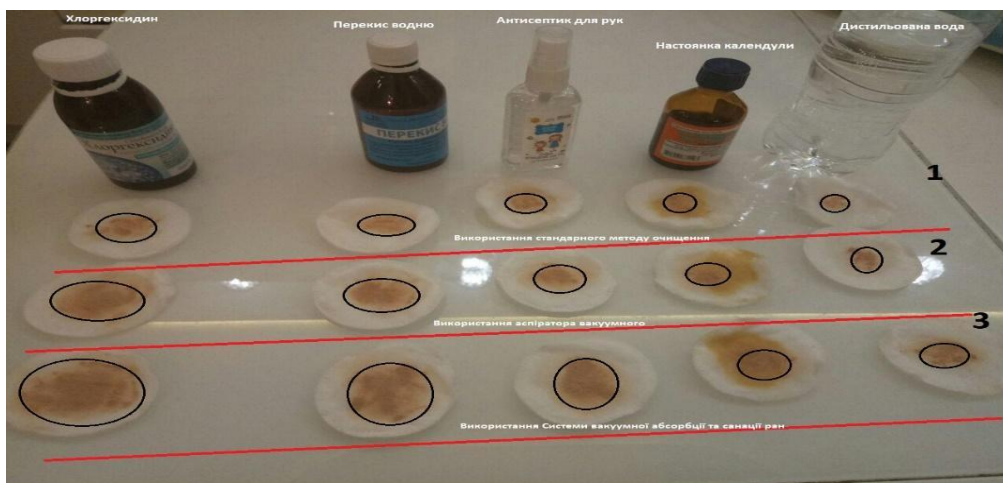


Рис.3 Використання методів очищення поверхні шкіри

Було проведено 20 дослідів з піддослідними різної статі та віку і визначено основні параметри та особливості застосування даних методів. Так в таблиці(рис.4, 5) було занесено значення частинок на одиницю об'єму при різних дослідях.

№	Вік	Стать	Хлоргексидин			Перекис водню			Антисептик (спиртовмісний)			Настойка календули			Вода		
			Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3
Пацієнт №1	19	Чоловік	73	97	125	64	90	103	69	85	96	66	82	92	65	82	91
Пацієнт №2	20	Чоловік	74	95	126	62	87	100	71	84	91	66	83	91	68	83	89
Пацієнт №3	20	Чоловік	70	90	124	60	90	104	74	84	92	67	80	89	69	85	89
Пацієнт №4	22	Чоловік	71	99	126	69	92	110	66	87	94	64	84	94	67	84	93
Пацієнт №5	27	Чоловік	74	101	130	70	96	105	65	89	100	68	81	96	67	85	95
Пацієнт №6	35	Чоловік	76	103	134	73	95	118	65	91	102	69	88	99	71	86	100
Пацієнт №7	36	Чоловік	76	102	133	75	97	117	69	92	102	71	90	100	75	90	100
Пацієнт №8	45	Чоловік	82	99	135	77	96	123	79	93	108	72	92	102	76	93	99
Пацієнт №9	60	Чоловік	88	108	145	85	102	132	82	101	118	79	99	108	80	97	106
Пацієнт №10	68	Чоловік	90	120	152	86	105	135	86	108	122	84	102	110	85	101	112

Рис.4 Таблица дослідження чоловіків

№	Вік	Стать	Хлоргексидин			Перекис водню			Антисептик (спиртовмісний)			Настойка календули			Вода		
			Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3
Пацієнт №2	22	Жінка	64	86	108	61	82	94	58	79	90	54	73	84	53	73	82
Пацієнт №3	26	Жінка	62	89	102	60	87	99	56	80	92	52	72	84	54	74	81
Пацієнт №4	32	Жінка	67	90	108	65	86	103	62	81	96	58	76	90	58	77	89
Пацієнт №5	37	Жінка	70	88	106	66	90	104	64	81	98	59	76	92	60	80	89
Пацієнт №6	38	Жінка	70	90	108	66	89	103	67	82	100	61	75	93	61	79	91
Пацієнт №7	44	Жінка	75	95	114	69	90	108	72	88	102	70	78	95	68	85	96
Пацієнт №8	51	Жінка	78	97	117	72	93	107	68	92	102	69	79	97	69	87	98
Пацієнт №9	72	Жінка	82	98	135	78	96	115	73	94	108	70	85	104	71	92	104
Пацієнт №10	80	Жінка	91	104	142	84	100	121	80	97	115	78	89	111	75	95	110

Рис.5 Таблица дослідження жінок

Значення кількості твердих частинок у воді, де проводились досліді – 46 част./мл. При використанні методів кількість частинок збільшилась:

для чоловіків : Стандартний метод = 0.361%; Використання аспіратора вакуумного = 0.551%; Використання системи вакуумної абсорбції та санації ран = 0.745%

для жінок : Стандартний метод=0.299%; Використання аспіратора вакуумного = 0.472%; Використання системи вакуумної абсорбції та санації ран = 0.667%

## ВИСНОВКИ

Розглядаючи дані дослідження і значення вмісту твердих частинок у воді після використання різних методів, можна зробити висновок, що при індивідуальних особливостях людей різної статі і вікової групи найкращі показники очищення були отримані з використання системи вакуумної абсорбції та санації ран. Дана система є значним кроком у лікуванні ран різної тяжкості і як видно з дослідів її переваги на першому етапі очищення є значними, що сприяє швидшому і якіснішому выздоровленню пацієнтів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [2] Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов в биологическую ткань / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко 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
- [3] Руцька, О. В. Параметри глибини та якості очистки поверхні ран системою вакуумної абсорбції та санації ран / О. В. Руцька, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 329–332 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28139>
- [4] Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф. Тимчик Г. С., Чухраєв М.В. Кравченко АЮ. - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. -184 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>
- [5] Гюнтер Кампф Гигиена рук в здравоохранении: монографія. Издательство «Здоровье »,2005. -290 с.
- [6] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»,2019.- 288 с.ISBN 978-966-622-952-9 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [7] Руцкая, ОВ Многофункциональный ультразвуковой распылитель жидкости/ОВ Руцкая, НФ Терещенко//Новые направления развития приборостроения: Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17– 19 апреля 2019 г./Белорусский национальный технический университет; редкол.: ОК Гусев (пред. редкол.)[и др.].–Минск: БНТУ, 2019.–С. 144-145

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.*

УДК 616-71

*М.О. Турчина, студент гр. ПБз-82мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **БІОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЗАБОРУ ТА АНАЛІЗУ КРОВІ**

**Анотація.** В даній роботі проведено аналіз біометричних систем для ідентифікацій особистості, що можна використати для автоматизованих систем забору та аналізу крові. Запропоновано використання електричної активності серця для ідентифікації людини. Результати, отримані методом електрокардіографії, показали високий показник відповідності обраних ознак ЕКГ для окремої особистості, але для використання в автоматичних системах необхідно розробити алгоритм оптимізації та зменшення часу обробки сигналу та виділення ознак, що характеризують об'єкт.

**Ключові слова:** Біометрична ідентифікація, автоматизована система, забір крові, електрокардіограма.

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день для моніторингу стану здоров'я використовуються клінічні аналізи капілярної крові, що мають перевагу над методами забору артеріальної і венозної крові, так як вони реалізують простими засобами перфорації шкіри, що дає можливість проводити аналіз в польових умовах (за межами клінічної лабораторії) [1,2]. На етапах відбору зразка, оформлення відповідної документації транспортування аналізу, проведення дослідження, передача результату та його оголошення виникають похибки, що пов'язані з людським фактором (цілеспрямовані чи випадкові).

Метою роботи є пошук та реалізація біометричної ідентифікації пацієнта для автоматизованої системи забору та аналізу крові, що забезпечить захист від людського фактору та дозволить мінімізувати виникнення похибок на кожному етапі.

### **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ**

В роботах [2,3] було запропоновано розробку автоматизованої системи для забору крові з біометричною ідентифікацією (рис.1), яка забезпечує захист від таких помилок як підміна наступних даних:

- прізвище особи пацієнта з метою використання результатів дослідження іншою особою;
- взяття крові іншої особи після запису та маркування пробірки;
- заміна досліджуваної речовини в маркірованих пробірках.

Автоматизована система для забору крові з біометричною ідентифікацією складається з блоків (живлення, обробки та керування), модулів (фіксації кисті, ідентифікації та присутності людини, проколу шкіри, забору матеріалу та індикації відібраної рідини) та систем автоматичного пломбування зразка та машинного зчитування.

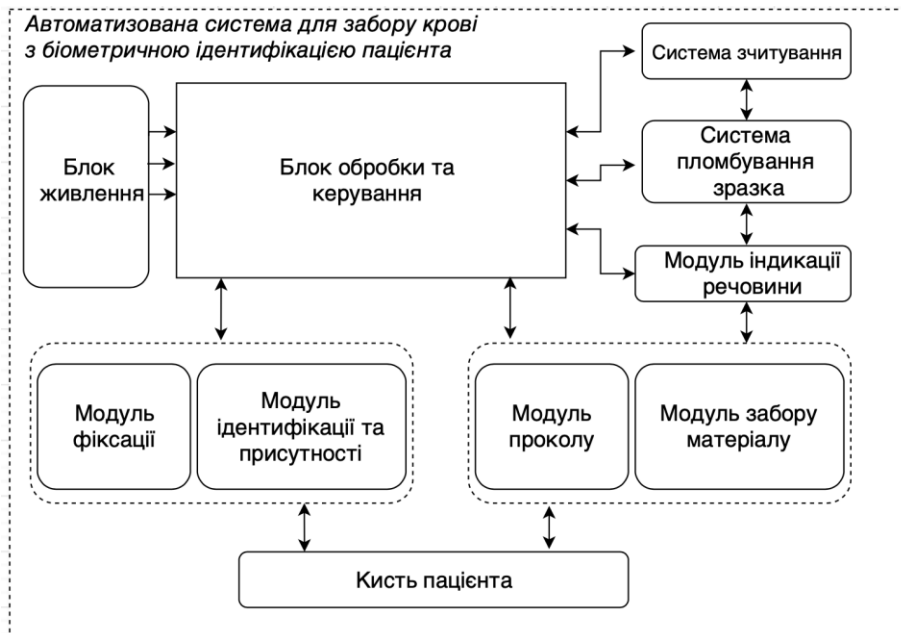


Рисунок 1. Структурна схема автоматизованої системи для забору крові

Запропонована автоматизована система для забору крові працює наступним чином: після встановлення кисті людини у систему сканування відбувається фіксація кришки так, щоб під час дослідження не було можливості замінити на іншу руку. Далі ідентифікації встановлює особистість пацієнта і записує дані до файлу дослідження. Необхідною умовою є моніторинг присутності людини, при ідентифікації, так як на сьогоднішній день існує безліч методів для підміни відбитку пальця. Після того, як було встановлено особистість пацієнта завдяки системі позиціонування відбувається перфорація шкіри та забір матеріалу. Модуль індикації речовини фіксує необхідний об'єм після чого система пломбування зразка забезпечує герметичний захист пробірки. Система зчитування фіксує штрих-код пробірки та записує данні до файлу дослідження. Пробірка готова до транспортування в лабораторію.

В даній роботі було проведено пошук та аналіз існуючих методів біометричної ідентифікації та автентифікації особистості та обрано метод, що дозволяє забезпечити надійність роботи системи.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Біометричні системи ідентифікації базуються на анатомічних, фізіологічних та поведінкових характеристиках. Анатомічні особливості засновані геометричній будові тіла (геометрія обличчя, руки). Фізіологічні засновані на безпосередньому вимірюванні частин тіла людини (розпізнавання вуха, відбитків пальців, долоні, друк, розпізнавання райдужної оболонки та розпізнавання серцебиття). Поведінкові характеристики відображають психологію особистості. Біометрична автентифікація серцебиття (електрокардіограма, фотоплетизмограма) працює в основному з сигналом електричної активності серця (живої людини), що дає переваги над іншими методами.

Для дослідження використовувався навчальний стенд для вивчення біомедичних вимірювань KL-72001 з модулем KL-75001 для визначення

електрокардіограми (ЕКГ). У дослідженні використовували перше відведення, за яким чітко можна виявити необхідні зубці й періоди електричної активності серця. Проведення аналізу ЕКГ фіксувалося в один і той же час доби з однаковими умовами у представника чоловічої статі у віковій групі 20-25 роки. Створено базу даних значення отриманого вольтажу кожного відліку та обрано еталоні ЕКГ по кожному експерименту (рис.2). В результаті вимірювання біоелектричних процесів в міокарді отриманий сигнал мав низькочастотний дрейф, шум і т.д [4, 5], який за допомогою цифрової фільтрації привели до необхідного виду для аналізу.

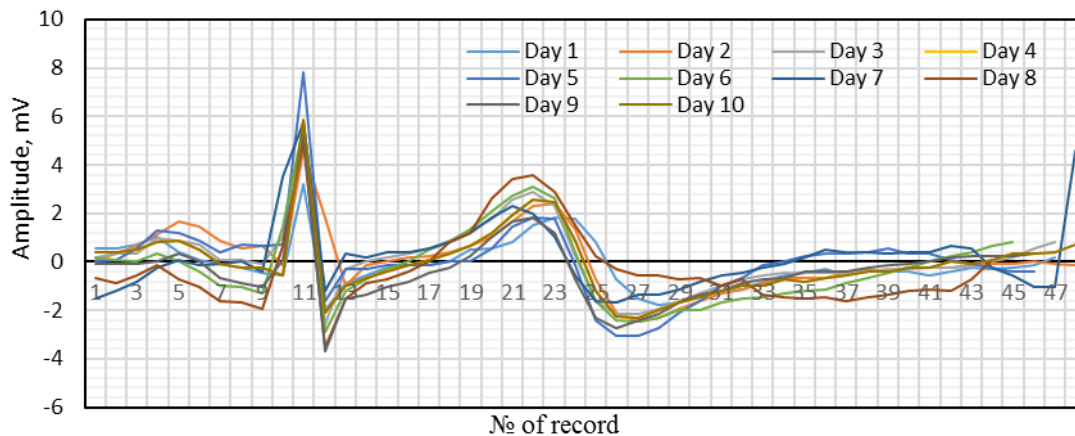
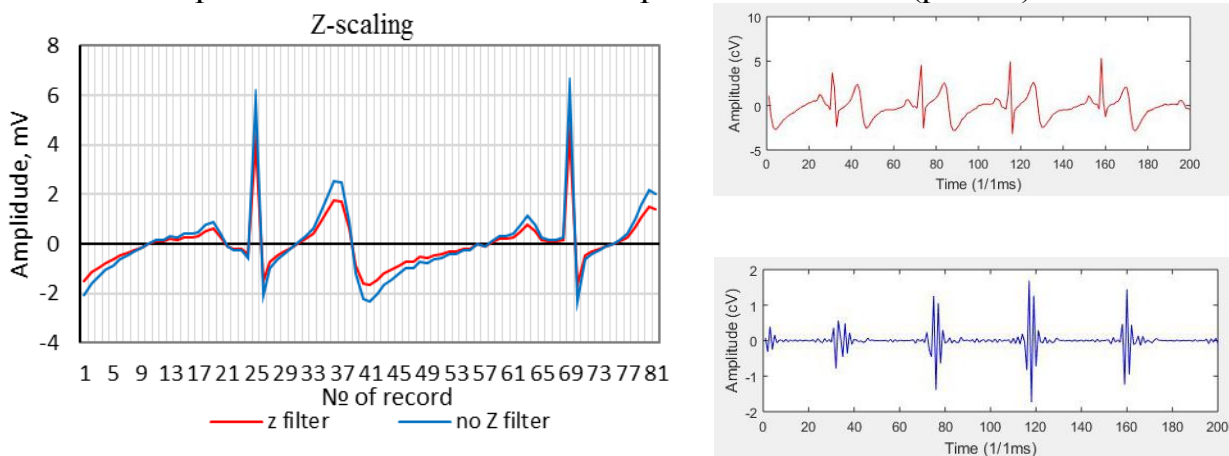


Рисунок 2. Графік еталонних кривих для кожного експерименту

Для первинної фільтрації використовуємо Z-масштабування даних на основі середнього значення і стандартного відхилення: розподіл різниці між змінною і середнім значенням на стандартне відхилення (рис.3а).



а)

б)

Рисунок 3. Методи фільтрації ЕКГ сигналу для виділення біометричних характеристик: а) Z масштабування даних; б) використання фільтра Баттерворта

Для видалення шумів (низькочастотний та високочастотний шум) використовуємо фільтр Баттерворда, що зберігає форму АЧХ (максимально гладка на частоті смуги пропускання та зниження до нуля на частоті смуги приглушення) для більш високих порядків (рис.3 б).

В якості основи аналізу було обрано 30 параметрів, що характеризують форму сигналу та за допомогою кореляційного аналізу виділення індивідуальних ознак скоротили число параметрів до восьми, які описують один імпульс ЕКГ. Для ідентифікації використовували метод формального незалежної моделювання аналогій класів, що дозволяє працювати з великою кількістю параметрів класифікуючи спектроскопічні дані.

## **ВИСНОВКИ**

З отриманих результатів можна зробити висновок, що застосування ЕКГ в біометричній ідентифікації з використанням недорогих датчиків для фіксування активності серця забезпечить надійну роботу автоматизованих медичних систем. Однак, виділення ознак з даного сигналу є складним процесом, що потребує додаткових алгоритмів та затрат часу на проведення аналізу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Jasna Lenicek Krleza. Capillary blood sampling: national recommendations on behalf of the Croatian Society of Medical Biochemistry and Laboratory Medicine/ Jasna Lenicek Krleza, Adrijana Dorotic // Biochem Med (Zagreb) – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4622200/> - 2015.
- [2] Макарова Т.Д. Автоматизована система перфорації шкіри та забору крові / Т.Д. Макарова, І.О. Яковенко // XV Міжнародна науково-технічна конференція «XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018.-С.291-293.
- [3] Сіверська Т.М. СИСТЕМА БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗРАЗКІВ КРОВІ, Т. М. Сіверська, Г. І. Панєвін // XV Міжнародна науково-технічна конференція «XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018.-С.310-313.
- [4] Яковенко И. А., Клочко Т. Р., Пельх А. Н., Леус Е. А. Повышение достоверности неинвазивного анализа макроэлементов в крови методом цифровой обработки ЭКГ // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. 2010. №42.
- [5] Яковенко И.А., Клочко Т.Р., Леус Е.А. Автоматизация обработки ЭКГ для повышения достоверности диагноза // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 156-163. . [0]

***Науковий керівник – асистент Яковенко І.О.***



**УДК 617-022**

*Р.Р. Хайретдінов, студент групи ПБ-382, к.т.н., доц. С.П.Вислоух*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В СТОМАТОЛОГІЇ**

*Анотація* В даній статті було розглянуто особливості дії ультразвуку на органи ротової порожнини людини. Наведено переваги використання ультразвукових коливань в стоматологічних процедурах, надано переваги застосування ультразвукової хірургії і представлено використовуваний при цьому інструментарій.

*Ключові слова:* ультразвук, стоматологія, ультразвукова хірургія, хірургічний інструмент, магніостриктор.

### **ВСТУП**

Ультразвук як явище є розповсюдження хвилеподібного коливального руху складових елементів речовини. Ультразвук володіє рядом особливостей, що відрізняються від звуків діапазону, які відчутні вухом людини. В діапазоні роботи ультразвукового випромінювання не складно відтворити випромінювання направленої дії; воно без ускладнень фокусується, в результаті даних фізичних явищ, значно збільшується інтенсивність коливань, викликаних ультразвуком. При розповсюдженні в газовому середовищі, або середовищі рідин та твердих тілах ультразвук спричиняє зародження нових явищ, значна частина яких має широке практичне застосування в різноманітних галузях сучасної науки, та новітніх технологіях.

На протязі остатнього десятиліття ультразвукове випромінювання відіграє значну роль в новітніх дослідженнях. Отриманні значні досягнення при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень в напрямку ультразвукової кавітації і акустичних течій, отриманні результати спрямували на розробку нових технологічних процесів, що відбуваються при впливі ультразвуку в фазі рідини. На даний момент створюється новий напрямок в хімії – ультразвукова хімія, розвиток даного напрямку дозволить прискорити значну кількість хіміко-технологічних процесів. Проведенні дослідження спровокували утворення розділу в акустиці – молекулярної акустики, яка вивчає і досліджує закони молекулярної взаємодії звукових хвиль з речовиною. Розпочався розвиток новітніх галузей використання в техніці ультразвуку: інтроскопія; голографія; квантова акустика; ультразвукова фазометрія; акустoeлектроніка; стоматологія; косметичні процедури .

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Використання ультразвуку (УЗ) в якості фізичної дії на організм людини в медицині оснований на застосуванні ефектів, які виникають в біологічних тканинах при проходженні через тканини хвиль ультразвукових коливань. Викликанні коливання складових елементів середовища в хвилі утворюють мікроскопічне збудження тканин, відповідно поглинання хвилі УЗ тканинами є локальним явищем і призводить до збільшення температури тканини. Під час дії УЗ відбуваються фізико-хімічні перетворення в біологічних середовищах. При помірній інтенсивності ультразвуку не викликають незворотних ушкоджень в тканинах, а лише приводять до прискореного обміну речовин і сприяють покращенню фізичних явищ в організмі. Данні процедури мають



використання в ультразвуковій терапії (інтенсивність УЗ до 1 Вт/см<sup>2</sup>). У випадку підвищеної інтенсивності сильне збільшення температури і кавітація викликають руйнування тканин. Даний ефект використовують в ультразвуковій хірургії. При проведенні хірургічного втручання застосовують фокусований УЗ, це дозволяє отримувати локальні руйнування в глибоких структурах, наприклад мозку, без пошкодження навколишніх тканин (інтенсивність УЗ досягає сотень і навіть тисяч Вт/см<sup>2</sup>). При хірургічному втручанні використовують різноманітні ультразвукові інструменти, робочий край інструмента виготовлений у вигляді скальпеля, пили, голки тощо. Поєднання ультразвукових коливань з хірургічним, інструментом дає нові можливості, значно знижуючи зусилля і відповідно, травматизм під час хірургічного втручання; також, має кровоспинний і знеболюючий ефект. Контактний вплив не загостреним ультразвуковим інструментом застосовується для руйнування новоутворень.

Вплив значного УЗ на біологічні тканини застосовується для руйнування мікроорганізмів в процесах стерилізації медичних інструментів і лікарських речовин.

УЗ знайшов застосування в стоматологічній практиці для зняття зубного каменю. Він дозволяє безболісно, безкровно, швидко видаляти зубний камінь і наліт із зубів. При цьому не травмується слизова порожнину рота і незаражуються «кишені» порожнини, а пацієнт замість болю відчуває відчуття теплоти.

Новітні процеси в медицині, особливо в лікуванні зубних захворювань, створює багато можливостей для лікарів. Значна кількість населення України з певною періодичністю звертається до лікарів стоматологів. Наявність новітнього обладнання в стоматологічному кабінеті, лікаря стоматолога, визначає перелік можливих медичних маніпуляцій, а також, якість надання медичних послуг, зменшення можливих ризиків негативних ефектів від лікування ротової порожнини.

Ультразвукова хірургія (п'єзо-хірургія) в стоматологічних процедурах використовується для різних за призначенням хірургічних дій, а саме: видалення зубів; підсадки кісткової тканини; імплантації зубів і ін. Розрізання тканин відбувається за допомогою інструмента, що застосовує ультразвук, при цьому не відбувається травмування навколишніх ясен, судин і нервів, а сам надріз є максимально тонким і точним.

Якість ультразвукового очищення незрівнянно краща в порівнянні з іншими способами. Наприклад, при полосканні порожнини рота на їх поверхні може залишатися до 80% забруднень, при ручному – близько 20%, а при ультразвуковому – не більше 0,5%. Крім того, поверхні зубів, що мають складну форму, важкодоступні місця, можна добре очистити тільки за допомогою ультразвуку. Особлива перевага ультразвукового очищення полягає в її високій продуктивності при малих витратах фізичної праці, можливості заміни дорогих органічних розчинів безпечними і дешевими водними розчинами.

Також велике значення має ультразвук при виготовленні зубних протезів.

Значною проблемою є боротьба з забрудненням повітря пилом, що утворюється при хірургічній процедурі. Ультразвуковий метод очищення повітря може застосовуватися в існуючих стоматологічних кабінетах незалежно від температури і вологості. Якщо помістити ультразвуковий випромінювач в пилеосадну камеру, то ефективність її дії зростає в сотні разів.

Механізм видалення ушкоджених тканин зубу виконується в такій послідовності. В порожнини, що утворюється між робочою поверхнею ультразвукового інструменту і зубом, вводиться абразивний матеріал, при активній роботі випромінювача частки абразиву будуть впливати на поверхню зуба. Емаль під дією абразиву руйнується і видаляється з зони хірургічного втручання дією значної кількості направлених мікро ударів.

Основні ультразвукові прилади для хірургії, що використовуються в стоматологічних кабінетах, виготовляють за новітніми технологіями на сучасному обладнанні зі застосуванням новітніх матеріалів. Для підвищення точності керування процесом застосовують сучасні елементи мікроелектроніки, а саме мікропроцесори, що проводять розрахунки значних масивів інформації і контролювати за допомогою датчиків, стан протікання процесу хірургічного втручання, сигналізувати про зміни стану пацієнта, а також прогнозувати можливі зміни процедури.

Новітні прилади для хірургічних процедур на основі дії ультразвукового випромінювання, створенні за новітніми стандартами з використанням новітніх матеріалів, що дає можливість зробити їх більш доступними для більш широкої кількості лікарів стоматологів.

Метод ультразвукового різання м'яких тканин базується на тому, що на лезо різального інструменту, яким хірург виконує поступальний рух, накладаються поздовжні ультразвукові коливання з частотою, що знаходяться в межах 22–44 кГц, і амплітудою – не більше 45мкм. Під дією ультразвукових коливань рух передається на інструмент, швидкість відносних поздовжніх переміщень збільшується відносно поступального переміщення леза інструмента в кілька разів. При цьому, за рахунок руйнування під впливом кавітації клітинної структури прилеглих до леза шарів тканини, сухе тертя переходить в напівсухе або навіть рідинне. Це призводить до суттєвого зменшення як нормального, так і тангенціального зусилля різання. Ультразвукові коливання збуджуються магніостриктором і за допомогою концентратора передаються до різального інструменту. Магніостриктор виготовляють або 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 струму перемагнічування.

До магніостриктору приклеюється конічно-циліндричний концентратор. Довжина концентратора вибирається таким, що дорівнює половині довжини хвилі ультразвуку на робочій частоті. До концентратора, за допомогою

різьблення, приєднують змінний інструмент, що також має форму напівхвильового концентратора, який в розрізі звужується до інструменту по експоненті. При зменшенні розрізу конічної частини концентратора і інструменту і роботі їх в резонансному режимі відбувається посилення амплітуди ультразвукових коливань в кілька разів, при їхньому проходженні від магніостриктора до різальної частини інструменту [2].

Використання для інструменту – насадок різної конфігурації дає можливість, підтверджує, що їх резонансні частоти відрізняються один від одного. Для відтворення резонансних ефектів застосовують генератор з під налаштуванням частоти в діапазоні  $\pm 2\%$  від номінальної.

Зміну частоти можна виконувати при заміні інструмента, або його наконечників, насадок. Відповідно сучасні стоматологічні прилади мають індикатори резонансу, що сигналізують про значення струму, а також про навантаження вихідного каскаду підсилювача потужності генератора. Інструмент, що використовується при хірургічному втручанні, при зміні навантаження, зазнає резонанса, при цьому частота утримується в автоматичному режимі, за допомогою схеми автоматичного налаштування частоти.

## **ВИСНОВОК**

Все більше в сучасній стоматологічній практиці, в якості основного хірургічного інструменту використовують інструменти робота, яких основана на використанні фізичного явища ультразвукового коливання. Використання новітніх технологічних процесів при виготовленні медичних стоматологічних приладів дозволяє не тільки збільшити їх номенклатуру, а також зробити їх конкурентно спроможними на ринку сучасного стоматологічного обладнання.

Сучасна наука продовжує проводити дослідження в галузі застосування ультразвукових коливань для лікування захворювань зубів і інших органів ротової порожнини, тому вже найближчим часом, можливо створення нових приладів і методів, протоколів лікування.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] 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.
- [2] Хайретдінов Р.Р., Вислоух С.П. Ультразвукова хірургія в стоматології. // Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2019 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2019. – С. 201-203.

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

УДК: 621.373.826.09(076.1)

*Харевич А.С., аспірант гр. ПБ-82ф, Терещенко М. Ф. к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ВІДБИТОГО ПРОМЕНЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ГЛИБИНИ ПРОНИКНЕННЯ ЙОГО В БІОЛОГІЧНІ СТРУКТУРИ

**Анотація.** У статті досліджуються та встановлюються значення параметрів відбиття лазерного променя від біологічної структури та глибини його проникнення. Встановлюється зв'язок параметрів відбитого когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання та глибини його проникнення в біологічну структуру за допомогою тіньового метода вимірювання.

**Ключові слова:** лазерне випромінювання, біологічна структура, лазер.

### ВСТУП

Глибина проникнення лазерного випромінювання в тканини дуже важлива в практичному відношенні, так як вона є одним з факторів, що визначають межі можливого застосування лазерів в медичній практиці [1].

Вплив лазерного випромінювання на біологічні структури залежить від довжини хвилі випромінюваної лазером енергії, щільності енергії променя і змінних характеристик втрат енергії променю. Коли лазерний промінь досягає біологічну тканину, лазерне випромінювання поглинається, передається, відбивається і розсіюється. Пропорції цих взаємодій визначаються конкретною довжиною хвилі лазерного випромінювання і оптичними характеристиками біологічної тканини [2]. Суттєвою частиною застосування лазерного випромінювання в медицині є визначення його глибини проникання крізь різні шари біологічних тканин [3].

### ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

Основна ціль даного експерименту — дослідити та встановити значення параметрів відбиття лазерного променя від біологічної структури та глибини його проникнення. Для цього нам потрібно знати наступне: параметри лазера, параметри біологічної тканини, діаметр розсіяння відбитого пучка лазера на біологічній структурі від темного екрану з обох його сторін та похідні величини від даних результатів для подальшої обробки результатів.

Ослаблення широкого пучка з падаючою інтенсивністю  $I_0$  в умовах багатократного розсіяння може бути наближено описано за допомогою наступного відношення [4]:

$$I(z) = I_0 q \cdot \exp(-\mu_d z), \quad (1)$$

де коефіцієнт  $q$  враховує не тільки відбивання світла на межі розділу повітря – поверхня біотканини та тип використовуваного детектору, але також і додаткове збільшення освітлення поверхневих шарів біотканини за рахунок зворотного розсіяння.

Глибина проникнення світла в біотканину оцінюється за формулою [5]:

$$l_e = l_d [\ln q + 1]. \quad (2)$$

Таким чином проведемо практичне дослідження отриманої закономірності (2).

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення цілі був використаний експериментальний шлях з встановленням залежності параметрів відбитого лазерного випромінювання від темної пластини з обох боків та глибини проникнення лазерного пучка в біологічну структуру [6].

На рис. 1 показана схема взаємодії лазерного пучка з біотканиною та обмеження відбитого випромінювання від поверхневого шару шкіри темною пластинною (екраном). Метод полягає в тому, що когерентне електромагнітне випромінювання під кутом  $\alpha$  направляють на біологічну тканину  $a$  таким чином, щоб частина цього випромінювання потрапляла на темну пластину  $b$ , яка розташовується перпендикулярно до поверхні біологічної тканини  $a$ . В результаті частина лазерного випромінювання проникає далі в структуру тканини, а та частина світла, яка потрапляє на екран утворює тінь, яка обмежує попадання світла від джерела. Враховуючи значення розміру плями за екраном  $l$  та кут падіння  $\alpha$  за допомогою обчислень можемо знайти глибину проникнення лазерного випромінювання в біологічну структуру [7].

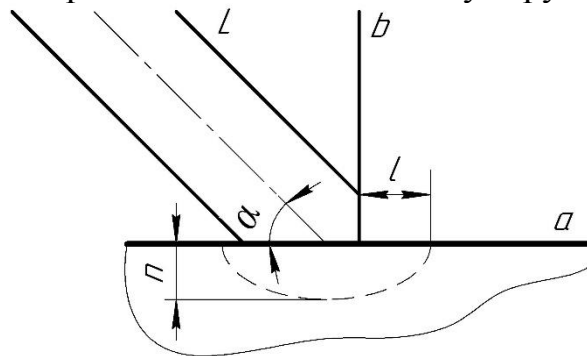


Рис. 1. Схема визначення глибини проникнення лазерного випромінювання в біологічну структуру тіньовим методом.

## ЕКСПЕРИМЕНТ

На біологічну структуру (сало свині) направляємо лазерний пучок таким чином, що частина його падала на темний екран, який знаходиться під прямим кутом до сала.

На рис. 2. наведена експериментальна установка, в якій показаний принцип відбиття лазерного пучка від темного екрану та його розсіювання на жировій тваринній структурі (сало), де 1 – падаючий лазерний пучок, 2 – корпус, на якому установлений темний екран під прямим кутом до біологічної структури, 3 – темний екран, 4 – жирова тваринна структура,  $h$  – глибина проникання лазерного випромінювання в біологічну структуру,  $l_1$  – діаметр розсіювання пучка до темного екрану,  $l_2$  – діаметр розсіювання пучка після темного екрану.

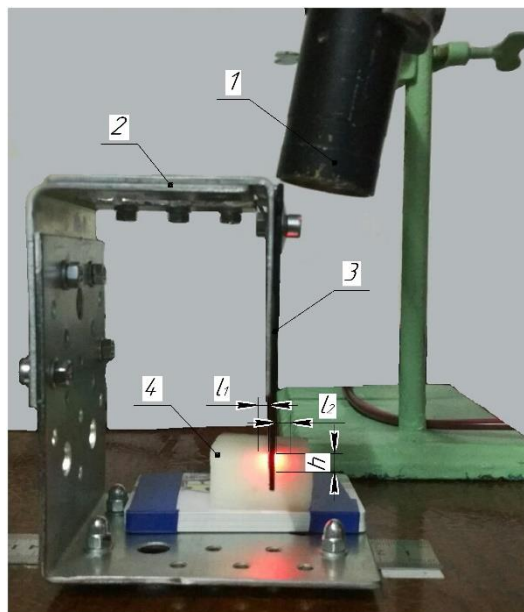


Рис. 2 Експериментальна установка і принцип відбиття лазерного пучка від темного екрану та його розсіяння на жировій тваринній структурі.

Експеримент проводився під різними кутами падіння лазерного випромінювання на біологічну структуру.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При обробці даних експерименту було визначено глибину проникання лазерного випромінювання  $h$  в біологічну структуру, його діаметр розсіяння до темного екрану  $l_1$  та після темного екрану  $l_2$  під різними кутами:

а) –  $15^\circ$ ; б) –  $30^\circ$ ; в) –  $45^\circ$ ; г) –  $60^\circ$ ; д) –  $70^\circ$ .

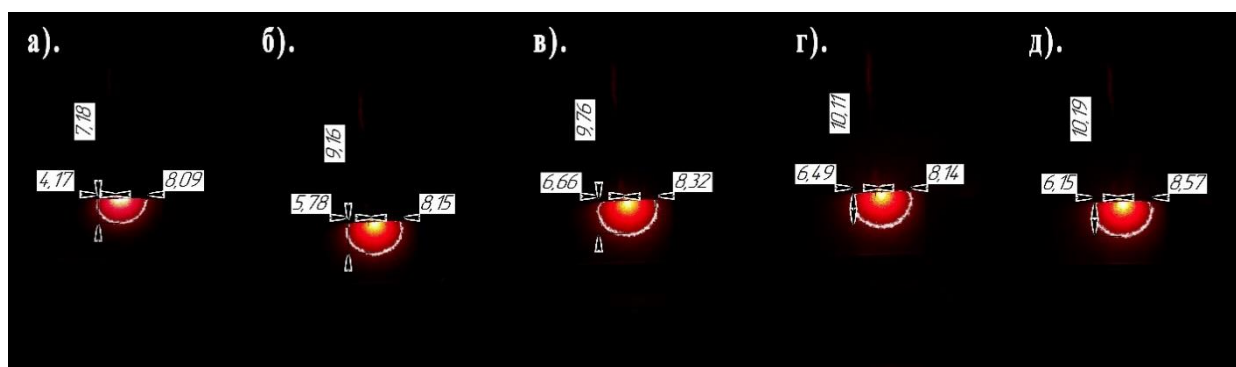


Рис. 3 Глибина проникання лазерного випромінювання  $h$  в біологічну структуру, його діаметр розсіяння до темного екрану  $l_1$  та після темного екрану  $l_2$  під різними кутами: а) –  $15^\circ$ ; б) –  $30^\circ$ ; в) –  $45^\circ$ ; г) –  $60^\circ$ ; д) –  $70^\circ$ .

Таблиця 1. Числові дані у вигляді таблиці

$N$	$\alpha$	$l_1$ (мм)	$l_2$ (мм)	$h$ (мм)
1.	$15^\circ$	4,17	8,09	7,18
2.	$30^\circ$	5,78	8,15	9,16
3.	$45^\circ$	6,66	8,32	9,76
4.	$60^\circ$	6,49	8,14	10,11

5.	70°	6,15	8,57	10,19
----	-----	------	------	-------

Визначення та обробка результатів проводилася за допомогою фотографуючого пристрою та використання програм Compas та Photoshop.

По результатам можна зробити наступні висновки:

1. Чим гостріший кут падіння лазерного випромінювання до біологічної структури, тим глибше глибина проникання лазерного випромінювання.

2. Діаметри розсіяння пучка до та після темного екрану від біологічної структури мають залежність з глибиною проникання лазерного випромінювання.

## ВИСНОВКИ

Експериментально виявлена залежність параметрів відбиття лазерного променя від біологічної структури та глибини його проникнення. Метод дозволяє розрахувати діаметри розсіяння світла до та після темної пластини, що дає нам можливість визначити глибину проникання лазерного випромінювання в біологічну структуру.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Проникнення лазерного випромінювання в біологічні тканини // URL:[https://studbooks.net/1973405/meditsina/proniknovenie\\_lazernogo\\_izlucheniya\\_biologicheskie\\_tkani](https://studbooks.net/1973405/meditsina/proniknovenie_lazernogo_izlucheniya_biologicheskie_tkani)
- [2] Баграмов Р. И., Александров М. Т., Сергеев Ю. Н. Мир биологии и медицины — Москва: изд-во Техносфера, 2010. — 576 с.: ил. С. —14.
- [3] Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, М. Р. Печена // Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Приладобудування. - 2014. - Вип. 47. - С. 156-162.
- [4] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І.О.Яковенко.-Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с.ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [5] Сорока С. О. Визначення глибини розповсюдження лазерного випромінювання в біологічну структуру тінювим методом / С. О. Сорока, А.С. Харевич // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково – технічної конференції студентів, та молодих вчених Погляд у майбутнє приладобудування, НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського, 2018 р., с. 370–373
- [6] Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум . / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 288с. ISBN 978-966-622-952-9, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
- [7] Патент України на корисну модель № 130687 Спосіб визначення глибини проникнення лазерного випромінювання в біологічну структуру тінювим методом / Сорока С.О., Харевич А.С., Терещенко М.Ф. опубл. Бюл.№24 від26.12.2018 р.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.*

УДК 617.3

*В.В. Цапенко, аспірант; М.Ф. Терещенко, к.т.н. доц.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## БІОМЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ СТОПИ

**Анотація** Запропонований метод дослідження просторових та пружних характеристик стопи, який дає змогу вивчати морфологічну структуру, визначати просторові параметри та проводити оцінку пружних характеристик.

**Ключові слова:** біомеханіка, стопа, плантоконурограма.

### 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. Оцінка біомеханічних параметрів циклу кроку та пружних властивостей стопи може успішно використовуватися для моніторингу стану стопи, встановлення діагнозу та ефективності різноманітних методів лікування плоско-вальгусної деформації. [2]

В останні роки кількість захворювань, травм та патологій опорно-рухового апарату неухильно зростає, що суттєво впливає на якість життя населення [3]. Провідне місце в даній категорії займають різні деформації стоп. Дослідженню стопи присвячено багато наукових праць, однак серед різноманіття наукових підходів до вивчення цього питання – не вивченими залишаються особливості анатомо-функціональних властивостей стопи людини в залежності від її статури, статі та рівня фізичної активності [2].

### МЕТА РОБОТИ

Розробка комплексного методу дослідження та оцінки біомеханічних параметрів стопи людини.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонована методика реалізується шляхом реєстрації подовження стопи при ходьбі, з використанням спеціальних реєструючих пристроїв [4;5], та сканування. Проводиться обробка отриманих плантоконтурограм, шляхом побудови схеми за наведеним алгоритмом (Рис. 1), з подальшим аналізом біомеханічних параметрів. Графоаналітичну обробку отриманих результатів обстеження проводять шляхом визначення наступних параметрів:

1. Довжина стопи – це відстань між двома найвіддаленішими точками вздовж осі стопи (відрізок *AB* на рис.1). Індекс симетрії визначає різницю довжин між 2 стопами у відсотковому співвідношенні, нормальні значення не перевищують 3%.



2. Ширина плюсни – це поперечна медіа-латеральна відстань між проекцією першого та п'ятого плюсне-фалангових суглобів (відрізок  $aa'$  на рис.1). Розраховують індекс плюснової симетрії  $I_{pl}$ :

$$I_{pl} = \frac{b_l - b_r}{b_l + b_r} \cdot 100\%$$

де  $b_l/b_r$  – ширина плюсни лівої та правої стоп відповідно. Нормальні значення не перевищують 3%.

3. Ширина середнього відділу – це відстань між латеральним та медіальним краєм стопи (відрізок  $bb'$  на рис.1). Даний показник використовується для аналізу і кількісної оцінки «порожнистої» стопи та плоскостопості. Індекс симетрії розраховується аналогічно попередньому, нормальні значення не перевищують 3%.

4. Ширина п'яти – це медіа-латеральна відстань, яка проходить через центр п'яти та з'єднує найбільш віддалені, діаметрально протилежні точки (відрізок  $cc'$  на рис.1). Індекс симетрії розраховується аналогічно до попередніх, нормальні значення не перевищують 3%.

5. Довжина п'яти – це відстань вздовж середньої лінії стопи (відрізок  $BD$  на рис.1). Індекс симетрії розраховується аналогічно до попередніх, нормальні значення не перевищують 5%.

6. Периметр п'яточної області – це довжина периметра п'яти (напівколо  $cc'$  на рис.1). Даний показник описує розмір п'яточної області. Індекс симетрії розраховується аналогічно до попередніх, нормальні значення не перевищують 5%.

7. Довжина перешийка – це відстань, яка проходить вздовж осі стопи від центра п'яти до проекції центру третього плюсне-фалангового суглобу (відрізок  $GK$  на рис.1). Індекс симетрії розраховується аналогічно до попередніх, нормальні значення не перевищують 3%.

8. Поздовжній кут – це кут утворений дотичними до медіального та латерального краю стопи (кут  $L1$  на рис.1). Даний показник визначає тип стопи та відіграє важливу роль індикатора поперечної плоскостопості. Значення кута порівнюють з значенням отриманим при статичному аналізі розподілу навантаження по підшовній поверхні стопи. Нормальні значення становлять  $15^{\circ}$  для кожної стопи, перевищення свідчить про наявність поперечної плоскостопості.

9. Поперечний кут – це кут утворений лінією, яка з'єднує проекції плюснових кісток та відрізком  $cc'$  (кут  $L2$  на рис.1). Даний показник визначає латеро-медіальні границі вздовж довгої дуги стопи. Нормальні значення даного параметру становлять близько  $20^{\circ}$  для кожної стопи, перевищення свідчить про «розпластаність» стопи.

10. Епіцентр передплюсни – це точка, яка розташована на проекції центра п'ятково-кубовидного суглобу (точка  $O$  на рис.1). Являє собою центр мас стопи.

11. Центроїд – це геометричний центр підшовної поверхні, який визначається при перетині довгої та поперечної осей стопи (точка  $O'$  на рис.1).

12. Медіальний та латеральний підтаранний кут – це кути внутрішнього (медіальний поздовжній) та зовнішнього (латеральний поздовжній) склепінь стопи (кути  $L3$  та  $L4$  відповідно, на рис.1). Даний показник використовують при дослідженні «відвислої» стопи, плоскостопості, а також у випадку проблем з підтаранними суглобами. Індекс симетрії  $I_{m/l}$ :

$$I_{m/l} = L_{3/4L} - L_{3/4R}$$

де  $L_{3/4L/R}$  латеральний (медіальний, відповідно) кут стопи, нормальні значення не перевищують  $2^\circ$ .

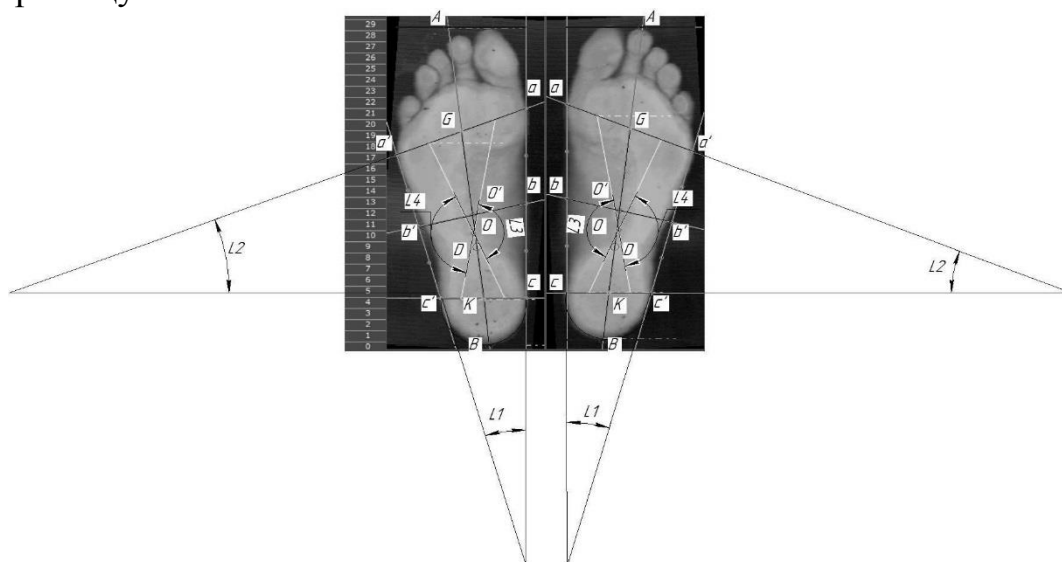


Рисунок 1. Схема обробки плантоконтуруграми [6]

Для оцінки ресорної функції стопи необхідно визначити коефіцієнти пружності, деформації та модуль Юнга [7]. В рамках нашого дослідження будемо розглядати пружну деформація стопи у горизонтальній площині, тому скористаємося одновимірним варіантом закону Гука. При прикладенні вертикального навантаження (масою тіла людини) на стопу відбувається зміна геометричних розмірів останньої по фронтальній та сагітальній осях. Модуль пружності  $E$  в цьому випадку буде характеристикою ресорної функції стопи.

$$E = \frac{m \cdot g \cdot l}{\Delta l \cdot S}$$

де  $m$  – маса тіла;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$l$  – довжина стопи (відрізок АВ на рис.1);

$\Delta l$  – різниця довжин стопи при статичному та динамічному положеннях;

$S$  – середня площа опорної поверхні стопи.

Одним із ефективних методів дослідження в клінічному аналізі рухів нижніх кінцівок людини, є визначення електропровідності цих біологічних тканин [8].

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод дослідження просторових та пружних характеристик стопи, який дає змогу вивчати морфологічну структуру,

визначати просторові параметри та проводити оцінку пружних характеристик. Отримані результати можуть успішно використовуватись для подальших досліджень в області клінічного аналізу рухової діяльності, моніторингу стану стопи та стати інструментом для оцінки ефективності різноманітних методів лікування опорно-рухового апарату.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Цапенко В. Метод дослідження біомеханічних параметрів стопи людини / В. Цапенко, М. Терещенко. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2018. – №5. – С. 51–59.
- [2] Цапенко В. Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей / В. Цапенко, М. Терещенко, Г. Тимчик. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2019. – №1. – С. 67–75. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812
- [3] 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.
- [4] Vonsevych K. Fingers movements control system based on artificial neural network model / K. Vonsevych, M. F. Goethel, J. Mrozowski, J. Awrejcewicz, M. Bezuglyi // Radioelectronics and Communications Systems. — 2019. — Т.62 — №. 1. — С. 23–33.
- [5] Вонсевич К.П. Інформаційно-вимірювальна система міографу біонічного протезу кінцівки / К.П. Вонсевич, М.О. Безуглий, А.О. Гапонюк // Перспективні технології та прилади. — 2017. — №. 10. — С. 32–37.
- [6] V. Tsapenko and N. Tereshchenko, “Method of study of spatial parameters of the human foot”, in Proc. XI Int. Sci. Tech.Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, May 22—23, 2018, pp. 157—159.
- [7] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. - 444 с. ISBN 978-966-622-942-0 <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [8] Цапенко В.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // XV Міжнародна науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: Матеріали конференції.– Кременчук: КрНУ, 2016. – 180 с., С. 92-93.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.*

**УДК 004.451.64:004.94**

*Ю.А. Юхименко, студент гр. ПБ-82, Н.В. Стельмах, к.т.н., доц.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **МОДЕЛЮВАННЯ-3D ТА АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАСНІЙ МЕДИЦИНІ**

*Анотація* В даній статті розглянуто та проаналізовано переваги та недоліки використання моделювання-3D та застосування адитивних технологій в медицині, а також описано сучасний етап їх розвитку та концептуальних перспектив розвитку в майбутньому.

*Ключові слова:* моделювання-3D, адитивні технології, полімерні стенти, анатомічні імплантати, біодрук.

### **ВСТУП**

Технології 3D-друку та об'єктне моделювання мають величезний потенціал в сучасній медицині в частині відтворення високоточних тривимірних моделей людських органів, а також проектування деяких імплантатів. Однією з пріоритетних задач розробників є максимальне скорочення часу, необхідного для обробки результатів сканування людського організму, швидкого їх проектування і створення необхідних органів або імплантатів для нормальної життєдіяльності людини. Найбільш відомими в сучасних розробках в даній сфері є дослідники та вчені із Ізраїля. Саме фахівці з університету Тель-Авіва вперше надрукували на 3D-принтері живе серце з клітин людини 15 квітня 2019 року [1].

Метою роботи є визначення переваг використання моделювання-3D та адитивних технологій в медицині, а також виявлення та опис їх недоліків на сучасному етапі розвитку.

### **ОПИС ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Тривимірний (3D) друк - це виробничий процес, при якому тривимірний об'єкт створюється за допомогою принтера, керованого комп'ютерним файлом. Наразі існує кілька основних технологій друку, наприклад стереолітографія, моделювання плавленням осажденням, селективне лазерне спікання та інші.

Сучасні способи візуалізації, такі як комп'ютерна томографія (КТ), дозволяють обробляти специфічну анатомію пацієнта та керувати нею, щоб генерувати файл, який можна прочитати та надіслати для друку на 3D-принтер. Його зазвичай називають файлом мови поверхневої тесселяції (STL). Після надсилання на 3D-принтер об'єкт може бути надрукований з різних матеріалів, наприклад пластмаси, металів та кераміки.

Наразі в медицині для моделювання найбільш ефективно використовувати 3D-сканування, для отримання файлів тесселяції. Адже, проектування специфічної анатомії пацієнта є дуже складним і робить ручне створення моделі занадто довгим і має високу вірогідність помилок та неточностей. Тому для отримання файлу сканування анатомії пацієнта частіше за все використовують автоматичні системи сканування, такі як КТ.

Якщо ж провести таке сканування неможливо (або отриманий результат сканування потребує певного редагування), то можливе створення віртуальної моделі за допомогою спеціальної програми 3D-моделювання. Цей етап може

зайняти від декількох хвилин до декількох днів в залежності від складності створюваного об'єкта.

Далі готова модель конвертується в STL-формат. Вказується ступінь деталізації, щільність нарощуваних шарів під час друку, адже від цього залежить якість готового продукту [2].

Процес друку живих тканин називається біодруком, який є аналогічним до відомої технології пошарового формування об'єктів з металу або полімерів на основі комп'ютерної моделі, але в якості друкуючого матеріалу використовуються живі клітини, вирощені в біореакторі [3].

Ще на ранніх стадіях технології біодруку мали потенційне використання в регенеративній медицині для створення різних трансплантаційних тканин, включаючи шкіру, хрящі та кістки. Однак сучасні методи біодруку все ще мають технічні труднощі в осадженні клітин високої роздільної здатності, контрольованого розподілу, васкуляризації та іннервації в складних 3D тканинах. Хоча до біодруку ще не сформувався єдиний підхід, він залишається універсальним методом виготовлення живих тканин, який може вирішити дефіцит органів. Також, він забезпечує високопропускний метод для розташування клітин на шкалі мікрометра для широких застосування в галузі біомедицинської інженерії [4].

Наукових відомостей та досліджень з використанням 3D-друкованих моделей чи пристроїв для медичних цілей наразі мало. Досі застосування 3D-друку в медицині були зосереджені переважно на анатомічному моделюванні та хірургічному плануванні в протезно-реконструктивній хірургії. Випадки 3D-надрукованих черепних та нижньощелепних реконструкцій [5] є унікальними, але вони ще не отримали широкого застосування, оскільки триває процес удосконалення технології, а саме виготовлення та імплантації в людський організм.

Судинні програми 3D-друку відстають від ортопедичних та кардіохірургічних аналогів як з анатомічного моделювання, так і з точки зору імплантації. Теоретично судинні пристрої, такі як стенти, можуть бути надруковані 3D, але імплантація повністю 3D-друкованого судинного пристрою ще не реалізована [6].

Якщо розглянути детальніше полімерні стенти для малоінвазивного застосування серцевого клапана, то вони повинні відповідати набору критеріїв, таких як достатня радіальна сила, щоб зберегти їх положення після розгортання та обмежена пластична деформація для забезпечення початкового функціонування клапана до інтеграції з тілом пацієнта. Наразі дослідники концептуально мають на меті створити на основі обчислювального методу саморозширюваний полімерний стент з потенціалом біодеструкції. Їх мета - досягти таких самих механічних показників та імплантаційної здатності, як нитинольний стент, який використовується в даний час для доклінічних досліджень імплантації транскатетерних серцевих клапанів в овець. Для конвертації обчислювальних моделювань у прототипи фізичного полімеру технологію моделювання плавленого осадження поєднували з наявним у продажу гнучким термопластичним кополіестерним еластомером. Кополіестери є цікавою категорією біоабсорбуючих полімерів, оскільки складні

ефіри сприйнятливі до гідролізу. Еластомери механічно характеризуються випробуванням на розтяг і використовуються як вхідні дані для обчислювальної моделі. На основі цього обчислювано розробленого дизайну, 3D-друковані стенти піддаються випробуванням подрібненням та обтиском для механічної перевірки. У кінцевому підсумку проводиться прискорене випробування на деградацію полімерних стентів, щоб оцінити біорозкладаність еластомерів шляхом гідролізу. Деградація в часі визначалася за допомогою механічних випробувань на розтяг, диференціальної скануючої калориметрії та скануючої електронної мікроскопії [7].

Щодо надрукованих протезів кісток, то вони мають ряд переваг над протезами, які створені іншим шляхом. Головною перевагою є швидкість їх виготовлення. Коли лікування пацієнта вимагає швидкого створення протезу, цей фактор може бути вирішальним для його здоров'я чи навіть життя. Також, однією з важливих переваг є маса протезів, яка при друкуванні може піддаватись змінам в ту чи іншу сторону за рахунок регулювання пористості поверхні та матеріалу виготовлення наприклад, створюються протези з титановою серцевиною, що дозволяє отримати дуже високу міцність при невисокій масі самого протезу. В свою чергу, пористість поверхні протезу сприяє більш швидкому обростанню живими тканинами, що скорочує період одужання пацієнта [8].

Наряду з очевидними перевагами методики 3D-друку, фахівці відмічають і недоліки, такі як високі затрати часу на створення тривимірних моделей(для передопераційного планування), що обмежує широке використання методики в лікарнях. Але оскільки технологія має широкі перспективи і стрімко розвивається, даний недолік з часом може бути повністю вичерпано. Також, варто відмітити високу вартість обладнання, велику кількість споживаної ним електроенергії та цінність добавок, які використовуються в процесі друку, що також сповільнює широке поширення методики у більшості країн світу [9].

## **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ**

На основі виконаного аналізу очевидно, що використання 3D-друку є перспективним напрямком в сучасній медицині. Створення персоналізованих моделей включає в себе сканування органів на КТ або МРТ, перетворення DICOM-файлів в STL-модель з наступним друком на 3D-принтері. Всі існуючі способи тривимірного друку - стереолітографія, лазерне спікання порошкових матеріалів, технологія струменевого моделювання, пошаровий друк розплавленою полімерною ниткою, технологія склеювання порошків, ламінування листових матеріалів - можна застосовувати з метою передопераційного планування. Вибір способу друку залежить від авторів досліджень та доступності методів. Створені на основі КТ або МРТ 3D-моделі в точності відповідають будові органів конкретного хворого з урахуванням властивих тільки йому особливостей будови і синтопії прилеглих органів.

Якщо ж розглядати 3D-друк як спосіб безпосереднього виготовлення імплантатів та протезів, то варто виділити можливість виготовлення

специфічних для певного пацієнта імплантатів. Крім того, використання 3D-друку дозволяє значно скоротити час роботи. Хірургічні процедури можуть бути заплановані за допомогою конкретних 3D-надрукованих моделей. Таким чином лікарі мають можливість безпосередньо практикуватись перед виконанням складних процедур, що робить їх хірургічне планування більш ефективним, задля максимального покращення результатів лікування пацієнтів. Також, використання 3D-друку людських органів та імплантатів дозволяє покращити анатомічну форму пацієнта з потенціальним пришвидшенням відновлення нормального стану організму [9].

Щодо біодруку, то на даний час повноцінне відтворення людських органів є дуже концептуальним і не має широкого застосування в медицині. Але цей напрям є одним із найперспективніших напрямів в сучасній медицині, оскільки його повноцінне впровадження дозволить повністю вичерпати проблему боротьби з патологіями людських органів та інших частин тіла.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Мастенко И. В., Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3D-печатных моделей на их прочностные характеристики. – 2019.
- [2]Холодиль А. А., Яковлева А. В. Інноваційне застосування адитивних технологій в медицині // молодий вчений. - 2019. - №5. - с. 35-38. - URL <https://moluch.ru/archive/243/56150/> (дата звернення: 06.11.2019).
- [3]Мастенко И. В., Стельмах Н. В. Поліпшення механічних властивостей друкованих деталей. – 2018.
- [4]Mandrycky с. Et al. 3D bioprinting for engineering complex tissues //biotechnology advances. – 2016. – т. 34. – №. 4. – с. 422-434.
- [5]Hotgeo: новый череп для собаки на 3D принтере : веб-сайт. URL: <https://hotgeo.ru/science/45871> (дата звернення: 30.09.2019).
- [6]PMC: three-dimensional (3D) printed endovascular simulation models: a feasibility study : веб-сайт. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc5326638/> (дата звернення 01.10.2019).
- [7]Liebertpub: Computationally Designed 3D printed self-expandable polymer stents with biodegradation capacity for minimally invasive heart valve implantation : веб-сайт. URL: <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3Dp.2016.0052> (дата звернення: 01.10.2019).
- [8]ScienceDebate: 3D принтеры в медицине – область применения и перспективы развития печати : веб-сайт . URL: <https://www.sciencedebate2008.com/3D-printery-v-meditsine-oblast-primeneniya-i-perspektivy-razvitiya-pechati/> (дата звернення:01.10.2019).
- [9]CyberLeninka: Перспективы использования 3D-печати при планировании хирургических операций : веб-сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-3d-pechati-pri-planirovanii-hirurgicheskikh-operatsiy> (дата звернення:07.10.2019).

*Науковий керівник – к.т.н, Стельмах Н.В.*





## **Секція 9.**

# **Міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні в умовах індустрії 4.0**

**УДК 681.2(477) ”2019”**

*С. В. Войтко д.е.н., проф.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРИЛАДОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ Й ПОШИРЕННЯ ЗАСАД ІНДУСТРІЇ 4.0 У 2019 РОЦІ**

**Анотація** Наведено перелік основних подій 2019 року, які стосуються Індустрії 4.0, а саме у сфері мініатюризації, малошумності електронних схем, ширококутовості підсилювачів, передачі інформації, магнітних сенсорів і біосенсорів, енергоживлення тощо. Описано основні положення Індустрії 4.0. Охарактеризовано економіку України у зрізі Четвертої технологічної революції. Розкрито роль транснаціональних корпорацій з позицій сфер впливу на розвиток виробництв. Зазначено можливості України у сфері Індустрії 4.0. Надано роз'яснення положень Плану Маршалла для реалізації їх в Україні. Наведено розроблений в Україні документ «Ландшафт українських інноваторів Індустрії 4.0 – «Аналітичний огляд інноваторів і стану інновацій в Україні «Landscape Industry 4.0 in Ukraine» та функціонування «Центрів Індустрії 4.0». Наведено перелік п'ятірки лідерів за темпами зростання ринку електронної техніки. Зроблено висновки стосовно економічного стану та розвитку України на основі положень концепції Індустрія 4.0 та можливої реалізації «Плану Маршалла».

**Ключові слова:** Індустрія 4.0, приладобудування, сенсори, розвиток промисловості

### **ВСТУП**

Маємо вже восьмий рік практичної реалізації засад концепції Індустрія 4.0 у глобальному контексті. Особисто я маю намір розкрити незначну частку того, що об'явлено у 2019 році в Індустрії 4.0.

### **УСПІХІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0 У 2019 РОЦІ**

У мініатюризації маємо те, що компанія Texas Instruments запропонувала прецизійні АЦП і ЦАП перетворювачі для використання у промислових, комунікаційних і персональних радіоелектронних пристроїв з мініатюрними розмірами 2,4×2,4 мм.

Стосовно малошумності в електронних схемах – вихідні шуми цього року знижені до край низьких, кращих у світі значень 108 дБм/√Гц. Також компанія MACOM Technology Solution розробила ширококутовий підсилювач діапазону від 30 кГц до 40 ГГц.

Царина передачі інформації у цьому році представлена компанією Inova Semiconductors, яка розпочала постачання перших послідовно-паралельних перетворювачів нових пристроїв сімейства APX3, які мають можливості підтримки перспективних швидкостей передачі даних до 28,8 Гбит/с. Компанія Renesas Electronics анонсував ультрамініатюрні (4,5×4,5 мм) 32-розрядні 120 МГц мікроконтролери для модулів інтернету речей.

Сфера сенсорів. Stocus Technology анонсувала новий пристрій ST300 – магнітний сенсор кутового положення (2D) у діапазоні 360° з кутовою помилкою до 0,5°. NVE запропонував новий інтелектуальний сенсор кутового положення, який функціонує на основі тунельного магнітоопору з розмірами 2,5×2,5×0,8 мм з точністю 0,1°. Компанія Maxim розробила інтегрований модуль біосенсора для вимірювання фотоплетизмограми (ФПГ) і електрокардіограми (ЕКГ) для моніторингу стану Людини, який живиться від батареї мобільного пристрою. Розміри біосенсору 3,3×6,6×1,3 мм. Він має найвищий коефіцієнт ослаблення синфазних складових – 136 дБ. Споживає

ультранизький струм (типове значення 0,7 мА). Компанія IDT випустила перші програмно-конфігуровані цифрові сенсори газу для «розумних» холодильників. AMS випустила найменший мініатюрний сенсор наближення об'ємом всього 1,0 мм<sup>3</sup>. Vishay також розробила сенсор наближення із зоною чутливості до 30 см.

Сфера енергоживлення відзначилася тим, що компанія FDK розпочала постачання надмініатюрних твердотільних батарей з розмірами 4,0×2,0×2,0 мм з напругою 3,0 В та ємністю 150 мкА×год. (щільність енергії 26 мВт·год/см<sup>3</sup>). Компанія IDT анонсувала перший у світі чипсет для безпроводного заряджання потужністю 30 Вт. До енергетичної сфери опосередковано можна й віднести гнучку друковану плату для передачі енергії та сигналів керування, яка має довжину 26 м для безпілотного літального апарату. Цю плату виготовила компанія Trackwise.

Маємо багато чого цікавого у поточному році. Але де тут прилади України? Де у нас розробки Індустрії 4.0 світового рівня? На жаль, питання можна залишити без відповіді. Розберемося, що таке Індустрія 4.0 і де місце України у цій промисловій революції.

## **ПОЛОЖЕННЯ ІНДУСТРІЇ 4.0 Й РЕАЛІЗАЦІЯ ЇХ В УКРАЇНІ**

Четверта промислова революція (Індустрія 4.0) почала поширюватися з 2011 року і цей тренд стає популярним серед країн з розвиненими високими технологіями, серед транснаціональних корпорацій зі значним змістом наукомісткості, серед прогресивних компаній малого та середнього бізнесу, серед інноваційно спрямованих закладів вищої освіти. Індустрії 4.0 вийшла на глобальний рівень у 2014 році (Всесвітній економічний форум у Давосі) [1]. В Україні Індустрія 4.0 має присутність, проте розвиток технологій цієї індустрії досить незначний.

Економіка України є ресурсо-, матеріало-, енерго-, трудомістка, що є негативним в економіці знань. Нагальним у цій економіці знань для сучасної України є перехід від 3-ого, 4-ого, 5-ого технологічних укладів до 6 укладу, від Індустрії 2.X та Індустрії 3.X до Індустрії 4.0. Звичайно, реалізувати таке бажання є досить складним, адже потребує, як мінімум, загальнодержавної стратегії. Ще одним важливим важелем є поступовий перехід від традиційної виробничо-збутової системи кінця ХХ-ого століття до передової кіберфізичної системи ХХІ-ого століття.

У загальному, транснаціональні корпорації вже розділили світ на сфери впливу, розподілили між собою й сфери виробництва. Це ускладнює для національної економіки України пошук місця в Індустрії 4.0 як виробника продукції й інфраструктури надання послуг. Проте, особливості технологій Індустрії 4.0 та Логістики 4.0 показують, що концентрація на ринках споживання є ускладнена, адже доставка замовлення можлива з будь-якої точки світу у терміни, які прийнятні для споживача. На цьому можна і зосередитися вітчизняним підприємствам.

Вигідне географічне положення України разом зі стрімким розвитком транспортної інфраструктури на основі хабів з елементами Індустрії 4.0 – перша можливість у поточному стані національної економіки для розвитку.

Потенціал освіти та промисловості України, які можна належним чином використати, це друга можливість. Третє – підтримка західних партнерів, яка посилюється у період російсько-української війни, полягає у фінансовому та технологічному сприянні, яке подібне до Плану Маршалла для країн, які не проти зовнішньої підтримки у воєнний та післявоєнний періоди розвитку. Головне, не втратити ці можливості від непрофесіоналізму та недалекоглядності, про що вже свідчить історія нашої країни. Історичні події повторюються.

Стосовно можливостей технологічного стрибка на основі національних розробок. Так, у нас ще залишився потенціал для розвитку металургії та зварювальних виробництв, машинобудування і радіоелектроніки, енергетики, зокрема, ядерної та відновлюваної. Проте це потенціал Індустрії 2.X чи Індустрії 3.X. Існують й новітні наші розробки. А от їх реалізація здебільшого здійснюється не в Україні. Чому це так?

За роки незалежності усталеним є концепція виробництва продукції з низькою доданою вартістю на ще радянських виробничих потужностях до повного вичерпання їх ресурсу. І ця концепція має право на існування. Проте це не вирішує питання майбутнього: а що буде далі? Ми маємо досить високий потенціал в інформаційно-комунікаційних технологіях і у виробництві приладів. Це можна активно використовувати.

В Україні створена у 2011 році та функціонує Асоціація підприємств промислової автоматизації України. Членами цієї асоціації під керівництвом О. Юрчака розроблено другу версію документу «Ландшафт українських інноваторів Індустрії 4.0 – «Аналітичний огляд інноваторів і стану інновацій в Україні «Landscape Industry 4.0 in Ukraine» [2]. Асоціація здійснює активну діяльність зі створення в Україні «Центрів Індустрії 4.0» з метою подальшого їх об'єднання й отримання синергетичного ефекту від симбіозу промисловості, науки та освіти.

Де ми можемо себе знайти? На думку фахівців аналітичної компанії ІС Insights до п'ятірки лідерів за темпами зростання ринку електронної техніки належать:

- 1) електроніка автомобільного призначення;
- 2) радіоелектроніка телекому;
- 3) комп'ютерна техніка;
- 4) споживча електроніка;
- 5) електронні системи промислового та медичного призначення.

Вибір за нами.

## **ВИСНОВКИ**

У теперішніх умовах зовнішніх загроз і внутрішнього економічного стану для України нагальною потребою є реалізація положень концепції Індустрія 4.0 – це лозунг. Проте... Режим «наздоганяти» більшою мірою використовувати складно, адже жодна економіка не хоче «тупцювати» на місці. Для України можливим є «стрибок», пропускаючи деякі етапи еволюції у технологіях.

Прикладом сучасного стрибка є окремі країни Африки, які оминули етап розвитку провідникового телефонного зв'язку й займаються поширенням стільникового зв'язку. Розміщення на території України виробництв західних компаній може сприяти такому «стрибку», адже в Україну прийдуть технології, окремі з яким можуть бути проривними.

Так, натепер в Україні маємо більшою мірою «моду» на Індустрію 4.0, аніж суттєву мережу «локомотивів» Четвертої промислової революції. Історія науки та техніки свідчить про суттєві прориви «відносно відстаючих» країн. Яскравим є приклад розвитку «азійських тигрів». Також слід відзначити успішну реалізацію положень «Плану Маршалла» у економіці країн, які зазнали суттєвих втрат від військових дій. Окремі положення опубліковано автором в [3].

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond.  
URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
- [2] Landscape Industry 4.0 in Ukraine. Аналітичний огляд інноваторів та стану інновацій в Україні в сфері Індустрії 4.0. 76 с.  
URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/83:landscape-industry-4-0-in-ukraine>
- [3] Voitko S. The Marshall Plan as the path for a country to Industry-4.0 / S. Voitko / International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech 2018), Sofia, Bulgaria, (11-14 June 2018). NY: Red Hook, 2018. - P. 257-260. - [toc.proceedings.com/42110webtoc.pdf](https://toc.proceedings.com/42110webtoc.pdf)

## УДК 339.17:656.02

*Гафарова Л.М., Войтко С.В., д. е. нд, професор*  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

### **ПРОСУВАННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0**

**Анотація.** Виявлено об'єктивну необхідність дослідження шляхів просування Smart-технологій на український ринок в умовах Четвертої промислової революції (Індустрії 4.0). Наведено основні поняття нанотехнології як джерела розроблення і вироблення технологій Індустрії 4.0. Досліджено використання Smart-технологій на українському та світовому ринках. Запропоновано перелік способів просування Smart-технологій.

**Ключові слова:** Індустрія 4.0, Четверта промислова революція, Smart-технології, нанотехнології, глобалізація.

#### **ВСТУП**

У XXI столітті перед суспільством стоїть чи не мало завдань, і одним із них є вивчення нової технологічної революції, а саме «Індустрія 4.0». Так, як нова індустрія змінить інфраструктуру економіки, зокрема промисловість і сферу послуг, а також розкриє потенційні можливості цієї індустрії перед людством. Саме тому дана проблематика є актуальною і варта розгляду для розуміння і удосконалення нового технологічного прориву у всіх сферах економіки. Метою роботи є дослідження розвитку нової індустрії за допомогою маркетингових заходів. Вперше на світовому рівні Індустрія 4.0 прозвучала від засновника Міжнародного економічного форуму в Давосі К. Шваба [1].

#### **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

Цілі дослідження: 1) розкрити перспективи просування Smart-технологій на ринок; 2) дослідити особливості просування технологій штучного інтелекту в Україні та у світі; 3) визначити шляхи партнерства держави та приватного сектора щодо співробітництва у питаннях, пов'язаних з технологічною революцією.

#### **МЕТОДОЛОГІЯ**

У дослідженні використані наступні методи дослідження: порівняння, індукція та дедукція.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Впродовж існування людства завжди відбувалися різні технологічні революції, і однією із масштабніших була індустріальна революція, що розпочалася в Англії в кінці XVIII ст. Основою даної революції стала можливість використання енергій у промисловості: парової та електричної, що стали основним джерелом у виробництві. Після індустріальної революції мала місце промислова революція, яка і розпочала течію в глобальній економіці – Індустрія 4.0.

Промислова революція, основою якої є інформація, створила нові технології, нові форми організації виробництва та нові можливості. І як наслідок, дана революція змінює розуміння економіки. Якщо в індустріальній

економіці більше уваги приділялося виробництву продуктів споживання за допомогою нових джерел енергії, то в економіці на основі положень Індустрії 4.0 більший акцент зосереджено на науково-технічній прогрес, «електронізації» економіки та створення більш зручного життя.

Також у промисловій революції значну роль відіграє соціальна орієнтованість. І суттєвою різницею між попередньою ідеологією глобального ринку, є розвиток циркулярної економіки в даній економічній «течії», яка є важливою для екологічного розвитку. Так, як в Індустрії 4.0 використовуючи новітні технології можливо створити відповідні продукти чи навіть техніку, за допомогою різних виробничих відходів і при цьому одночасно економити та не нашкодити навколишньому середовищу.

Отже, виходячи із вищесказаного, нова технологічна революція є не тільки основним фактором розвитку економіки на глобальному рівні, а й першою промисловою революцією, в основі якої лежить безпечність екології та, як наслідок, всього людства. Але для розвитку технологій потрібно мати розуміння про значимість нанотехнологій в Індустрії 4.0.

У наш час технології з кожним днем стрімко розвиваються і стають більш популярними серед людства, так як наразі основним завданням нових технологій є практичність. Тобто зручність у переміщенні та використанні.

Ретроспектива надає можливість стверджувати, що вся механічна та автоматизована техніка була за масою досить тяжкою і майже не можливою для переміщення. Але саме завдяки зародженню і розвитку нанотехнологій ми можемо носити майже всі необхідні прилади Індустрії 4.0.

Нанотехнологія має декілька визначень одним із них є використання і маніпулювання процесами та матеріалами об'єктів у нанометровому масштабі [1].

Перша згадка схожих з описом процесів часто привласнюють Річарду Фейнману на виступі в технічній інституті в 1959 році. Він описував свою ідею, як створення безлічі нанороботів розміром з атоми, з допомогою яких стануть можливими як багато звичних і затребуваних нами маніпуляцій, так і абсолютно нові екзотичні та раніше неймовірні [2].

Сам термін «нанотехнологія» вперше було виголошено японським фізиком Норіо Танігуті в 1974 році, описуючи цим терміном процес створення об'єктів розміром у кілька нанометрів [2].

Саме дана галузь є поштовхом до початку розроблення і вироблення технологій Індустрії 4.0, яка відкриває для людства з кожним днем нові можливості. І рухаючись у напрямку розвитку нанотехнологій є перспективи для розвитку більшості галузей економіки. Як приклад, Японія розвинула свою економіку, використовуючи інструменти науково-технічного прогресу основним елементом якого є нанотехнології, а головним продуктом – Smart-технології.

У сучасному світі smart-технології є однією із рушійних сил в економіці розвинутих країн. Дані технології допомагають країнам «іти в ногу із сучасним світом» і розвивати більшість сфер економіки, що у результаті сприяє заощадженню державних коштів. Отже, Smart-технології є джерелом сучасної

та багатой країни, що є важливими аргументами для просування даних технологій на український ринок.

За результатами дослідження департаменту бізнес-інновацій та навичок Великобританії було запропоновано п'ять різних категорій – вода, енергетика, транспорт, відходи та життєві рішення [3]. Для кращого розуміння розглянемо приклади надані даним департаментом [3]:

Інтелектуальні технології управління енергією, які складаються з розумних лічильників, розумних приладів та інших технологій, що надають дані та інформацію, що використовується для покращення управління енергією. Дані про споживання енергії можуть допомогти комунальним компаніям прогнозувати потребу в енергії та покращити послуги, а також допоможуть домогосподарствам керувати споживанням енергії та заощаджувати гроші.

Технології допоміжного життя складаються з програмного забезпечення та приладів, які допомагають людям похилого віку самостійно жити та покращувати рівень їх життя. Наприклад, рішення Telecare складаються з використання моніторів і цензорів, які дозволяють пацієнтам отримувати медичну допомогу вдома. Дослідження свідчать, що використання такої технології в системі NHS може призвести до економії в 30 млрд на рік.

Отже, просування Smart-технологій на український ринок є доцільним, так як держава зекономить значні кошти, також життя населення буде більш комфортабельним і практичним. Способами просування даних технологій можуть виступати:

- 1) інвестиції в людський капітал, зокрема в освіту технічних спеціальностей;
  - 2) побудова відповідної маркетингової стратегії;
  - 3) інформування населення щодо користі Smart-технологій;
  - 4) розвиток ІТ-сфери та кібербезпеки;
  - 5) створення певних законодавчих і нормативних умов;
- Це підтверджують лідери бізнесу Індустрії 4.0 [4].

## **ВИСНОВОК**

На підставі зазначеного стверджуємо, що для розвитку та процвітання ринку розумних технологій в Україні потрібно створити передумови, які доцільні для успішного функціонування інноваційного ринку.

Елементи наукової новизни полягають у тому, що розумні та інноваційні технології є основними факторами для успішної глобалізації та подальшого розвитку національної економіки, який стимулює прогрес у постіндустріальній економіці України, шляхом розвитку Індустрії 4.0, яка залежить від науково-технічного прогресу. Нами запропоновано:

- Розвивати трудові ресурси країни за допомогою інвестування у людський капітал, зокрема у технічні спеціальності;
- Покращення освіти та акцентування уваги на природничо-наукових дисциплінах;
- Розвиток ІТ-сфери та кібербезпеки України;



— Створення нормативно-правової бази для функціонування ринку Smart-технологій.

Отже, задля успішної глобалізації, подальшого розвитку економіки України та більш активного переходу вітчизняної економіки до інноваційних технологій необхідні вкладення коштів у людський капітал і державна підтримка наукових розробок, яка наразі не належним чином стимулює сферу науки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
- [2] Нанотехнології сьогодні та завтра/Інформаційний портал ХНУРЕ [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.nure.info/blog/190-nanotechnolohiyi-sohodni-i-zavtra.html> - 10.04.19
- [3] Який стан ринку Smart-технологій/Благодійна організація Англії Centreforcities [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.centreforcities.org/reader/smart-cities/state-smart-technologies-market/> - 29.05.2014
- [4] The Statistics Portal (2018), Currently leading in Industry 4.0, retrieved from <https://www.statista.com/statistics/667634> [0]

***Наук. керівник – д.е.н., проф., зав.каф. міжнародної економіки С. В. Войтко.***

## УДК 477.7, JEL Classification Code: M21

*Д.В. Гнип, студентка гр. УЕ-91МП, ФММ, доц., В. М. Стефківський.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ АВТОРСЬКИХ ПРАВ СТАРТАПІВ

**Анотація:** У даній статті проаналізовано сучасні проблеми захисту прав власників та розробників стартапу, основні проблеми та ризики, з якими вони стикаються у сфері захисту права інтелектуальної власності під час їх реалізації. Визначено поняття «стартап», необхідні елементи та етапи його започаткування та виділили основні законодавчі акти правового захисту, які регулюють стартапи в Україні.

Обґрунтовано необхідність в посиленні правового регулювання об'єктів інтелектуальної власності, з метою захисту інтелектуального продукту від тролінгу, полегшення пошуку фінансової допомоги від інвесторів та регулювання взаємовідносин із ними.

**Ключові слова:** стартап, бізнес-план, ризики, правовий захист, інтелектуальна власність, фінансування, інвестор, проблеми, авторські права.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будь-який винахідник та розробник об'єкту інтелектуальної власності бажає юридично підтвердити та захистити своє відношення до проекту.

В період стрімкого розвитку Світової економіки, ми спостерігаємо зростаючий вплив науки, техніки та технології на всі сфери життєдіяльності суспільства. Економічний розвиток та зростання конкурентоспроможності підприємств, зумовлюється необхідністю створювати нові проекти та компанії, які зараз називаються стартапами. Зарубіжні компанії створювали новітні технології, техніку та обладнання, з метою подальшого їх використання в стартапі та забезпечення тривалої діяльності і розвитку.

На жаль, в Україні система захисту прав інтелектуальної власності майже не розвивається, і жодна із проблем не вважається першочерговою. Тому правовий захист прав інтелектуальної власності в Україні залишається на слабкому рівні, що не може забезпечити життєдіяльність та успішну реалізацію молодому проекту.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Тема захисту прав інтелектуальної власності є досить популярною та актуальною серед зарубіжних та вітчизняних науковців. Законодавчу базу захисту прав інтелектуальної власності дослідили такі науковці Копішинська К., Бояринова К. Основні положення щодо захисту висвітлили Місюрак В., Тимофєєв М., необхідність у додатковому обґрунтування правової структури виявила Ортинська М.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основне завдання даного дослідження полягає у висвітлюванні поняття стартап-проект та ключових етапів його заснування. Виявити проблеми започаткування та реалізації стартап проектів та захисту їхньої ідеї. Висвітлити основні можливі заходи захисту інтелектуальної власності прав стартап-проекту.

### ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Ми живемо в період стрімкого розвитку науки та технології та зростання впливу інформаційних технологій. Сучасні умови ринку передбачають

необхідність економічного розвитку та зростання конкурентоспроможності підприємств, що відбувається за рахунок започаткування нових стартапів, що являється одним із ключових активів інтелектуальної власності.

Аналізуюючи сучасний світовий ринок, ми можемо спостерігати тенденцію на стартапи. Нові проекти масово з'являються на ринку, захоплюють свою частку та розвиваються самостійно або із допомогою бізнес-середовища.

Тим не менш, правове регулювання сфери стартапів в Україні є слабким, про це свідчить велика кількість проектів, які стають не конкурентоздатними ще не ступивши на стадію виходу на ринку. Основними ворогами новостворених проектів є неактуальність та відсутність унікальності, слабка організація його реалізації, недостатність фінансових коштів на початкових етапах розвитку та незахищеність від конкурентів.

Зазначимо, що поняття «стартап» це новостворене підприємство або проект, який тільки знаходиться на першочергових стадіях розвитку. Інша сутність стартапу пов'язана із тимчасовою структурою, яка націлена на пошук і відтворення більш масштабних бізнес-ідей. Його мета полягає в швидкому розвитку, отримати у результаті своєї діяльності прибуток, використовуючи новітні технології, які раніше не застосовувались[1].

Із загального поняття інтелектуальної власності в міжнародних правових документах виділяють, також, і промислову власність, до якої відносять останні інноваційні об'єкти, а саме винаходи, промислові зразки, товарні та фабричні знаки, корисні моделі тощо.

Згідно статті №418, глави 35 Цивільного кодексу право інтелектуальної власності – це право особи на результат інтелектуальної, творчої діяльності або на інший об'єкт права інтелектуальної власності, визначений цим Кодексом та іншим законом[2]. Право інтелектуальної власності охороняє взаємовідносини особисто-майнового та немайнового права інтелектуальної власності, зміст яких пов'язаний із конкретними об'єктами інтелектуальної власності.

Згідно статті №421, глави 35 Цивільного кодексу суб'єктами права інтелектуальної власності виступає винахідник(творець об'єкту), виконавець та автор ідеї та інші особи, яким належить особисті немайнові та майнові права на інтелектуальну власність, згідно до цивільного кодексу або іншого закону[2].

Основний етап у розвитку будь-якого стартап-проекту – це початок його зародження, тобто появи самої ідеї. На цьому етапі формується група однодумців, які готові взяти на себе відповідальність за реалізацію цього проекту, який покращить та полегшить життя його майбутнім споживачам. Також, на даному етапі група однодумців займається створенням бізнес-плану, де відображається ґрунтовний аналіз внутрішнього та зовнішнього середовища його функціонування, оцінюється сфера маркетингу, необхідних ресурсів, зокрема і необхідна сума фінансових ресурсів.

Юристами та спеціалістами в області венчурного капіталу було досліджено, що багато молодих компаній та стартапів зробило чимало юридичних помилок, найрозповсюдженіша з яких стосувалась захисту прав інтелектуальної власності.

Створюючи унікальний продукт або технологію, варто враховувати можливі ризики та проблеми, відповідно кожне підприємство, та його

інвестори, повинні захищати свою інтелектуальну власність та уникати порушення цих прав із боку третіх сторін.

Захист прав інтелектуальної власності передбачає такі заходи:

- Патентування;
- Авторські права;
- Торгові марки;
- Сервісні знаки;
- Умови конфіденційності тощо[3].

Варто приділити основну увагу до патентування та авторського права, як найрозповсюдженіший вид захисту стартапу.

Згідно Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» поняття «патентування» - це процес документального підтвердження, затвердження права юридичної особи на те, щоб займатись підприємницькою діяльністю впродовж певного строку, який затверджений в даному документі[4]. Патентуючи стартап, винахідник має право заборонити іншим особам володіти, використовувати, розпоряджуватись ним. Щоб запатентувати свій проект, необхідно дотримуватись такого порядку: ідея повинна бути патентоспроможною, винахід повинен бути новим або вдосконаленим втіленням вже існуючого, об'єкт не може бути раніше публічно представленим або надрукованим у виданнях, також, винахід повинен бути корисним суспільству.

Згідно глави 36, Цивільного кодексу України про авторське право, дане право не дозволяє використовувати юридично зареєстрований об'єкт творчої діяльності без дозволу автора. Авторські права розповсюджуються на такі витвори мистецтва, як пісні, сценарії, вірші, книги, статті, фільми та інше. Дане право надає автору витвору мистецтва робити копії твору та готувати продовження або подальший перегляд твору на свою роботу, також автор має право вимагати грошову винагороду або фінансове відшкодування за використання свого продукту[5].

Провівши дослідження існуючих юридичних захистів ідей стартап-проектів та основні проблеми, які найчастіше виникають в процесі їх започаткування та залучення, можемо запропонувати такі додаткові заходи захисту:

1. Розповсюдження інформації про стартап-проект.

Інформаційна база про проект є цінним елементом, оскільки її використовують і дотримуються як при започаткуванні проекту, так і при його реалізації. Деякі конкуренти підсилають шпигунів на підприємства, з метою пошуку інформації про їх діяльність, тому в даному випадку аналогічна ситуація.

2. Підписати договір про нерозголошення.

Договір про нерозголошення зобов'язує підписантів не розголошувати нюанси проекту, до його офіційного публічного презентації суспільству.

3. Зареєструвати торгову марку.

Зареєстрований торговий знак стартап-проекту допоможе посилити рівень захисту, крім того, можна отримати юридичний захист у випадку виникнення подібних проблем та ризиків.

#### 4. Ознайомлюватись із особами, з якими плануєте співпрацю.

Не важливо, з ким ви плануєте співпрацю, чи це майбутній інвестор проекту, чи його споживач. Необхідно аналізувати та досліджувати особу з якою плануєте встановити ділові взаємовідносини, це допоможе не тільки уникнути можливих ризиків та проблем, але й досягти порозуміння між вами.

#### 5. Захистити дані.

Необхідно попросити всіх ділових партнерів та співробітників дотримуватись політики безпеки стартап-проекту, використовуючи сильні паролі при вході до комп'ютера, мережі Інтернет та інших додатків.

#### 6. Вибрати організаційно-правову форму [6].

### **ВИСНОВОК**

Динамічний розвиток світової економіки та ринку стартапів, зокрема, викликає необхідність у визначенні правового захисту та регулювання їх діяльності.

Важливим елементом для розробки нового стартап-проекту є ідея, через що, згодом виникає ризик її викрадення.

Основні проблеми, що виникають на початковій стадії розробки стартапу, є:

- Створення підґрунтя для започаткування та розвитку сатрапу;
- Запровадження системи юридичної підтримки молодих підприємств із боку держави.

Сформування стабільної правової бази для захисту об'єктів інтелектуальної власності збільшить рівень інвестування в інтелектуальний потенціал країни, посилить захищеність інформаційної безпеки стартапів та вплине на економічний розвиток країни у цілому.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Коваль М. Права інтелектуальної власності на створений ІТ-продукт: проблемні моменти. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://attorneys.ua/uk/publications/intellectual-property-rights-for-the-created-it-product-problem-points/>.
- [2] Цивільний Кодекс України: станом на 19 липня 2017 р. / Верховна рада України. – Офіц. вид. – Київ: Парлам. вид-во, 2017.
- [3] Збанацький Д. Стартапи: юридичні та практичні аспекти. Ознайомча частина [Електронний ресурс] / Денис Збанацький // Незалежний аудитор. – 2016 – 165-178 с.
- [4] Закон України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі»: станом на 5 грудня 2012 р. / Верховна рада України. – Офіц. вид. – Київ: Парлам. вид-во, 2012.
- [5] Курченко О.О., Становлення та розвиток стартапів в Україні: проблеми та шляхи вирішення./ Курченко О.О./ - УДК 338.24 - №2 – 2016 – 80-86 с.
- [6] Саліхова О.Б. Створення статистичного підґрунтя для оцінки особливостей інноваційних старт-апів України / О.Б. Саліхова, О.О. Курченко // Статистика України. – 2016. – № 1. – С. 98-103. [0]

*Наук. керівник – доц. каф. міжнародної економіки В. М. Стефківський.*

**УДК 339.17:656.02+629.06**

*А. І. Максимчук, студентка гр. УС-91мп, д.е.н., проф. Войтко С. В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РОЗВИТОК МІЖНАРОДНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИЛАДІВ ІНДУСТРІЇ 4.0**

**Анотація.** Розглянуто перспективні напрями розвитку сфери логістики в умовах Четвертої індустріальної революції. Відзначено технології та прилади, які вже активно застосовуються, а також тренди та приклади можливого використання деяких технологій та приладів у майбутньому.

**Ключові слова:** Четверта промислова революція, логістика, інтернет речей, «Індустрія 4.0», міжнародні логістичні системи, прилади «Індустрії 4.0».

### **ВСТУП**

Все частіше в середовищі вчених, економістів, політичних лідерів і бізнесу обговорюються питання «Індустрії 4.0». Дана тематика, безумовно, є досить цікавою і в той же час дещо загадковою, так як здається, що вона може мати місце лише десь у розвинених країнах, але тільки не у нас в країні. Однак, ми самі не помічаємо, що вже відносно тривало живемо в епоху «Індустрії 4.0», користуємося її досягненнями та самі стаємо її частиною.

Індустрія 4.0 – це новий рівень організації та контролю за усім ланцюжком створення вартості протягом життєвого циклу продуктів. Цей цикл розроблений із врахуванням індивідуальних потреб клієнтів і охоплює різні етапи, починаючи від ідеї та замовлення продукту до його розробки та виробництва, від доставки продукту до переробки відпрацьованого продукту, а також включає пов'язані із цим послуги [1].

У центрі знаходиться розумний продукт: інтернет речей. Продукт містить всю інформацію про себе. За допомогою чипа він здатен самостійно «спілкуватися» з виробничими машинами. Основою є доступність усієї потрібної інформації у режимі реального часу. У цілому, Індустрія 4.0 означає повне взаємопроникнення процесів розробки, виробництва, забезпечення якості, логістики, використання та утилізації продуктів через IP-мережі [1].

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

У рамках даної статті хотілося б докладніше розглянути прояви четвертої індустріальної революції в сфері логістики, усі напрями, які використовуються зараз, а також усі перспективні напрями розвитку міжнародних логістичних систем. І, перш за все, тут потрібно відзначити важливість цифровізації та інтернету речей в логістиці. Цифровізація впливає практично на всі сфери та галузі промисловості. За рахунок розвитку нових технологій (наприклад, технології 3D-друку) можуть кардинально змінитися всі процеси транспортування товарів. Так, наприклад, деякі товари перестануть масово випускатися і доставлятися по всьому світу. Замість цього схеми даних товарів будуть оцифровуватися і дані прототипи будуть надсилатися на заводи, розташовані в безпосередній близькості від споживача. І саме тут, на основі прототипу та за допомогою 3D-друку буде виготовлятися необхідний товар.

Безумовно, даний процес спрямовується на скорочення як тимчасових, так і матеріальних витрат [2].

Інтернет речей буде значним чином впливати на розвиток логістики. За оцінками експертів, протягом наступних 10 років інтернет речей згенерує 8 трлн доларів США у всьому світі на основі п'яти основних чинників: інновації та дохід; використання активів; ланцюги поставок і логістика; підвищення рівня продуктивності праці працівників; підвищення задоволеності клієнтів і громадян [2].

Переваги інтернету речей будуть спостерігатися протягом всього ланцюга створення вартості в логістиці, включаючи складські операції, вантажні перевезення і доставку «останньої милі». Технології інтернету речей впливають на такі сфери, як операційна ефективність, безпека, якість обслуговування клієнтів та нові бізнес-моделі. За рахунок технологій інтернету речей компанії зможуть контролювати стан активів, посилок і людей в режимі реального часу протягом всього ланцюга створення вартості.

Так, вже зараз технології, що застосовуються для ідентифікації піддонів чи інших активів складу, надають змогу на бездротовій основі зчитувати та обробляти дані від кожного піддону при їх переміщенні, наприклад, по території складу. При цьому дані можуть включати інформацію про продукт (його обсяги та розміри), яку після обробки направляють у загальну систему управління складом. Використання даної технології усуває необхідність ручного підрахунку кількості та обсягів піддонів на складі. Крім цього, система при скануванні може виявити пошкодження на піддонах і відразу ж направити дану інформацію в систему. Це надає можливість забезпечувати видимість рівня запасів у режимі реального часу, тим самим запобігаючи ситуації відсутності товарів на складі. Також сенсори контролюють стан товарів та сповіщають менеджерів складів у разі, якщо спостерігаються порогові значення температури або вологості на території складу. Використання даної технології, безумовно, надає змогу оптимізувати норми завантаження, а також відстежувати всі процеси в режимі реального часу.

Сучасні технології та використання приладів Індустрії 4.0 вже зараз надають можливість значно розширити можливості вантажних перевезень. І знову ж таки за рахунок технологій інтернету речей постачальники логістичних послуг отримають чітке уявлення про переміщення товарів, а також можливість моніторингу стану даної продукції, що гарантуватиме прибуття товару в потрібне місце, в потрібний час, у потрібній кількості і, звичайно ж, потрібної якості.

Телеінформаційні сенсори для вантажівок і багатосенсорні мітки для товарів передають дані про місцезнаходження, стан і факти розпаковування чи пошкодження посилок. Однак, існуючі на сьогоднішній момент рішення у даній області носять лише автономний характер і не пов'язані один з одним. Тому в майбутньому доцільним є створення єдиної платформи, яка об'єднала б дані рішення у загальну систему для контролю цілісності всього ланцюга поставок. Стосовно управління автопарком, то подібні сенсори можуть

відстежувати, як часто та чи інша вантажівка або контейнер використовуються або простоюють, і передавати ці дані для аналізу.

Потрібно відзначити, що на поточний момент, не лише у США та країнах Західної Європи, а й в Україні більшість логістичних транспортних засобів вже оснащена численними сенсорами, які надають змогу відстежувати та контролювати процес доставки продукції та процес роботи водіїв і на основі зібраної інформації приймати рішення з оптимізації маршрутів. На основі подібної інформації можна досягти підвищення рівня ефективності роботи автопарку, економії палива та скорочення відстаней.

Загалом, автоматизація ланцюга поставок є першим кроком до Логістики 4.0. Так, мобільний додаток для відстеження статусу доставки вантажів – це максимально зручний та простий спосіб інтегрувати перевізників в єдиний цифровий простір. І даний спосіб не потребує значної кількості спеціалізованого обладнання. Потрібен лише звичайний смартфон або планшет, підключений до логістичної платформи, який буде передавати дані в режимі реального часу.

За допомогою програми водії мають змогу отримувати транспортні документи в електронному форматі, а клієнт може підписати їх прямо на екрані. Підписані документи автоматично зберігаються в системі вантажовідправника. До того ж, місцезнаходження вантажних автомобілів можна відстежувати в режимі реального часу, використовуючи GPS-технології мобільних пристроїв, тобто сукупність радіоелектронних засобів, що надають змогу визначати положення і швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. Так положення автомобіля можна визначити завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS-системи глобального позиціонування [2].

Найчастіше вантажовідправники використовують мобільні системи управління транспортом, які розробляють самостійно. Однак, установка та обслуговування цього програмного забезпечення викликає багато труднощів у перевізників, так як їм доводиться працювати в різних системах їх клієнтів, а також навчати водіїв роботі з новими засобами. Саме тому, доцільніше використовувати рішення, які є багатофункціональними логістичними платформами та використовуються безліччю перевізників, тобто, як вже раніше зазначалося, доцільним є створення єдиної платформи, яка об'єднала б дані рішення у загальну систему для контролю цілісності всього ланцюга поставок. На даний момент, Логістика 4.0 уже впевнено рухається у бік глобалізації, створюючи при цьому єдиний простір для співпраці всіх учасників ланцюга поставок.

Безумовно, технології інтернету речей у сфері логістики будуть успішними тільки при поєднанні всіх сценаріїв використання. Так, наприклад, смарт-піддон у зоні складування, який можна буде використовувати для управління товарно-матеріальними цінностями на складі, але не можна буде використовувати в магазині роздрібної торгівлі, буде надавати лише обмежені переваги. Таким чином, у майбутньому технології інтернету речей



потребуватимуть створення і менеджменту інтелектуальної мережі активів, підключеної до різних вертикальних і горизонтальних елементів ланцюга поставок.

Слід зазначити, що вже зараз у світі є приклади успішного використання приладів Індустрії 4.0 та впровадження технологій інтернету речей в міжнародній логістиці. Так, наприклад, технологія «Smart Port» була реалізована в другому за завантаженістю порту Європи – в порту Гамбургу, що надало можливість підвищити рівень ефективності роботи та підготувати інфраструктуру порту для додаткового зростання. Основна ідея технології полягала в модернізації та поліпшенні IT-інфраструктури гамбурзького порту. На поточний момент у порту Гамбургу встановлено більше 300 сенсорів для моніторингу трафіку в портовій зоні та відстеження зносу мостів. Мобільні додатки надають водіям інформацію для парковки. Сенсори також поширюються на водні шляхи (за допомогою систем автоматичної ідентифікації для координації руху суден) [3].

За рахунок проведеної модернізації на 15% було скорочено навантаження на транспортні потоки, утворені тисячами судів, легкових і вантажних автомобілів та 85 залізничними коліями; на 75% були скорочені операційні витрати, а також було скорочено кількість серверів з 242 до 48, що, у свою чергу, надало можливість на 20% зменшити капіталовкладення [3].

Ще один успішний приклад впровадження технологій інтернету речей – відстеження посилок глобальною китайською компанією AliExpress. Раніше кожен продавець AliExpress відправляв посилку самостійно, і це часто призводило до проблем і затримок з відправкою. Із введенням методу доставки AliExpress Standard Shipping, Aliexpress взяв частину проблем з доставкою на себе. Замість того щоб йти в поштове відділення (або в приймальне відділення логістичної компанії) продавець здає посилку в логістичний хаб AliExpress. Далі AliExpress сортує посилку та доставляє її у співпраці з великими постачальниками транспортних і поштових послуг, такими як Пошта Сінгапуру, Пошта Іспанії, Пошта Фінляндії, SPSR, DHL, Нова Пошта та інші. Конкретна компанія, що доставляє замовлення, вказується у деталях відстеження замовлення лише після того, як замовлення було відправлене [4].

Для відстеження поштових відправлень з AliExpress, треба просто перейти на сайт компанії, далі з блоку відстеження відправлень скопіювати «номер відстеження» (трек номер) і вставити його у відповідну форму, після чого можна буде відстежувати рух посилки у реальному часі. Якщо з посилкою відбудуться якісь зміни, сервіс відразу ж повідомить про ці зміни на адресу електронної пошти та можна буде швидко знайти посилку. Також з'являється можливість розрахунку точного часу доставки відповідної посилки, завдяки тому, що сервіс враховує минулі посилки у відповідне місто чи регіон, середній час руху посилки в Китаї, час проходження митниці у відповідній країні, час руху посилки по території країни та час подолання посилкою відстані між містом прибуття і містом доставки [4].

## ВИСНОВОК

На поточний момент ведуться роботи із застосування досвіду провідних світових країн для розвитку вітчизняних логістичних систем. Звичайно, основні зміни у рамках Четвертої промислової революції ще попереду, однак вже зараз можна говорити про те, що це будуть глобальні зміни, які торкнуться не тільки сфери логістики та розвитку міжнародних логістичних систем, а й усіх сфер життєдіяльності Людини.

Уже сьогодні використання приладів Індустрії 4.0 та цифровізація міжнародних логістичних процесів приносять відчутну користь. Вони підвищують рівень ефективності роботи компаній та якість обслуговування клієнтів, стаючи при цьому конкурентною перевагою для самих перевізників і транспортних компаній. Інноваційні рішення управління ланцюгами поставок набувають все більшого значення для компаній, які стоять на шляху Індустрії 4.0 та Логістики 4.0, а також прагнуть створювати процеси нового покоління.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Індустрія 4.0 – Огляд та наслідки для політики. German Advisory Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.beratergruppe-ukraine.de/wordpress/wp-content/uploads/2018/08/PB\\_06\\_2018\\_ukr.pdf/\\_06.08.2018](https://www.beratergruppe-ukraine.de/wordpress/wp-content/uploads/2018/08/PB_06_2018_ukr.pdf/_06.08.2018).
- [2] Скіцко В. І. Логістика в індустрії 4.0. / В. І. Скіцко // *Журнал: Економіка та держава*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.economy.in.ua/pdf/4\\_2016/7.pdf/\\_11.07.2016](http://www.economy.in.ua/pdf/4_2016/7.pdf/_11.07.2016).
- [3] SmartPort – the intelligent port of Hamburg. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>.
- [4] Чек трекер. Відстеження посилок з AliExpress за допомогою спеціальних програм. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://bazovo.ru/uk/metody-lecheniya/chek-treker-otslezhivanie-posylok-s-aliekspress-s-pomoshchyu-specialnyh-programm/>

*Наук. керівник – д.е.н., проф., зав.каф. міжнародної економіки С. В. Войтко.*

УДК 339.17

Н.Р. Маркин, студент гр. ПМ-61  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РАЗВИТИЕ УМНОГО ДОМА В УКРАИНЕ

**Аннотация.** В статье рассмотрена тенденция развития умного дома. Были определены преимущества и недостатки данных систем. Были исследованы проблемы и возможное их решение.

**Ключевые слова:** умный дом, прибор, устройство

Каждый из нас окружен технологиями, взаимодействует с ними каждый день и наверняка слышал о таком термине как – «умный дом» (англ. - smart house). Умный дом – это комплекс устройств, способных решать и выполнять разные ежедневные задачи без участия человека. Впервые понятие «умный дом» появилось в 1961 году, когда Джоэль и Рут Спира запатентовали первое устройство для регулировки света под названием – диммер. Именно благодаря этому устройству существует по сегодняшний день всемирно известная компания *Lutron Electronics Company, Inc.*

Одним из важных событий в развитии умного дома была разработка бытовой автоматики компании *Pico Electronics* в 1975 году, которая давала возможность управлять музыкальными проигрывателями. Первым полноценным «умным домом» стал жилой дом на юге Великобритании, основными функциями которого было управление освещением, сигнализация, отопление и контроль дверей гаража. На данный момент почти 40 млн домохозяйств в США оборудованы системами умного дома и 30 млн домохозяйств в Европе.

В последнее время тема «умного дома» исследовалась учеными и простыми обывателями с точки зрения положительных сторон. Так званный «умный дом» представляет собой уникальную комплексную систему, где каждые: прибор, устройство, датчики, связанные между собой воедино, являют собой полноценное управление любым пространством. Такая система заботится о комфорте, понимает потребности людей, гарантирует безопасность, а также помогает рационально тратить энергию и экономить на коммунальных платежах. С помощью камер можно контролировать что происходит в доме, в отсутствие хозяев, при этом видеозапись сохраняется в памяти или на удаленных ресурсах. Датчики защитят дом от проникновений злоумышленников, затопления, утечки газа. Умные розетки способны автоматически обесточивать подключенные устройства, а также контролировать энергопотребление и уведомлять какое устройство излишне потребляет электроэнергию. Самая главная особенность умных домов – это управление системой с помощью смартфона или любого другого гаджета и соответствующего приложения.

Что касается отрицательных сторон – это частые поломки связанные с неправильной установкой оборудования, перебои с питанием, что могут вывести из строя не только отдельные части, но и систему в целом, а также возможны взлом и хакерские атаки. «Ограбление человека за раз с помощью ножа или пистолета уже не эффективно. Но теперь один человек способен украсть миллионы одним нажатием кнопки» [1], говорит Марк Гудман с Института Криминалистики Будущего. Злоумышленник, который получил доступ к системе,

способен причинить вам большие неприятности. Свет может быть беспрерывно включенным в дневное время, накручивая счетчик. В тоже время включились все краны в доме, что может затопить жилище. Или же где-то могло произойти короткое замыкание. Но по карману ли такое удовольствие среднему классу населения Украины?

Прежде всего, умный дом – это целостная система, которая состоит из множества связанных между собой элементов, например, датчиков движения, датчиков температуры, камеры наблюдения, электрочайник, домашний кинотеатр, сигнализации пультавой охраны. Во-вторых, всеми процессами системы управляет блок управления, стоимость которого является достаточной высокой.

В-третьих, для автоматизированной работы устройств умного дома необходимо буквально «пересобрать» дом заново, ведь для работы необходима сеть из множества кабелей, что влечет за собой полные ремонтные работы, установить объединенную охранную систему, установить датчики на всю сантехнику в доме (краны, трубы), переоборудовать отопление и установить систему управления климатом, а также переоборудовать систему освещения. Если стоимость всех комплектующих сложить воедино, то в результате выйдет достаточно высокая стоимость. И это не включая стоимости монтажа и настройки системы. Представитель компании iRidium Mobile отметил что, «Особенность отечественного рынка заказных инсталляций — его закрытость. Трудно получить рекомендации от заказчиков, которым проекты уже сделаны. А потому трудно оценить уровень предлагаемых решений и целесообразность проекта в целом» [2]. Действительно, из-за того, что рынок только набирает оборотов, трудно понять, чего заказчик искренне хочет видеть в своем жилье, а также отсутствие своеобразной статистики, которая бы позволила избежать проблем на этапах проектирования и монтажа.

Экономически целесообразно приобретать недвижимость уже со встроенной системой умного дома, ведь установка такой системы на этапе проектирования будет менее затратной из-за отсутствия дополнительных ремонтно-строительных работ. Сегодня множество строительных компании предлагают за дополнительную плату оформить пакет функций умного дома начиная базовыми комплектующими и заканчивая пакетом премиум-класса. Педро де ла Хорра Каломарде (Pedro de la Hozra Calomarde), менеджер Eaton, заявил, что «хороший эффект даст работа с проектировщиками, инсталляционными компаниями, архитекторами и т. д. Тема автоматизации зданий новая, специалистов мало, архитекторы и строители старой школы не имеют полной и четкой информации о ней.» Представители Schneider Electric, отмечают что, «продвижению умного дома хорошо способствует «сарафанное радио», особенно в среде частных заказчиков» [3].

На сегодняшний день системы умного дома – это молодое и перспективное направление автоматизации и технологий. Поэтому на данный момент не существует общей платформы настолько простой в использовании обычному пользователю, универсальной для подключения разных типов устройств и, в то же время, не дорогой системы, чтобы любой желающий мог обзавестись таким удобством. «Компании GE и LG обставляют кухню инновационными устройствами («Умный

холодильник для революційно нового підходу к хранению продуктов» – обрадовали нас маркетологи). Philips підключає в сеть кофеварку, а безпечна Whirlpool демонструє посудомоечные машини «с підвищеним збереженням енергії». Вот тут перед нами перед нами з'являється Друга Велика Проблема – «потребители не покупают в дом товары только одного бренда.» [4], заявив администратор сайта Robohunter. Вик Пател с компании Nexcess добавил, «Я надеюсь на некоторый реальный прогресс в области стандартов. Рынок умного дома имеет огромный потенциал, но он все еще слишком фрагментирован. Потребителям не нужно думать о том, хотят ли они инвестировать в Nest, линию Amazon Echo или продукты, которые поддерживают HomeKit от Apple» [5].

Существует множество разных производителей в разных странах, но отсутствие определенного стандарта приводит к тому, что каждый производитель делает устройства под свой хаб (англ. – шлюз, порт), и в результате чего стоимость желаемого удобства может подняться в разы. Около 10% процентов населения в Европе пользуются такими системами, а количество людей, которые владеют такой системой в Украине, меньше 1%. Одной из главных причин этого является экономическая обстановка в нашей стране. Если переоборудование жилища было бы по доступной цене, как, например, покупка нового смартфона, то многие могли бы управлять системами устройств на своем гаджете, сидя при этом на работе, набирать себе горячую ванную пока едут домой, разогреть себе ужин пока заходят в дом, поливать цветы и кормить своих питомцев пока отдыхают на море.

По моему мнению, существует три возможных варианта решения этой задачи, первый - это повышение уровня жизни граждан Украины, второй – это стандартизация и удешевление стоимости систем умного дома путем производства соответствующего оборудования в Украине, третий – это инвестиции в развитие робототехники и разработка отечественных систем повлияют на развитие рынка IoT-систем в Украине и в результате даст возможность стране выйти на мировой рынок в качестве производителя электроники и IoT-систем.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] Марк Гудман, Саймон Четрит, «*All the ways hackers will try to kill you in the future*», 2015 / <http://www.hopesandfears.com/hopes/future/technology/214781-hackers-kill-risk>
- [2] Представитель компании iRidium Mobile, «*Страхи и проблемы будущего умных домов*», 2015 / <https://habr.com/ru/company/iridiummobile/blog/385311/>
- [3] Педро де ла Хорра Каломарде, представители Schneider Electric, «*Умный дом: Развитие и тенденции*» / <https://econet.ua/articles/117634-umnyy-dom-razvitie-i-tendentsii>
- [4] Администратор сайта Robohunter, «*Что за проблемы с умным домом?*» / <https://robo-hunter.com/news/что-за-problemi-s-umnim-domom>
- [5] Вик Пател, Nexcess, «*14 Predictions For The Future Of Smart Home Technology*» / <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/01/12/14-predictions-for-the-future-of-smart-home-technology/#4689f22e2e21>

**Научный руководитель – д.е.н., проф. Войтко С. В.**

УДК 338.012

*О. С. Покрас, аспірант*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ В ЕКОЛОГІЧНОМУ АСПЕКТІ**

*Анотація.* У даній статті надано класифікацію приладобудування, порівняльну характеристику аналітичного та екологічного приладобудування, наведено шляхи підвищення конкурентоспроможності приладобудування в екологічному аспекті з метою вирішення глобальних екологічних проблем за допомогою застосування екологічного (зеленого) маркетингу та екологічного менеджменту.

*Ключові слова:* аналітичне приладобудування, екологічне приладобудування, конкурентоспроможність приладобудування.

### **ВСТУП**

Приладобудування є високотехнологічною галуззю економіки, що значно розвинулась в умовах переходу до Індустрії 4.0. З появою потреби у вирішенні глобальних екологічних проблем з аналітичного приладобудування виокремилось екологічне. Зважаючи на те, що конкурентоспроможність є ключовим показником, що відповідає за досягнення та підтримання певних конкурентних позицій на міжнародному та глобальному ринках, пропонується дослідити можливості її підвищення в екологічному аспекті.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Дослідженням особливостей екологічного приладобудування було здійснено Качурінером В. Л. [2], а також виявлено етапи становлення та розвиток політики Європейського Союзу у сфері охорони навколишнього середовища та екологічних стандартів виробництва.

Проблеми екологічного маркетингу та менеджменту вивчали Петровська С. В., Покотило Л. Ю., артиненко В. О., Машкаров Ю. Г. [6; 7]. Фахівцями виявлено особливості та способи втілення даних заходів на підприємствах.

Зважаючи на відсутність у дослідженнях пропозицій стосовно підвищення конкурентоспроможності високотехнологічних галузей, пропонується застосувати наведені інструменти для підвищення конкурентоспроможності приладобудування.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Приладобудування доцільно поділити на аналітичне та екологічне. Аналітичне приладобудування об'єднує організації та підприємства, що розробляють прилади для визначення структури, вмісту, стану та властивостей речовин з використанням різноманітних хімічних і фізико-хімічних методів. Екологічне приладобудування поєднує організації та підприємства, що є виробниками приладів, що призначені для раціоналізації використання природних ресурсів і для покращення екологічної ситуації. Співставлення аналітичного та екологічного приладобудування наведено у табл. 1.

Аналітичне приладобудування об'єднує організації та підприємства, які займаються створенням і виробництвом приладів для визначення структури, вмісту, стану та властивостей речовин за допомогою різних хімічних і фізико-

хімічних методів. Аналітичне приладобудування набуло широкого розвитку у 60-х роках ХХ сторіччя. Аналітична техніка є перетворювачем і носієм кількісної інформації, що відображає якісний стан реальних речовин. Сьогодні в приладах аналітичного приладобудування використовують понад 50 методів аналізу, серед яких оптичні, електричні, електрофізичні та магнітні, термокондуктометрія, нейтронно-активаційні, аналіз і протонографія, ультразвукові, рН-метрія, спектроскопічні, електрохімічні, кінетичні, радіохімічні та ядерно-фізичні, методи газової та рідинної хроматографії, фазовий (речовинний) аналіз металів і сплавів, гірських порід і мінералів тощо [1].

Таблиця 1. Співставлення аналітичного та екологічного приладобудування за критеріями порівняння

<i><b>Критерій порівняння</b></i>	<i><b>Аналітичне приладобудування</b></i>	<i><b>Екологічне приладобудування</b></i>
Початок розвитку	Розвиток в Україні почався у 20-х – 60-х роках ХХ ст., за часів входження останньої до складу СРСР.	Розвиток розпочався внаслідок популяризації екологічних тенденцій в світі з початку ХІХ ст.
Призначення продукції	Прилад є перетворювачем та носієм кількісної інформації, що відображає якісний стан реальний стан речовин.	Прилад є засобом для економії природних ресурсів, раціонального їх використання.
Основна мета створення приладів	Проведення обчислень та аналізу даних.	Ефективне використання природних ресурсів та покращення екологічних показників.

Складено на основі: [1; 2]

Екологічне приладобудування включає в себе засоби вимірювання окремих параметрів і використаного обсягу природних ресурсів, а також їхніх якісних характеристик, а також засоби для покращення якості використаних ресурсів або інтенсифікації їх використання. Екологічне приладобудування виникло пізніше за аналітичне, оскільки проблемами екології для людства стали актуальними лише в епоху появи глобальної економіки.

Екологічне приладобудування покликане сприяти вирішенню екологічних проблем, наприклад:

– забруднення повітря та води є однією з глобальних проблем, яку може бути вирішено за допомогою впровадження спеціальних приладів для очищення, які встановлюються в житлових будинках і на промислових підприємствах;

– токсична дія забруднюючих речовин може бути зменшена за допомогою спеціальних приладів-нейтралізаторів;

– нераціональне використання вичерпних природних ресурсів може бути вирішено за допомогою приладів, що контролюють витрати та оптимізують використання ресурсів.

Першим масштабним екологічним заходом, проведеним ООН, стала конференція 1972 року у Стокгольмі. На даній конференції погоджено 26 основних принципів стосовно охорони навколишнього середовища та розвитку людства. План діяльності конференції включав 109 рекомендацій, які охоплювали такі сфери життя, а саме: житло, управління натуральними засобами, забруднення, освітні та суспільні аспекти охорони навколишнього середовища, розвиток і природне середовище та міжнародні організації. Одним із досягнень конференції також утворенню Програми ООН щодо навколишнього середовища, або ЮНЕП (United Nations Environment Programme – UNEP), яка мала на меті координувати заходи, пов'язані з природним середовищем, і передбачала широкий спектр проектів щодо атмосфери Землі, морських і наземних екосистем. У межах ЮНЕП у 1983 році створено Міжнародну комісію з питань навколишнього середовища та розвитку під назвою «комісія Брундтланд». У 1987 році дана комісія оприлюднила доповідь «Наше спільне майбутнє», в якому всебічно обґрунтовано концепцію «сталого розвитку» [3].

Концепція сталого розвитку ґрунтується на розумінні, що сталий розвиток – це організаційний принцип для досягнення цілей розвитку Людини, який підтримує здатність природних систем надавати природні ресурси та екосистемні послуги, від яких залежать економіка та суспільство. Бажаний результат – стан суспільства, коли умови життя та ресурси використовуються для подальшого задоволення потреб Людини, не підриваючи цілісності та стабільності природної системи. Сталий розвиток можна визначити як розвиток, який відповідає потребам сьогодення без шкоди для можливостей майбутніх поколінь [4].

Основною метою екологічного приладобудування є допомога населенню та підприємствам дотримання принципів сталого розвитку. Фактично, для опанування концепції доцільно запровадження технологій, пристроїв і приладів, що раціоналізують використання ресурсів та вирішують глобальні екологічні проблеми.

З метою вирішення глобальних проблем з'являються екологічні тренди, підтримання яких позитивно впливає на конкурентоспроможність. Основними сучасними екологічними трендами є: захист відкритого моря, зв'язок природи та здоров'я, перехід на альтернативні джерела енергії, покращення стану ґрунтів, збір і аналіз біологічних даних [5]. Саме тому при виробництві слід зважати на мінімізацію забруднення навколишнього середовища при виробництві та за можливості використовувати компоненти, які підлягають утилізації або повторній переробці. До екологічного виробництва можна віднести розробку приладів, що пов'язані з екологічними технологіями (наприклад, сонячні батареї, прилади, що допомагають у заощадженні води та енергії). Також доцільним є інвестування коштів у підтримку екологічних програм, що пов'язано з наступним пунктом – брендингом підприємства.

Зважаючи на вищезазначене, з метою підвищення конкурентоспроможності підприємств приладобудування доцільно



застосовувати «зелений маркетинг» або «екологічний маркетинг». Концепція вперше з'явилася в 1970-х роках, коли Американська асоціація маркетингу провела семінар з питань маркетингу та навколишнього середовища. Асоціація видала одну з перших книг з екологічного маркетингу під назвою «Екологічний маркетинг». Після цієї події, екологічний маркетинг визначено як «дослідження позитивних і негативних аспектів маркетингової активності в забрудненні навколишнього середовища, виснаження енергії та неенергетичних ресурсів» [6].

Сьогодні перед екологічним маркетингом ставиться завдання сформувати позитивний бренд підприємства в аспекті екологічності: розповсюдження інформації щодо використання підприємством екологічно чистих матеріалів, переробку сміття, мінімізацію відходів, а також про діяльність, спрямовану на інвестування підприємством у екологічні проекти, що не пов'язані з його діяльністю (висадку дерев, допомогу тваринам, очищення забруднених територій тощо). Таким чином формується забезпечення лояльності існуючих споживачів та привернення нових шляхом побудови позитивного екологічного іміджу.

Для того, щоб підкріпити екологічний імідж підприємства реальними діями, таким чином підвищуючи конкурентоспроможність, доцільно запровадити систему екологічного менеджменту, яка покликана проводити екологічну політику в межах підприємства. Для спрощення запровадження екологічного менеджменту В.О. Мартиненко та Ю.Г. Машкаров пропонують наступні кроки [7]:

- налагодження екологічно безпечних виробничих процесів, ефективного ресурсоспоживання та низьких показників енергоємності;
- забезпечення екологічної сумісності всіх виробничих підрозділів;
- досягнення оптимальних еколого-економічних співвідношень (мінімальна собівартість або максимальний обсяг випуску при найменшому збитку для навколишнього середовища);
- попередження негативного антропогенного впливу в процесі виробництва, споживання або утилізації продукції, що виробляється;
- перетворення екологічних обмежень на нові можливості росту виробничої діяльності (утилізація відходів, впровадження маловідходних технологій тощо);
- створення «зеленого» іміджу в очах громадськості (вибір постачальників з урахуванням їх ставлення до навколишнього середовища, передбачливість відносно ресурсів, що постачаються, заохочення свідомості та екологічної споживчої інформованості співробітників);
- відновлення продукції, виходячи із соціальної відповідальності перед споживачами та створення привабливого іміджу в очах громадськості;
- стимулювання природоохоронних ініціатив, що вивільняють додаткові фінансові кошти внаслідок зниження витрат і зростання доходів за рахунок продажу поліпшених або більш дорогих «зелених» товарів і створення принципово нової продукції.

## ВИСНОВКИ

Отже, за екологічне приладобудування зобов'язане своєю появою Індустрією 4.0 та екологічним тенденціям. Зважаючи на останні, конкурентоспроможність галузі приладобудування можливо підвищити шляхом виробництва продукції, що сприяє вирішенню глобальних екологічних проблем, застосовувати екологічний маркетинг для побудови екологічного іміджу підприємства та екологічний менеджмент для побудови екологічного виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Аналітичне приладобудування. Енциклопедія сучасної України. URL: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=44042](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=44042).
- [2] Качурінер В. Л. Становлення та розвиток політики Європейського Союзу у сфері охорони навколишнього середовища та екологічних стандартів виробництва. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2013. № 5. С. 326–331.
- [3] Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. 1987. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.
- [4] Sustainable Development Goals. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/about>.
- [5] Глобально: 6 екологических трендов 2018 года. URL: <https://zza.delo.ua/know/globalnye-ekologicheskie-trendy-2018-goda-347009/>.
- [6] Петровська С. В., Покотило Л. Ю. Концепція «зеленого» маркетингу у системі управління економічною діяльністю. Проблеми системного підходу в економіці. 2016. № 54. С. 76-80.
- [7] Мартиненко В. О., Машкаров Ю. Г. Екологічний менеджмент як нова парадигма муніципального управління. Теорія та практика державного управління. 2009. № 2. (25). С. 1-5. URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/tpdu/2009-2/doc/2/03.pdf>.

УДК 334.7

*PhD, Associate Professor. Skorobogatova N. Ye.*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## EFFICIENCY OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION IN INDUSTRY 4.0

**Abstract.** The efficiency of international scientific and technical cooperation on the example of the leading countries was analysed in the article. The author has proved that the countries that are leaders of innovative development, effectively implement international scientific and technical cooperation and have a high degree of involvement in the global space. The relationship between the activity of scientific and technical cooperation and the level of incomes in the countries is revealed. Proposals for increasing Ukraine's participation in international scientific and technical cooperation in the context of Industry 4.0 were presented in the article.

**Keywords:** international scientific and technical cooperation, Industry 4.0, efficiency, globalization, innovative activity.

### INTRODUCTION

In the context of the globalization of the world economy, the effective development of any country cannot be considered separate from other participants of the global economy. This thesis is relevant both in the economic context and in terms of science, technology, etc. The interdependence of countries in the process of technological change, which occurs in the conditions of Industry 4.0, has been repeatedly emphasized in leading global economic forums: World Economic Forum, Organization for Economic Co-operation and Development and others. And Ukraine does not stay out of these processes. In particular, the experts of the Association of Industrial Automation Enterprises of Ukraine have created a National Strategy of Industry 4.0 for Ukraine, which is based on a critical analysis of the current state of the Ukrainian economy and industry and defines the measures necessary for implementation in order to transition the country to the category of high-tech countries integrated into the global technological chains. value creation.

### RESULTS OF THE RESEARCH

The analysis of analytical information and statistics indicates the activation of globalization processes. In particular, according to the KOF Index of Globalization, developed by the Swiss Economic Institute, the top ten countries in this ranking are high-income, innovatively active countries (Figure 1). The index is positioned as a composite indicator that allows you to assess the scale of integration of a country in the world space and compare different countries by its components: economic globalization, social globalization, political globalization.

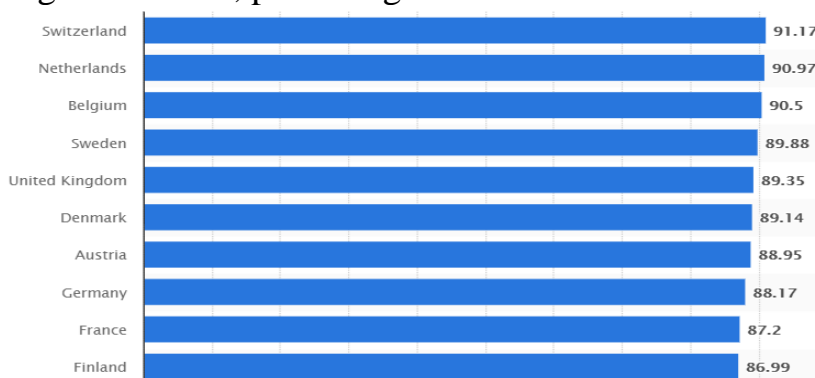


Figure 1. The leading countries for the KOF Globalization Index-2018 [1]

Most of these countries are leaders in innovation (Global Innovation Index), as indicated in Table. 1:

Table 1. GII-2019 country ranking

<i>Rank position</i>	<i>Country</i>	<i>Value GII-2019</i>	<i>The level of income</i>
1	Switzerland	67,24	high income
2	Sweden	63,65	high income
3	USA	61,73	high income
4	Netherlands	61,44	high income
5	United Kingdom	61,30	high income
6	Finland	59,83	high income
7	Denmark	58,44	high income
8	Singapore	58,37	high income
9	Germany	58,19	high income
10	Israel	57,43	high income

\* Compiled by data [2]

During the study, a correlation analysis was performed, the results of which revealed the following patterns. In innovative innovation leaders, the level of gross domestic product is strongly dependent on the number of patent applications from both residents and non-residents. It should be noted that the number of patent applications of non-residents is more important than the corresponding indicator for residents, which indicates a tendency for the expansion of intellectual property rights outside these countries and active international scientific and technical cooperation. This, in turn, makes it possible to increase the volume of gross national product, which also has a positive effect on the welfare level of the national economy of the country concerned. As for Ukraine, it should be noted that according to the KOF Globalization Index-2018, it is at 43 positions, the index value is 74,25. Considering the country's geographical position, resource availability and potential benefits, we believe that we could be ranked higher in this ranking. Undoubtedly, political uncertainty for a long time has adversely affected Ukraine's participation and place in the global economy. Unfortunately, today, the country's primary mission in the global economy is to provide raw materials and labour. However, the experience of highly developed countries demonstrates the impossibility of achieving economic prosperity without active international scientific and technical cooperation, especially in the context of Industry 4.0.

According to experts, for the domestic market of Ukraine Industry 4.0 should be a catalyst for the growth of industry, as well as the defense industrial complex [3]. A huge challenge for Industry 4.0 in the internal market is the involvement in the digitalization of Ukrainian industry and energy, the IT sector, and science. At present, both categories fall out of these processes [4]. The main task for Ukraine is to identify its niche in the global market. According to experts, the country currently has no conditions for any positioning among the leaders - the leading 20-30 post-industrial states of the world - in the next 5 years. Instead, Ukraine can be at least a regional leader in sophisticated and high-tech engineering services such as industrial

high-tech programming; design (electrical, mechanical, electronic, technological, construction, etc.); industrial automation and integrated engineering; development and production of complex, small-scale or unique products [4]. At the same time, the mission of Ukraine in the context of Industry 4.0 is formulated in two directions of positioning over the next 10 years: “Ukraine is a high-tech, post-industrial country integrated into global, technological value chains, producing unique engineering services and high-quality products in them. For its own needs, Ukraine is self-sufficient in providing its army and its economy with the most necessary technological products.” To accomplish this mission, the following areas are required [4]:

- institutionalization of the development of industrial high-tech segments at the state level;
- creation of an innovative ecosystem of industrial high-tech segments;
- accelerating clustering in the field of 4.0, both at regional and national levels;
- full-scale digitization of key sectors of industry, energy and infrastructure;
- Maximum integration of Innovation 4.0 in the country's defense complex and security strategy;
- launching export programs for industrial high-tech sectors;
- internationalization and integration into the global space 4.0.

We believe that the implementation of the measures foreseen in the Industry 4.0 strategy will increase the efficiency of international scientific and technical cooperation and national production and, accordingly, the competitiveness of the national economy in the world market.

## **REFERENCES**

- [1] KOF Globalization Index - 100 most globalized countries 2018. - <https://www.statista.com/statistics/268168/globalization-index-by-country/>
- [2] Global Innovation Index 2019, URL: <https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/reportpdf/GII%202019-Executive-Web.4.pdf>.
- [3] Скоробогатова Н. Є. Концептуальні засади формування сталого розвитку суспільства в контексті Індустрії 4.0 / Н. Є. Скоробогатова // Економічний вісник НТУУ «КПІ». - 2019. - С. 388-400. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.16.2019.182748>
- [4] Юрчак О. Українська стратегія Індустрії 4.0 – 7 напрямів розвитку. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/01/02/ukrainska-strategiya-industrii-4-0-7-napriankiv-rozvtuku/>



**Секція 10.**  
**Ефективні інженерні рішення у**  
**інформаційно-вимірювальних**  
**технологіях**

УДК 616-07

К.О. Борбат, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** В статті розглянуто можливості та особливості ефективного застосування вейвлет-перетворення для обробки фоно- та електрокардіографічних сигналів. Виокремлено особливості обробки сигналів. Дано рекомендації щодо вибору масштабування.

**Ключові слова :** електрокардіограма, вейвлет-перетворення, фонокардіографія.

### ВСТУП

Для вирішення проблеми обробки сигналів від фоно- та електрокардіограм розроблено ряд методів аналізу нестационарних сигналів. Найбільш поширеним методом є вейвлет-перетворення, тобто розкладання сигналу по набору базисних функцій, які визначені на інтервалі більш короткому, ніж тривалість кардіосигналу. При цьому всі функції набору породжуються за допомогою двопараметричного перетворення (зсув за часом і зміна масштабування) однієї вихідної функції, яка називається “материнською” або вейвлетом.

### ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ДЛЯ ФОНОКАРДІОГРАФІЇ ТА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ

Фонокардіографія (ФКГ) заснована на реєстрації та аналізі звуків, які виникають при скороченні і розслабленні м'язів серця [1,2]. ФКГ використовується для визначення характерних серцевих шумів: часу появи, місця максимальної інтенсивності, тривалості, частоти.

Розрізняють декілька характерних тонів ФКГ (дивись рис. 1). Вирізняють наступні зміни, що допомагають розпізнати деякі захворювання серця: послаблення, підсилення або розкладення 1-го та 2-го тонів, поява патологічного 3-го та 4-го тонів, систолічних і діастолічних шумів.

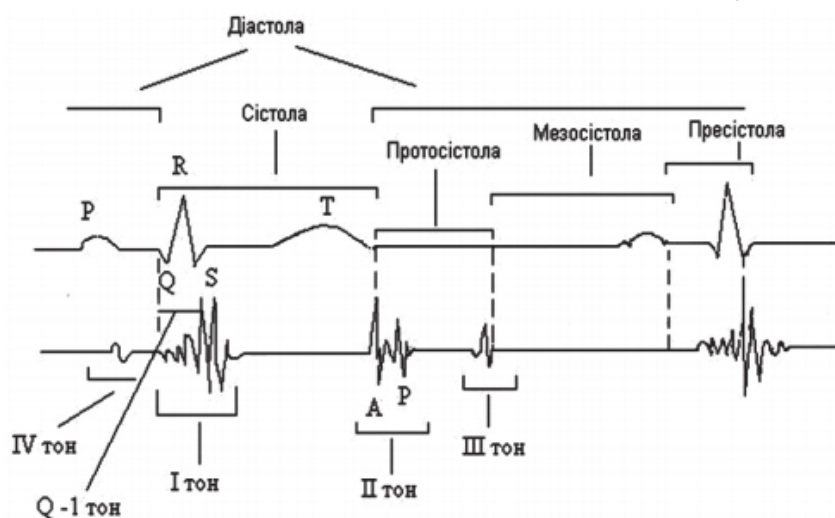


Рисунок 1. Комплекс сигналів на ЕКГ на тонів серця, що записані синхронно

При аналізі шумів враховують амплітуду, форму, тривалість, часові відношення між шумами і тонами, фазовість шумів.



Електрокардіографія (ЕКГ) є одним з найбільш прогресивних методів дослідження серцево–судинної системи, зокрема, функціонального стану серця.

Електрокардіографічне дослідження передбачає реєстрацію кривої зміни біопотенціалів серця, тобто кривої зміни величини і напрямку електрорушійної сили збуджених ділянок міокарда в часі відповідно до певної осі відведень.

В кардіоциклі виділяють наступні елементи: Р-хвиля, QRS-комплекс та Т-хвиля. Найбільше значення мають сегменти PQ і ST [3].

На початкових стадіях розвитку захворювань серця використання звичайної електрокардіографії у спокої, як правило, не виявляє відхилень від норми. Для цього використовують більш тривалі дослідження, наприклад 24-годинне Холтерівське моніторування, яке накопичує електрокардіосигнали в цифровому вигляді. Сигнали передаються в персональний комп'ютер для подальшої їх обробки та статистичного, спектрального і структурного аналізу. Оскільки в результаті запису накопичуються великі обсяги кардіоінформації, то необхідно використовувати швидкі і надійні методи її обробки та аналізу.

### **КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕЙВЛЕТ–АЛГОРИТМІВ**

Дані з ЕКГ та ФКГ, які записуються тривалий час, мають великий об'єм та зашумленість. Такі дані потребують значного розміру обчислень та супроводжуються низькою швидкістю обробки [1]. Вейвлет–алгоритми класифікують на два види: безперервні (CWT – Continuous Wavelet Transform) і дискретні (DWT – Discrete Wavelet Transform) вейвлет–перетворення. За допомогою методу DWT вдається швидше отримати набір вейвлет–коефіцієнтів. Метод дає досить точне представлення щодо сигналу при меншому об'ємі отриманих в результаті даних. Але CWT – зручніший, дозволяє більш повно і чітко представити і проаналізувати інформацію, яка міститься в даних, хоча й потребує більших обчислювальних затрат. Нижче наведено базисну функцію вейвлет–перетворення:

$$C_{a,b} = \int_R S(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

де  $S(t)$  – сигнал ФКГ;  $\psi$  – материнський вейвлет;  $a$  – масштабуючий коефіцієнт, що дає уявлення про частотні властивості сигналу;  $b$  – тимчасова затримка, що відображає час, впродовж якого відбувалося зняття даних ФКГ.

За допомогою вейвлет–перетворення виконується відновлення сигналу за допомогою різних складових вейвлет–представлення: апроксимація (груба оцінка) і деталізація (більш точна оцінка). Вибір масштабування ФКГ–сигналу визначається середньоквадратичним відхиленням реального ФКГ–сигналу від відновленого.

### **ОБРОБКА ДАНИХ ЕКГ**

Виявлення імпульсу R або QRS є першочерговою задачею при автоматичній обробці ЕКГ. Задача значно ускладнюється при збільшенні об'ємів даних, наприклад, коли тривалий запис кардіограми отримано в результаті моніторування за Холтером.

Сигнал ЕКГ, окрім запису активності серця, може містити шумовий компонент, який складається зі змінного струму живлення та зміни опору контактів датчиків. Шумові компоненти відділяють за допомогою звичайної фільтрації, однак фільтр впливає на імпульси QRS, розмиваючи їх [3, 4].

На рис. 2 зображено графіки з результатами фільтрації сигналу одного періоду ЕКГ на відподному інтервалі масштабування. Сірою кривою зображено фрагмент вихідних даних, чорною кривою зображено сигнал, отриманий після перетворення.

Фільтр з невеликими масштабами, що відповідають нижній частині спектра, виділяє з сигналу високочастотні складові, які зазвичай є стороннім шумом. Окрім шуму на вихід можуть потрапити імпульси високочастотних компонентів сигналу (зубці комплексу QRS). Зміною масштабу можна домогтися повного усунення високочастотних шумів, але при цьому може значно спотворитися корисний сигнал (дивись рис. 2).

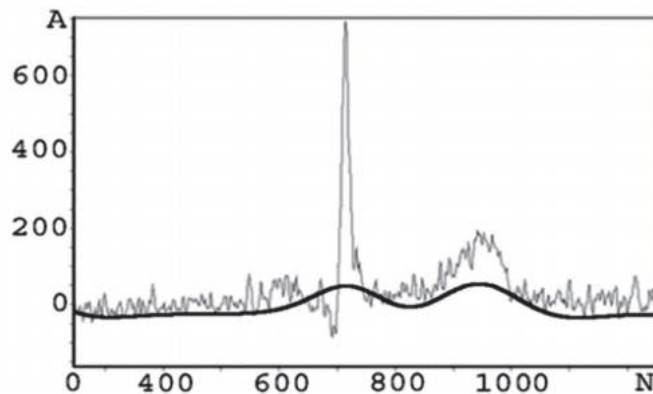


Рисунок 2. Виділення компонентів сигналу

Рекомендується вибір масштабу виконувати після перетворення, обчисливши вейвлет-спектр для досить широкого діапазону масштабування. Потім по карті спектра обирають необхідні масштаби і виконують зворотнє вейвлет-перетворення.

У роботі [5] проаналізовано сімейства Добеші, Сімлетів, Койфлетів, Гаусових вейвлетів, Біортогональних вейвлетів, а також вейвлетів Хаара, Мейера, Морле і «Мексиканський капелюх» відповідно до наступних параметрів вейвлет-частотної характеристики: ширина смуги пропускання головної пелюстки, площа бічних пелюсток, близькість центральної частоти головної пелюстки до частоти досліджуваного сигналу. Згідно з [5] кращими базисами в кожному вейвлет-сімействі можна вважати вейвлети: «db10» з сімейства Добеші; «sym9» з сімейства Сімлетів; «coif4» з сімейства Койфлетів; «gaus3» з сімейства Гаусових вейвлетів; «bior3.9» з сімейства біортогональних вейвлетів. Аналізуючи вейвлет-частотні характеристики вейвлет-сімейств, можна зробити висновок, що зі збільшенням порядку вейвлета в його сімействі зменшується смуга пропускання головної пелюстки і площа, зайнята бічними пелюстками. Найменшу смугу пропускання мають вейвлети Морлі, Гаусові вейвлети «gaus6» – «gaus8», біортогональні вейвлети «bior3.3» – «bior3.9».

При виділенні шумів на вихід може потрапити і частина корисного сигналу. Тобто при фільтрації зникне не тільки шум, але й високочастотна складова комплексу QRS.

Для кожної області можливо вибрати свій коефіцієнт відсікання. Наприклад, як зазначено в табл. 1. Правильно підібраний коефіцієнт відсікання дозволить зберегти високочастотну частину комплексу QRS, де відношення сигналу та шуму значно перевищує значення в інших областях. Це дає можливість знизити поріг в інтервалі з комплексом QRS без збільшення шуму на виході фільтра.

Таблиця 1. Масштаби та рівні відсікання

<i>Масштаб</i>	<i>Поріг</i>	<i>Інтервал</i>
1,18–3,36	100	405...415
4–11,31	400	280...520
Більше ніж 13,45	250	0...900

## **ВИСНОВКИ**

Розглянуто базові функції вейвлет–методу та використання вейвлет–перетворень для обробки ФКГ та ЕКГ сигналів. Змінюючи границі області масштабів рекомендується налаштувати вейвлет–фільтр для вирішення наступних проблем: відсікання сторонніх шумів на масштабах, вищих деякого рівня після фільтрації; виділення комплексу QRS на фоні значно послаблених інших компонентів сигналу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Дубровін, В. І. Огляд методів вейвлет-перетворення для аналізу фоно- та електрокардіограм / В. І. Дубровін, Ю. В. Твердохліб, А. В. Рашавченко // Журнал Бионика интеллекта. — 2013. — № 2(8). — С. 87-92.
- [2] Порева, А. С. Обработка ФКГ-сигнала при помощи вейвлет-преобразований / А.С. Порева, В.А. Фесечко // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». Методы и средства обработки сигналов и изображений. — 2009. — №1. — С. 148-155.
- [3] Зудбинов, Ю. И. Азбука ЭКГ и боли в сердце. / Ю. И. Зудбинов. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. — 240 с.
- [4] Шитов, А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Шитов Андрей Борисович ; ИГУ. — Иваново, 2001. — 125 с.
- [5] Твердохліб, Ю. В. Методи та інформаційна технологія комплексного оцінювання параметрів вейвлет–перетворення нестационарних сигналів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Твердохліб Юлія Володимирівна ; ХНЕУ. — З., 2018. — 178 с.

*Наук. керівник – к.т.н. Морозова М.М.*

## УДК 621.314:612.391

*Горковенко К. Г., студент гр. ВВ-81мп, Булавко Н. О., студент гр. ВВ-71,  
д.т.н., проф. Єременко В. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СИГНАЛІВ**

**Анотація:** у роботі проведено аналіз існуючого технічного рішення для діагностики тягово-рухомого складу, у якому були суттєві недоліки. Було запропоновано метод, який усуває ці недоліки, використовуючи частотні властивості сигналу.

**Ключові слова:** коливання, демпфування, залізничний транспорт

#### **ВСТУП**

Одним з найважливіших технічних параметрів тягово-рухомого складу, який визначає показники комфорту та безпеки – є ефективність роботи гасників коливань. Вони покращують динамічні якості рухомого складу за рахунок використання своїх демпфірувальних властивостей. Не дивлячись на велику різноманітність систем, які можуть діагностувати погашення коливань в умовах стендових випробувань, не можна достовірно дослідити та спрогнозувати поведінку діагностованого об'єкта в умовах експлуатації.

Стає актуальною задача розробки інформаційно-вимірювальної системи, яка діагностує погашення коливань рухомого складу в умовах, які наближені до експлуатаційних. Вирішення подібної задачі дозволить комплексно оцінити роботу як окремого взятого гасника, так і загальний інтегральний показник демпфірування надресорної частини одиниці тягово-рухомого складу.

#### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Для отримання характеристик демпфірувальних властивостей гасників визначають власну частоту коливань конструкції та логарифмічний декремент коливань. Згідно з діючими стандартами, розрахунки вищевказаних параметрів здійснюють на основі аналізу форми вихідного сигналу акселерометричного датчика, при якому враховується взаємне положення та відношення піків амплітуд гармонічного коливання. Так як у сигналі присутні побічні гармоніки, то вони спричиняють спотворення форми сигналу та призводять до неоднозначності визначення числових значень параметрів демпфірування. Зазвичай, на практиці відсутня можливість проведення багатократного вимірювання, що виражається у скидуванні об'єкта з клинів. Через відсутність можливості проведення багатократних вимірювань, необхідно застосувати такі алгоритми обробки даних, що будуть менше залежати від амплітуди неосновних гармонік та шуму у вхідному вимірювальному сигналі.

Недоліком вищевказаного методу є низька завадостійкість, яка спричинена чутливістю способу визначення частоти сигналу та логарифмічного декременту затухання до високочастотних складових та побічних гармонік, які наявні у інформаційному сигналі. При застосуванні даного методу, потрібно

використовувати апаратну або програмну фільтрацію інформаційного сигналу, який вносить додаткову ентропію, що спричиняє спотворення форми сигналу.

Щоб вдосконалити метод визначення власної частоти коливань конструкції та логарифмічного декременту затухань інформаційного сигналу, було запропоновано альтернативний метод визначення демпфірувальних характеристик. В основу розробленого методу було покладено задачу підвищення точності та завадостійкості визначення власної частоти і логарифмічного декременту затухань сигналу за допомогою розрахунку вищевказаних параметрів сигналу на основі спектральної щільності сигналів, тобто переведенням розрахунків з області часу в область частот. Визначення власної частоти коливання конструкції відбувається за допомогою застосування перетворення Фур'є, де визначається частота гармоніки з максимальною потужністю. Поряд з цим, відбувається визначення добротності коливальної системи  $Q$ , що визначає кількісну міру демпфірування.

Перевагою розробленого методу є висока точність визначення параметрів демпфірування. Висока точність забезпечується тим, що відсутній вплив високочастотних завад на результат розрахунків, адже визначення частоти та добротності інформаційного сигналу відбуваються у низькочастотному діапазоні, тоді як завади є високочастотні.

Через те, що гармоніки коливань надресорної частини та завад рознесені по спектру інформаційного сигналу, визначення логарифмічного декременту затухань здійснюється без попереднього застосування фільтрації та іншої цифрової обробки, що забезпечує відсутність спотворення параметрів вхідного сигналу. Відсутність попередньої фільтрації забезпечує високу точність і достовірність визначення результату.

Роздільна здатність спектру сигналу по частоті залежить від довжини вибірки, але у випадку з швидко затухаючими сигналами виникають протиріччя: з одного боку бажано використовувати для аналізу сигнал максимальної тривалості, але не логічно збільшувати сигнал неінформативними даними – високочастотним шумом, так як корисна складова зосереджена на часовому проміжку перших 10 секунд. Для підвищення прецизійності визначення логарифмічного декременту затухання в частотній області використано сплайн-інтерполяцію спектральної огинаючої з збільшенням кількості точок, тим самим роздільної здатності спектру по частоті. Для збереження швидкодії програмного забезпечення реалізовано можливість відбору для обробки лише інформативну частину спектру сигналу.

Для апроксимації використано поліном третього порядку, що є найпростішою кривою, яка має точку перегину, що забезпечує її хороші інтерполяційні можливості. Кубічні сплайни мають на всьому відрізку апроксимації неперервні похідні до другого порядку. Така гладкість достатня для вирішення більшості практичних задач. Невисока степінь полінома спрощує обчислення і зменшує похибку обчислення [69].

У зв'язку з тим, що основні гармоніки коливань надресорної частини та завад значно рознесені по спектру сигналу, визначення логарифмічного декременту затухань здійснюється без застосування фільтрації та інших

алгоритмів цифрової обробки, що забезпечує відсутність спотворення характеристик параметрів вхідного сигналу.

На рис. 1 наведено графічне представлення принципу застосування інтерполяції для згладжування огинаючої спектру.

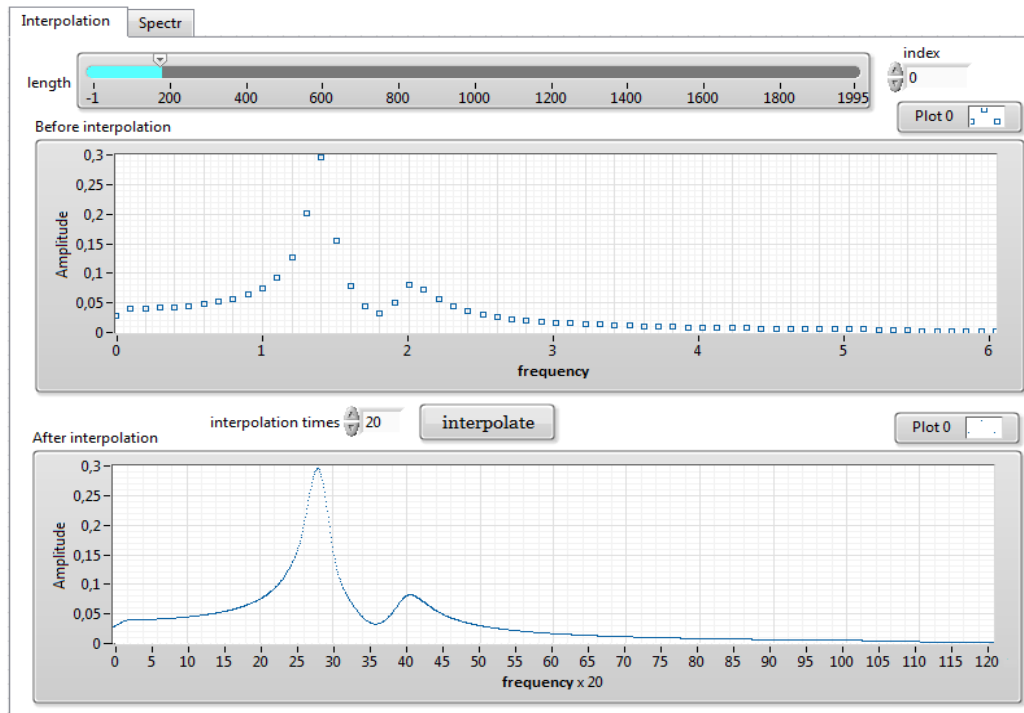


Рис. 1. Інформативна частина спектрограми до і після інтерполяції

Було проведено експеримент, на якому було визначено похибки розроблено та відомого методів. Розроблений метод дозволяє визначити логарифмічний декремент та власну частоту коливань з систематичною похибкою, яка не перевищує 0,7% і випадковою похибкою, яка не перевищує 1,0%, тоді як відомий спосіб має систематичну похибку, яка знаходиться в діапазоні від 7% до 14%, а для випадкової – від 5% до 10%.

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод має високу чутливість та є завадостійким, що дозволяє провести дослідження демпфівальних властивостей об'єктів та провести діагностику по побічних осях функціонування гасників. Також, запропонований метод дозволяє оцінити реальний стан демпфівальної системи в умовах, які максимально наближені до експлуатаційних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Програма-методика стаціонарних випробувань по скиданню з клинів рухомого складу: ДНДЦ.ГК.М01-2013. — [Затверджено 2013—07—01]. — К.: ДНДЦ УЗ, 2013. — 22 с.
- [2] Єременко В. С., Шегедін П.А., Переїденко А.В. Система діагностики демпфівальних характеристик рухомого складу – матеріали II Міжнародної наукової конференції ВКДТС 2013, с. 255-256.

УДК 502.211:631.5

В.В. Калюжна, студентка гр. ПВ-91мп, Д.Ю. Мерзисевська, к.т.н., доц.

Павлишин М.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ СТАНУ ҐРУНТІВ.

**Анотація.** В даній статті описана структура, алгоритми функціонування інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) та перелік параметрів ґрунту, які дозволяє вимірювати запропонована система. Розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє забезпечити ефективний інтерактивний режим спілкування користувача з системою. Подальший розвиток дослідження орієнтовано на розробку програмного забезпечення системи прогнозування можливих змін стану ґрунтів в короткотерміновій перспективі.

**Ключові слова:** експрес-аналіз, алгоритми, параметри ґрунту, прогнозування.

### ВСТУП

Ефективність сільськогосподарських виробництв в значній мірі залежить від правильності планування технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур. Таке планування може бути ефективним лише при наявності інформації про стан всіх видів агроресурсів. Оскільки ґрунт є основним видом агроресурсів, то максимальна кількість інформації про його поточний стан є важлива та актуальна.

Традиційні методи аналізу ґрунтів вимагають відбору проб ґрунту, перевезення їх до стаціонарної агрохімічної лабораторії, виконання вимірювання необхідних параметрів ґрунту. Все це вимагає часових та матеріальних затрат. Це призводить до того, що інформація отримана в результаті такого аналізу є запізнілою. Тому вчені та інженери ведуть пошуки методів та розробку засобів для експрес-аналізу поточного стану ґрунтів. Саме на вирішення цих завдань направлені дослідження, результати яких наведені нижче.

### МЕТА РОБОТИ

1. Підвищити метрологічні характеристики вимірювань основних параметрів ґрунту.
2. Зменшити часові та матеріальні затрати на реалізацію таких вимірювань.
3. Підвищити ефективність реалізації завдань оцінки стану ґрунту.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Авторами запропоновано інформаційно-вимірювальна система для експрес-аналізу стану ґрунтів, структурна схема якої представлена на Рис.1.

### МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ

Система працює наступним чином: Одразу після підключення системи до живлення відбувається автоматичне включення, система готова до роботи. На дисплеї відображається температура та вологість[2] атмосферного повітря. Датчики занурюємо у ґрунт на глибину 3-5 см. При натисканні на кнопку виконуються почергове вимірювання та відображення параметрів. Індикатор

горить червоним, що означає низьку вологість. Після повторного натискання на кнопку система вимірює температуру на датчиках та відображає її. При наступних натисканнях на дисплеї відображається рН та електропровідність та світяться відповідні до поточних значень індикатори.

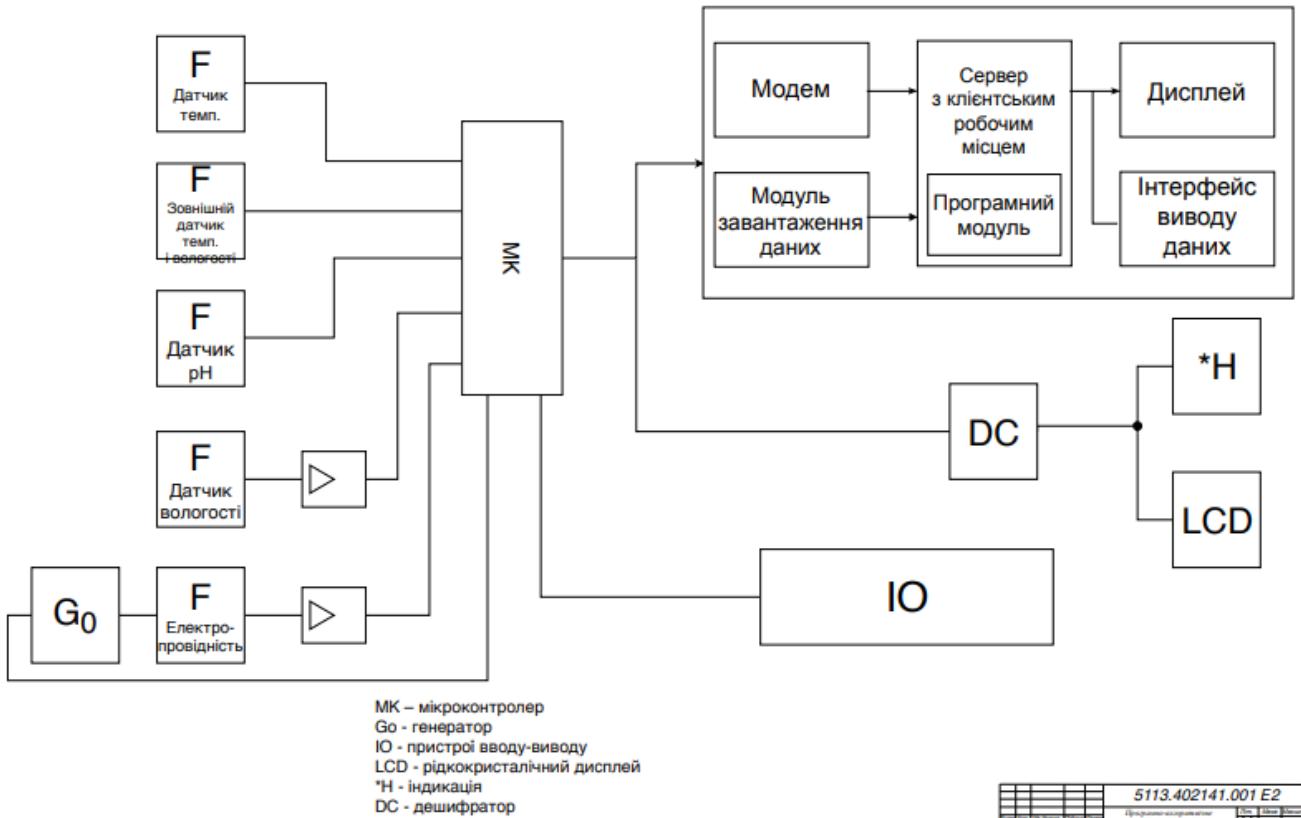


Рис. 1. Структурна схема системи експрес-аналізу ґрунту.

На Рис.2, Рис. 3 представлені алгоритми роботи системи та програмного забезпечення.

В програмному забезпеченні є можливість вибору системи, якщо їх декілька, та додавання ІВС, якщо придбали нову. Наступний рядок відображає поточний стан атмосферного повітря, а саме його температуру та вологість[3]. Наступна частина інтерфейсу поділяється на праву та ліву. Права частина - це робота, безпосередньо, з самою системою. Користувач має можливість задати діапазон вимірювальних параметрів та натиснути кнопку “Set”, з метою відправити зміни на саму систему, для того, щоб при виході з цього діапазону користувач був сповіщений про це. Ліва частина програми відповідає за інтелектуальний аналіз даних. Користувач може задати норми для параметрів, які вважає припустимими, та натиснути кнопку “Apply” для проведення аналізу. Після чого в нижній частині програми можна побачити до якої групи віднесли стан аналізованого параметра ґрунту в даний момент часу: 1 група - за нижньою межею - якщо параметр ґрунту[5] менший за мінімум, який ввів користувач.

2 група - менше 10% - якщо параметр знаходиться в межі діапазону заданого користувачем, але близько до її мінімального значення.



3 група - 10 ... 25% - якщо параметр знаходиться в робочому діапазоні, що відповідає від 10% до 25% всіх допустимих значень

4 група - 25...75% - якщо параметр ґрунту відповідає найоптимальнішим значенням для подальшого функціонування.

5 група - 75 ... 90% - відповідає 3 групі, але з іншої сторони діапазону (це потрібно для подальшого аналізу стану ґрунту, та вирішення проблем вчасно.

6 група - більше 90% - відповідає 2 групі, але з кінцевого значення заданого діапазону.

7 група - за верхньою межею - якщо параметр ґрунту більший за максимум, який задав користувач.

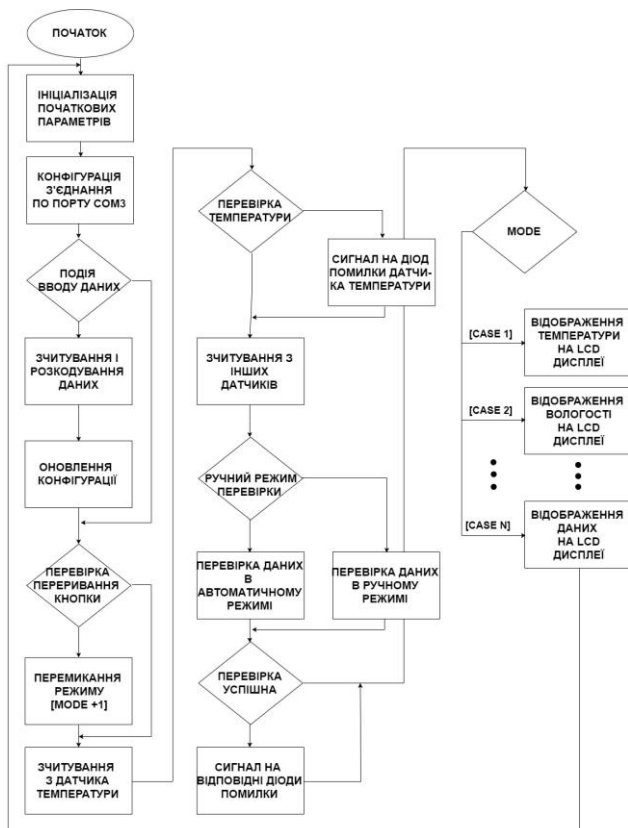


Рис. 2. Алгоритми роботи системи експрес-аналізу ґрунту.

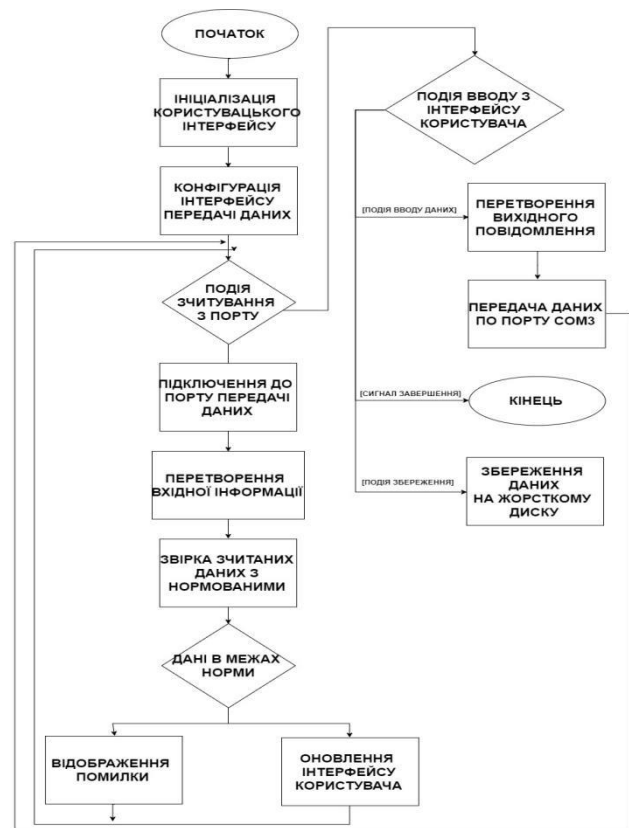


Рис.3. Алгоритми роботи програмного забезпечення системи аналізу.

Данні зберігаються у внутрішній пам'яті пристрою, та при необхідності користувач може зберігати їх на зовнішній носій. При цьому треба звернути увагу в яку саме групу потрапив параметр при аналізі та прийняти потрібні рішення для усунення небезпечної ситуації[7]. При потраплянні до груп 1,2,6,7 діоди стають червоними в середній частині програми з'являються попереджувальні надписи для привернення уваги користувача та швидшої реакції на ситуацію.

## ВИСНОВКИ

Використання розробленої авторами інформаційно-вимірювальну систему дозволяє оперативно отримувати результати про поточний стан ґрунтів, а саме:

температури ґрунту, вологості ґрунту, рН показника та електропровідності на необхідних глибинах. Часові затрати на отримання такої інтегральної характеристики складає максимум 5 хвилин, що надає суттєві переваги перед традиційними методиками аналізу параметрів ґрунту, суттєво підвищує ефективність процесів вимірювання і робить доступним вимірювання параметрів безпосередньо на полі агрономами або технологами.

Інформаційно-вимірювальна система може використовуватись сільськогосподарськими підприємствами та регіональними екологічними підрозділами. Потреба в таких ІВС до 1000 штук на рік.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Шметер С. М. Влажность земли [Физическая энциклопедия} Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1. — С. 285—286. — 704 с. — 100 000 экз.
- [2] Влажность земли // Метеорологический словарь
- [3] Усольцев В. А. Измерение влажности земли — Л.: Гидрометеиздат, 1959 с.
- [4] Берлинер М. А. Измерения влажности. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергия, 1973.
- [5] Сивухин Л. В. (1977). Общий курс физики. Том III. Электричество. Москва: Наука.
- [6] Білоруський енциклопедія: В 18 т. Т.13: Проміле - Релаксін / Редкол.: Г. П. Пашков та ін - М.: БелЕн, 2001. - Т. 13. - С. 105. - 576 с. - 10 000 прим. - ISBN 985-11-0216-4 (Т. 13).
- [7] Деркач Ф. А. Хімія. — Львів : Львівський університет, 1968. — 312 с.
- [8] Сучков А. А «Аналоговые и цифровые измерительные устройства».
- [9] Г. И. Волович «Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств».

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Павлишин М.М.*

## УДК 628.132

*С.В. Кондратюк, студент гр. ПІ-81мп, д.т.н., проф. Гераїмчук М. Д.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В ЕКОЛОГІЧНОМУ ЗАХИСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Анотація.** В останні роки, у зв'язку з постійним розвитком і прогресом процесу індустріалізації, проблема забруднення води стає все більш серйозною, що не тільки викликає забруднення середовища проживання людей, але також накладає величезний тягар на глобальну роботу по захисту навколишнього середовища, особливо промисловості. Стічні води важко обробляти, натомість легко забруднити. Щоб ефективно вирішити проблему забруднення води, передові технології очищення стічних вод можуть не тільки підвищити швидкість очищення цих вод, а й сприяти безперешкодному здійсненню робіт з охорони навколишнього середовища. У цій статті основна увага приділяється поточному етапу проблем зі стічними водами і станом технологій очищення стічних вод, а також проводиться короткий аналіз і рекомендації.

**Ключові слова:** екологія, охорона навколишнього середовища, очищення стічних вод, технологія

## **ВСТУП**

Екологічний захист навколишнього середовища стає все більш актуальною проблемою для вчених в країні і за кордоном, і проблема забруднення води є найбільш гострою. Як джерело, вода для виживання, чи є вона чистою чи ні, тісно пов'язана з людським життям. Зрозуміло, що деякі сільські райони мало знають про забруднення води. Багато людей до сих пір викидають побутове сміття в річкову воду, в той час як деякі промислові підприємства не мають досконалих систем очищення стічних вод. Вони часто скидають стічні води в довколишні річки. Він не тільки забруднює місцеве джерело води, але і руйнує навколишнє екологічне середовище і впливає на фізичне здоров'я і середовище проживання оточуючих жителів. В даний час, з проривом технологій очищення стічних вод, поступово впроваджуються різні передові технології.

## **ПЕРЕВАГИ ЕКОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.**

Традиційно в відомих методах очищення стічних вод в основному прийнятий принцип очищення, тобто перетворення і поглинання шкідливих речовин з використанням хімічних і фізичних методів. Через високу вартість та технічну складність цих двох технологій очищення, це не було підвищено. У порівнянні з традиційними технологіями обробки, екологічне середовище має багато переваг. Екологічно чиста технологія очищення стічних вод використовує різні середовища, такі як рослини, ґрунт і мікроорганізми, для переміщення стічних вод в створену екосистему за допомогою певних процедур і розкладання шкідливих речовин в забрудненому джерелі води, щоб їх можна було знову використати для досягнення загального циклу [1].

## **ТЕХНОЛОГІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.**

Технологія очищення стічних вод є найбільш поширеною в системах, які очищають ці води, і в якій використовуються принципи фотоліза, фільтрації, окислення та осадження для поглинання поживних речовин в тому ж в процесі очищення стічних вод. Тим самим прискорюються темпи росту рослин, підвищується родючість землі, поліпшується якість забрудненої води та досягається ефект двосічної структури. На додаток до систем швидкого і

повільного осмосу, наші звичайні системи очищення стічних вод включають в себе як підземні, так і поверхневі системи осмосу, а також системи хімічного і фізичного очищення, які є найбільш базовими. Ці види методів очищення стічних вод можуть сприяти забрудненню джерела води до стандартного рівня і можуть повторно використовуватися в якості ландшафтної води і зрошення земель для досягнення мети повторного використання стічних вод [2].

**Побудова екологічного очищення ставків.** Технологія екологічного очищення ставків - це, головним чином, система штучних екологічних ставків, побудована на основі виробництва води та біології водоплавних птахів. Ланцюг живлення і її принцип фотосинтезу використовуються для розкладання несприятливих компонентів в стічних водах для досягнення подальшого розкладання [1]. Він також надає поживні речовини і їжу для водоплавних істот. Це дозволить екології досягти повного використання на додаток до створення економічних вигод. Отже, це також популярна система очищення в процесі здійснення очистки стічних вод.

**Побудова очищення фільтру мокротиння.** Технологія очищення мокротиння в першу чергу полягає у введенні «тарганів» у фільтруючий бак і перетравленні та розкладанні через шари фільтруючого бака для досягнення процесу очищення стічних вод. Фільтр мокротиння є штучно побудованою екосистемою. Принцип його роботи в основному розділений на три етапи. Перший крок називається шаром розкладання. Цей шар в основному очищає та розкладає забруднені компоненти у воді за «повзучими» характеристиками «тарганів» та способом всмоктування та травлення. Вміст органічної речовини у фільтрі збільшує ефект очищення. Другий шар і третій шар є відповідно додатковим шаром і підтримуючим шаром, а основна функція двох шарів - фільтрація. Розкладену каналізацію знову фільтрують, оскільки система очищення фільтрів мокротиння має низьку експлуатацію, проста в процедурі, а кінцевий коефіцієнт очищення стічних вод відносно високий, це також є найбільш зручною та широко застосовуваною технологією очищення стічних вод [2].

**Екологічні ініціативи з очищення стічних вод.** Це насамперед, розумне встановлення насосної станції відповідно до характеристик міста на сучасному етапі, велика кількість стічних вод, не встановлений час тощо. Бювет слід будувати відповідно до місцевої ситуації скидання, щоб забезпечити можливість цієї станції витримувати об'єм стічних вод. Перед будівництвом насосної станції слід заздалегідь провести обстеження скиду стічних вод та узагальнити її до систематичної форми. Відповідно до часу та потоку стічних вод, кількість та витрата води насосної станції можуть бути зрозумілі для оптимізації використання цієї насосної станції [3].

**Координація загального планування системи очищення стічних вод.** Під час будівництва всієї системи очищення стічних вод, каналізаційні та впускні труби будуються згідно з існуючими планами. Перед запуском системи очищення стічних вод, необхідно скласти загальні плани їх очищення у місті та провести виїзні розслідування для забезпечення точного встановлення пунктів водовідведення [2].

**Розумна конструкція аераційного резервуару.** Аераційний балон грубо розділений на механічну та доменну аерацію, серед них мікропористі диски аерації використовують більше. По-перше, аераційний диск повинен приділяти особливу увагу конденсованій воді при розробці та використанні. Регулярний потік і уникнення скупчення води в трубопроводі призводить до збільшення опору трубопроводу [4]. Крім того, щодо впливу обсягу очищення стічних вод, їх ступеня та технології необхідно зробити прогнози та аналіз, щоб переконатися, що стічні води досягли найкращого ефекту чистоти в процесі очищення [4]. По-друге, необхідно контролювати подачу обсягу повітря та уникати витрачання ресурсів.

## **ВИСНОВОК**

Підсумовуючи це, світ стикається з поступовим скороченням доступних водних ресурсів, а питання забруднення води привертає все більшу увагу міжнародної сфери. Україна також супроводжується подібними явищами: довільне знешкодження побутових стічних вод та приватне скидання промислових вод зробили проблему забруднення води в Україні все більш актуальною. Щоб забезпечити вторинну утилізацію стічних вод та забезпечити її залишкову цінність, очищення таких вод вкрай необхідне. Потім, для вдосконалення технології очищення стічних вод, для досягнення кращих та швидших результатів, необхідно використовувати передові технології очищення відповідно до місцевих умов, дотримуватися принципу переробки, покращувати швидкість повторного використання стічних вод та досягати цілей її охорони в навколишньому середовищі.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Екологічна безпека України: Навчальний посібник / М. І. Хилько. – К., 2017. – арк
- [2] Sharma H & Sharma S, “A review of sensor networks: Technologies and applications”, IEEE Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS), (2014), pp.1-4.
- [3] Технология обеззараживания воды. / Малышев С.А. // Вода и очистные технологии. - 2002. № 1. - С.47-49.
- [4] Wu Peng. Research into environmental technology for wastewater treatment. Technologies and construction design, 2016.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Гераймчук М. Д.*

УДК 543.271

*О.В. Мельник, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст.викл. Морозова М.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МЕТОДИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ**

*Анотація.* У статті розглянуто методи газового аналізу, на основі яких працюють газоаналізатори для контролю та зменшення шкідливих промислових викидів в атмосферу.

*Ключові слова:* газ, методи газового аналізу, промислові викиди.

### **ВСТУП**

Газовим аналізом називають якісне виявлення і кількісне визначення компонентів газових сумішей, що проводяться за допомогою спеціальних газоаналізаторів або лабораторних методів.

Методи газового аналізу в загальному випадку можна розділити на два види: фізичні та хімічні. При хімічному аналізі перевіряють взаємодію газів із різними реагентами, виявляють основну речовину; або спалюють газ, спостерігають за його поведінкою при горінні. При застосуванні фізичного методу газ нагрівають, стискають, оцінюють щільність і масу, а результати визначають спеціальними датчиками. Фізичні методи аналізу наразі витіснили хімічні, оскільки немає необхідності спалювати газ або використовувати реактиви. Отже, сучасні способи газового аналізу – переважно автоматичні і фізичні. А за характером вимірюваного фізичного параметра всі види аналізу поділяються на механічні, акустичні, теплові, магнітні, оптичні, іонізаційні, мас-спектрометричні, електрохімічні, напівпровідникові [1].

### **ПРИНЦИПИ ДІЇ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ**

Для контролю промислових викидів необхідні газоаналізатори, принцип дії яких заснований на електрохімічному, оптичному методах газового аналізу. Електрохімічний метод, у свою чергу, поділяють на кондуктометричний і кулонометричний [2,3].

Кондуктометричний метод дії газоаналізаторів заснований на реєстрації зміни електропровідності електроліту, що виникає в результаті його взаємодії з аналізованою газовою сумішшю. Дані газоаналізатори відрізняються високою чутливістю, швидкодією, простотою виконання, портативністю і відносно невисокою ціною. Істотним недоліком газоаналізаторів, які використовують цей метод є низька селективність по відношенню до змішаних компонентів та велика залежність від параметрів зовнішнього середовища.

Кулонометричний метод дії газоаналізаторів заснований на безперервному автоматичному титруванні аналізованого компонента реагентом, при протіканні електрохімічної реакції на одному з електродів електрохімічної комірки. Сила струму є пропорційною вмісту визначального компонента в аналізованому середовищі. Газоаналізатори, що діють на цьому принципі, також характеризуються високою чутливістю, швидкодією, портативністю і відносно невисокою ціною. За своєю селективністю вони перевершують

газоаналізатори, які працюють за кондуктометричним принципом. До загальних недоліків електрохімічних газоаналізаторів також можна віднести невеликий міжповірочний інтервал та необхідність періодичної заміни аналітичних складових.

Наступним методом газоаналізу для контролю промислових викидів є оптичний метод, який поділяють на абсорбційний і емісійний. Метод абсорбції полягає в здатності речовини поглинати випромінювання в вузьких ділянках спектра. Газоаналізатори на основі цього методу відрізняються значним різноманіттям і можуть працювати у видимій, УФ- та ІЧ-областях спектра; а також вони мають гарну чутливість та селективність, зазвичай досить надійні в експлуатації. Однак вимагають більш кваліфікованого персоналу, а їх вартість вище, ніж у електрохімічних газоаналізаторів.

В основі дії газоаналізаторів, що працюють за емісійним принципом, є вимірювання випромінювання збуджених молекул компонента, який аналізується. У збуджений стан молекули аналізованого компонента можуть бути переведені як за рахунок випромінювання (флуоресцентні газоаналізатори), так і за рахунок хімічних реакцій (хемілюмінесцентні газоаналізатори). Газоаналізатори, що працюють на емісійному принципі, в основному мають ті ж переваги і недоліки, що й абсорбційні.

Газоаналізатори, що працюють за рахунок використання оптичних методів, відносяться в більшості випадків до газоаналізаторів універсального призначення. Дія спеціалізованих оптичних газоаналізаторів (димомірів і пиломірів) заснована або на абсорбційному методі, або на явищі розсіювання світла.

Окрім класифікації за принципом дії газоаналізатори розділяються за способом відбору проби, що включає:

1. Безпосередній відбір проби, її транспортування, підготовка і аналіз.
2. Відбір проби з розведенням, її транспортування, аналіз мікроконцентрацій.

Перший спосіб передбачає, що до складу газоаналізатора повинні входити:

- занурений пробовідбірний зонд, який зазвичай являє собою трубку з нержавіючої сталі, оснащену металокерамічним фільтром внутрішньої фільтрації для грубої очистки від пилу;
- магістраль транспортування проби, яка представляє собою трубку з фторопласта. При значній довжині магістралі (яка перевищує 1,5 м) необхідно використовувати магістраль, що обігривається, яка забезпечує температуру відібраної проби вище точки роси;
- пристрій видалення надмірної вологи. Для цієї мети зазвичай використовують або пристрій охолодження (холодильники), або напівпроникні трубки;
- пристрій аспірації проби;
- аналітичний блок.

Другий спосіб передбачає, що до складу газоаналізатора повинні входити:

- занурений пробовідбірний зонд, який має фільтр очищення від пилу і вбудований пристрій розведення (кварцовий капіляр або сопло);
- магістраль транспортування проби, яка може мати довжину до декількох десятків метрів, оскільки відбувається розбавлення проби сухим очищеним газом;
- компресор із блоком очищення повітря або балон зі стисненим повітрям;
- аналітичний блок.

Обидва ці способи реалізовані в різних газоаналізаторах і газоаналітичних комплексах, і кожен з них має свої переваги і недоліки. Відбір проби з розведенням дозволяє уникнути застосування магістралей, які обігріваються і пристроїв відділення вологи, а також використовувати газоаналізатори, розроблені для контролю атмосферного повітря, при промислових викидах. Однак, використовуючи цей спосіб, необхідно забезпечувати великий потік чистого повітря для розведення. Отже, зазначений спосіб використовується тільки в стаціонарних умовах або у вигляді пересувних комплексів. Безпосередній відбір проби дозволяє реалізувати портативні переносні варіанти газоаналізаторів. При цьому довжина пробовідбірної магістралі зазвичай обмежена. Використання магістралей, які обігріваються, також призводить до збільшення габаритів і маси газоаналізатора.

## **СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

З метою забезпечення достовірної інформації про обсяг і рівень впливу на навколишнє середовище, стаціонарні джерела основних технологічних процесів і обладнання повинні бути оснащені автоматичними засобами вимірювання та обліку концентрацій забруднюючих речовин. Для забезпечення безперервного аналітичного контролю промислових викидів джерела викидів повинні бути обладнані газоаналізаторами стаціонарного типу. Для вимірювання діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), а також оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ) в димових газах металургійного, будівельного, хімічного виробництва і підприємств енергетики найбільш підходящими є газоаналізатори стаціонарного типу, в яких застосовується оптико-абсорбційний метод вимірювання. Окрім них, для визначення зазначених речовин, застосовуються газоаналізатори, які використовують електрохімічний і колориметричний методи вимірювання.

Межі відносної похибки вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в робочих умовах повинні складати не більше  $\pm 25\%$  від вимірюваної величини. Межі відносної похибки вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в робочих умовах для газоаналізаторів спеціалізованого призначення повинні бути вказані в експлуатаційних документах на газоаналізатори.

Приклад структури інтелектуальної системи аналізу газів (ІСАГ) зображено на Рис. 1. Дана ІСАГ може виконувати наступні функції:

- відображення отриманих результатів вимірювання, результатів аналізу отриманих значень концентрації газу в системі;



- аналіз отриманих значень концентрації з газоаналізатора, визначення, чи ці вимірні значення не перевищують допустимі рівні концентрації;
- сповіщення про перевищення допустимого рівня концентрації.

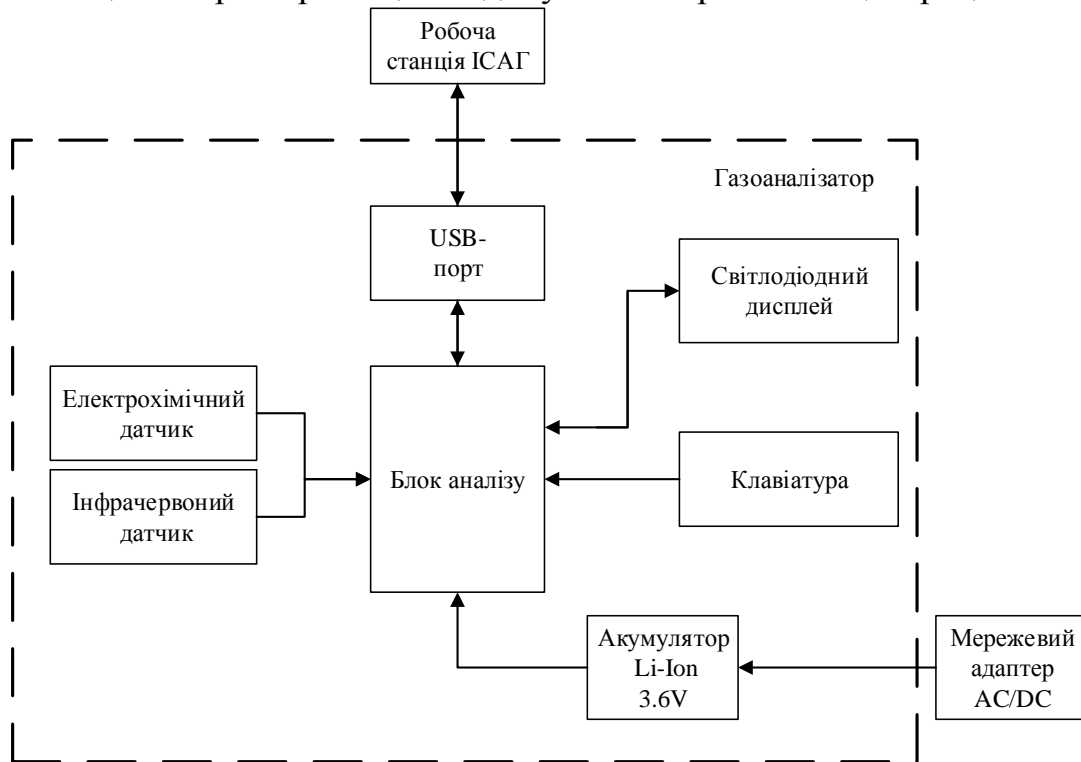


Рисунок 1. Структурна схема інтелектуальної системи аналізу газів

## ВИСНОВОК

Основними компонентами викидів промислових підприємств є складові CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, вуглеводні. Окрім цих компонентів для нормування викидів часто потрібно також визначати компоненти O<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O.

Газоаналітичні комплекси дозволяють покращити технологічні процеси на підприємстві, зменшити шкідливі викиди в атмосферу, оптимізувати споживання енергоресурсів. Окрім того, застосування комп'ютерної обробки вимірювальної інформації повинно забезпечувати архівування результатів вимірювань, і тим самим відслідковувати відхилення технологічного процесу за результатами газоаналітичного контролю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Газовый анализ / ООО «Югра-ПГС». — Режим доступа: [http://ugrapgs.ru/gazovyj\\_analiz/](http://ugrapgs.ru/gazovyj_analiz/) — 17.11.2019 г.
- [2] Методическое пособие по аналитическому контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферу / ОАО «НИИ АТМОСФЕРА». — Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816556.pdf/> — 17.11.2019 г.
- [3] Типы газоанализаторов / ООО «ЕвролабГаз». — Режим доступа: <http://eurolabgas.ru/> — 17.11.2019 г.

*Наук. керівник – к.т.н. Морозова М.М.*

**УДК 502.211:631.7**

*Д.Ю. Мержиєвська, студентка гр. ПВ-91мп, В.В.Калюжна, студентка гр. ПВ-91мп, к.т.н., доц. Павлишин М.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНЦЕНТРАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ**

*Анотація.* В статті розглянуті методи та засоби вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, температури та вологості в діапазонах та з похибками які зазначені в стандартах ДСТУ та директивах Євросоюзу. Система дозволяє реалізувати як окремі одноразові вимірювання концентрації цих газів так і вести моніторинг концентрації їх значень в атмосферному повітрі. Подальший розвиток досліджень орієнтований на створення програмного забезпечення системи для прогнозування можливих змін стану концентрації парникових газів в середньостроковій перспективі.

**Ключові слова :** ІВС, алгоритм, концентрація парникових газів, моніторинг.

**ВСТУП**

Антропогенна діяльність людей призвела до того, що концентрація парникових газів в атмосфері за даними ООН на серпень 2019 перевищила значення 450 ppm. Як відомо що біосфера здатна самовідновлюватись при значенні парникових газів не більше 360 ppm [2] , тобто атмосфера знаходиться в незворотньому критичному стані. Сьогодні ведеться активний пошук технологій зменшення парникових газів в атмосфері та їх термінового використання але ефективність таких методів в значній мірі залежить від можливості отримання достовірної інформації про поточний стан атмосфери та прогнозуванні можливостей її змін.

**МЕТА РОБОТИ**

Метою даного дослідження є розробка інформаційно вимірювальної системи, алгоритмів її функціонування та методики застосування для вимірювання парникових газів в атмосфері, як одноразово так і реалізувати неперервний моніторинг стану атмосферного повітря.

**МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для реалізації поставленої мети авторами розробки ІВС, структура якої представлена на рисунку 1.

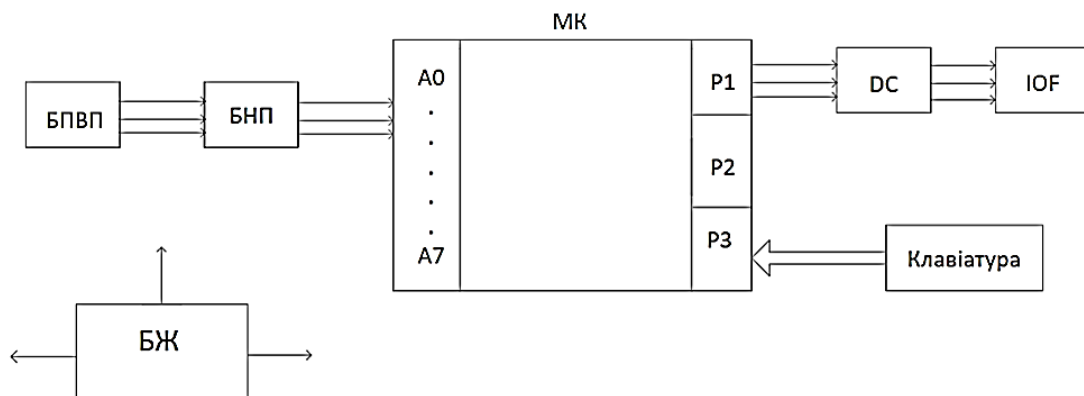


Рисунок 1. Структурна схема ІВС

БПВП - Первинні вимірювальні перетворювачі представляють собою окремі датчики, кожен із яких вимірює відповідний параметр якості повітря – температуру, вуглекислий газ, вологість. Принцип роботи датчика температури ґрунтується на залежності опору від температури, вуглекислий газ – абсорбаційний тип, вологості – ємнісний [3].

БНП – представляє собою сукупність підсилювачів постійного струму і призначений для нормування вихідного сигналу БПВП.

МК - Мікроконтролер являє собою програмно-керований пристрій, призначений для обробки та виконання логічних операцій з цифровою інформацією, яку перетворює вбудований аналого-цифровий перетворювач. Мікроконтролер також має в своєму складі комутатор, який виконує функцію почергового підключення вихідних сигналів первинних вимірювальних перетворювачів до вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи [1].

БЖ - Блок живлення застосовується для живлення елементів схеми відповідними напругами [4].

Алгоритм функціонування наведено на рисунку 2.

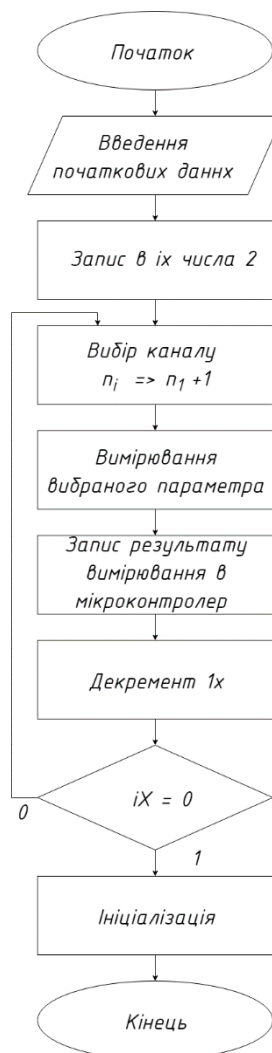


Рисунок 2. Алгоритм функціонування ІВС

Методика виконання ІВС: первиний вимірювальний перетворювач розміщується на висоті 2м над поверхнею землі. Почергово вимірюються значення всіх параметрів які заносяться в спеціальний інформаційний фрейм. Даний фрейм є основою для створення бази знань про стан атмосфери.

Дана база знань використовується:

1. Для прийняття організаційно управлінських рішень по очищенню атмосферного повітря.

2. Для прогнозування можливих змін стану атмосферного повітря в коротко- та середньо- строковій перспективі з метою недопущення критичного, небезпечного його стану.

## **ВИСНОВКИ**

Результати приведенних досліджень дозволяють реалізувати процеси вимірювання концентрації парникових газів в атмосфері, оцінити динаміку змін стану атмосфери та запропонувати організаційно технологічні заходи по стану атмосфери НДІ цивільного захисту Державна служба надзвичайних ситуацій. Потреба в таких інформаційно вимірювальних системах – 500 од. на рік.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Инженерная микроэлектроника А Маргелов.
- [2] Влажность воздуха // Метеорологический словарь. Усольцев В. А. Измерение влажности воздуха. — Л.: Гидрометеиздат, 1959.
- [3] Г. И. Волович «Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств»
- [4] Сивухин Л. В. (1977). Общий курс физики. Том III. Электричество. Москва: Наука.
- [5] Білоруський енциклопедія: В 18 т. Т.13: Проміле - Релаксін / Редкол.: Г. П. Пашков та ін - М.: БелЕн, 2001. - Т. 13. - С. 105. - 576 с. - 10 000 прим. - ISBN 985-11-0216-4 (Т. 13).

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Павлишин М.М.*

УДК 53.082.17

М.В. Некрасова, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст.викл. Морозова М.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ МЕТОД ТА ЗАСОБИ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

*Анотація.* Розглянуто основні поняття тензометричних вимірювань, напрямки використання тензорезисторів. Упорядковано компоненти й фактори виникнення похибок тензорезистивних датчиків. Проаналізовано способи виключення певних похибок та методи запобігання виникненню похибок.

**Ключові слова:** тензометрія, тензоперетворювач, тензочутливість, тензорезистор.

### ВСТУП

В основі методів тензометрії містяться вимірювання лінійних деформацій за допомогою спеціальних приладів – тензометрів (механічних, оптичних, електричних). За отриманими значеннями пружних деформацій у певних точках навантаженого тіла (зразка), використовуючи закон Гука визначають відповідні напруження.

Для тензочутливих матеріалів (провідникових і напівпровідникових) тензоефект характеризується величиною тензочутливості, яка встановлює зв'язок між відносною зміною опору і відносною деформацією [1].

У техніці вимірювання неелектричних величин тензорезистори використовуються за двома напрямками. Перший напрямок – використання тензоефекту провідника, що знаходиться у стані об'ємного стиснення, коли природною входною величиною перетворювача є тиск газу або рідини, що його оточує. На цьому принципі будуються манометри для вимірювання високих і надвисоких тисків, перетворювачі яких представляють собою котушку дроту (зазвичай манганінового) або напівпровідниковий елемент (найчастіше германієвий або кремнієвий), розташовані в області вимірюваного тиску (рідина або газу). Вихідною величиною перетворювача є зміна його активного опору. Другий напрямок – використання тензоефекту розтягнутого або стисненого тензочутливого матеріалу. При цьому тензорезистори застосовуються у вигляді «вільних» перетворювачів та тих, що наклеюють.

### ПОХИБКИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ДАТЧИКІВ ТА ЇХ КОРЕКЦІЯ

При використанні тензорезисторів компонентами похибок є наступні:

- випадкова похибка, викликана технологічним розкидом опорів тензорезисторів;
- систематична похибка, викликана термоелектричним ефектом;
- тепловий і флікер-шум вимірюваного опору;
- температурна похибка, викликана розігрівом датчика струмом;
- похибка, пов'язана з різницею температурних коефіцієнтів розширення тензорезистора і матеріалу об'єкта, на який наклеєний тензорезистор;
- похибка методу (схеми вимірювання) опору, що залежить від довжини проводів і точності вимірювання їх опору;
- зовнішні наведення;
- опір контактів;
- «повзучість» опору тривало навантаженого тензорезистора;

- похибка вимірювального модуля введення;
- зміни характеристики, які викликаються залишковими деформаціями у перетворювачі при тривалій дії значних навантажень, що є близькими до допустимих;
- невідтворення характеристики перетворення при навантаженні і розвантаженні;
- зміни крутизни характеристики перетворення від часу, через старіння матеріалів (зниження чутливості при збільшенні частоти деформацій).

Найістотніший вплив на величину похибки має фактор впливу температури. Зміну опору перетворювача від зміни температури можна порівняти зі зміною опору від дії деформації. Для зниження температурної похибки використовують кілька шляхів:

- вибирають матеріал для тензорезистора з малим температурним коефіцієнтом лінійного розширення, який є близьким до коефіцієнта розширення деталі;
- застосовують компенсаційні перетворювачі, що розташовуються близько до робочого тензорезистора.

Основна похибка дротяних і фольгових тензорезисторів, що випускаються у промисловості, при компенсації температурної похибки не перевищує 1%.

Для корекції похибок тензорезистивних датчиків, функція перетворення яких, як правило, є нелінійною та зазнає впливу різноманітних дестабілізуючих факторів (основним із яких є температура), використовуються на сьогодні методи автоматичної корекції на основі методів допоміжних вимірювань, що регламентуються міжнародним стандартом IEEE 1451.02, який передбачає використання множини функцій перетворень, декількох еталонних значень вхідної величини під впливом різних значень дестабілізуючого фактора [2]. Ці дані використовують для отримання скоригованого результату шляхом вирішення систем нелінійних рівнянь. У [3], наприклад, описано метод цифрової компенсації, що забезпечує більш значне зниження (на порядок) похибок вимірювальних перетворювачів, порівняно з методом аналогової компенсації. Особливості й технічні показники цього методу розглядаються на прикладі вимірювального перетворювача тиску з фольговими тензорезисторами. Даний вимірювальний перетворювач складається із круглої металевої мембрани, на одній із поверхонь якої наносяться чотири однакові фольгові тензорезистори, з'єднані за мостовою схемою. Тензодатчики розміщуються у такий спосіб, щоб за деформації мембрани під дією тиску два тензорезистори працювали на розтяг, а два інших – на стискання. Як матеріал фольгового тензорезистора взято сплав з мінімальним температурним коефіцієнтом опору. На поверхні мембрани також розташовуються додаткові компенсаційні резистори. Із підвищенням температури жорсткість мембрани зменшується внаслідок температурних змін модуля пружності матеріалу мембрани, що призводить до збільшення чутливості вимірювального перетворювача [2].

Такий метод є універсальним, дозволяє скоригувати не лише похибки нелінійності вимірювального каналу та додаткові похибки, але й похибки, зумовлені впливом завад загального виду. До недоліків методу [3] можна віднести значний обсяг обчислень.

## **ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРІВ**

Матеріали для тензогранок повинні відповідати наступним вимогам [1]:

- мати високий питомий опір, що дозволяє виготовляти тензорезистори малої бази із досить великим опором;
- володіти високою і стабільною чутливістю до деформації;
- зміни опору, що викликані деформацією, повинні відповідати лінійним законам у досить широкому діапазоні;
- бути нечутливими до впливу температури, тобто температурний коефіцієнт опору повинен бути близьким до нуля;
- термоЕРС в парі з міддю повинна бути якомога меншою, що важливо при живленні тензорезисторів постійним струмом;
- температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалу дроту та матеріалу досліджуваного зразка, на який наклеюється тензорезистор, повинні бути рівними або незначно відрізнятись, в іншому випадку зміни температури будуть викликати уявну деформацію і створювати похибки при вимірах;
- відсутність гістерезису;
- бути високотехнологічними, що дозволяє забезпечити мікронні розміри;
- сплави, що застосовуються для виготовлення високотемпературних тензорезисторів, повинні добре протистояти окисленню під впливом оточуючого середовища.

У даний час більшість тензорезисторів виготовляється з константанового сплаву через такі його особливості [1]:

- сталість коефіцієнта тензочутливості в широкому діапазоні деформацій;
- у відпаленому стані константан може використовуватися при вимірі деформацій до 20%; проте тоді відбувається зміна початкового опору, що свідчить про систематичну зміну опору при кожному циклі навантаження;
- відсутність істотних змін при переході від пружної деформації до пластичної;
- константан має високі питомий опір та температурну стабільність;

Сплав карма також широко застосовується, причому в порівнянні з константаном, він має наступні переваги [1]:

- може бути температурно компенсований у більш широкому діапазоні температур;
- нікельхромова основа сплаву карма забезпечує вищі характеристики втомлюваності тензодатчиків;

— сплав проявляє високу стабільність у часі, а тому застосовується при вимірюванні статичних деформацій упродовж тривалого часу (від кількох місяців до декількох років).

Сплави ніхром, платино-вольфрам, армюр застосовують у вимірюваннях, пов'язаних із високими температурами, при яких відіграє істотне значення стійкість до окислення.

### **СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ**

Найчастіше вимірювальним ланцюгом є дільник напруги або мостова схема. Дільник напруги із живленням постійним струмом застосовують лише в тому випадку, коли цікавляться тільки змінною складовою вимірюваної величини. При цьому постійна складова падіння напруги на опорі тензопетворювача, що в сотні разів перевищує змінну складову, відфільтровується відповідним розділовим конденсатором.

У всіх інших випадках в якості вимірювального ланцюга використовується міст, що живиться постійним або змінним струмом. Високу точність вимірювання можуть забезпечити методи порівняння: нульовий і диференціальний [4].

Обидва методи реалізуються в мостовій схемі включення. Нульовому методу відповідає рівноважний режим роботи моста, диференціальному – нерівноважний. Тензорезистор, який сприймає деформації, включають в одне з плечей моста. Стан моста характеризує напруга у його вимірювальній діагоналі.

### **ВИСНОВОК**

Для компенсації та зменшення складових похибок застосовують відповідні методики та засоби їх корекції. Наприклад, для виключення похибки, що викликана падінням напруги на проводах, у мостовій схемі, використовують багатопровідні підключення.

Якщо опір дротів неможливо зробити достатньо малих значень, то застосовують його вимірювання, а потім враховують значення в подальших розрахунках, з метою виключення похибки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
- [2] Кузьмич Л.В. Синтез методу вимірювання напружено-деформованого стану складних конструкцій / Л.В. Кузьмич // Метрологія та прилади. – 2019. – Вип. №3(77). – С. 12–18. — Режим доступу: <https://mmi-journal.org/index.php/journal/article/> — 19.11.2019 р.
- [3] Erb. K., Fisher P. (1989). Digital's Kompensation sverfahren zur Verbesserung von Messfuhlern. Bulletin SEV/VSE, 80 (7,8), 365–368.
- [4] Тензорезисторы TML / ООО «Японские измерительные технологии». — Режим доступа: <https://tmljp.ru/upload/iblock/e1e/> — 19.11.2019 г.

*Наук. керівник – к.т.н. Морозова М.М.*



UDC 631.811.98.006.91

*Panasenko M.P. student gr. VM-61, Mokiichuk V. M. Associate professor*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## SENSORS FOR MONITORING WATER QUALITY

**Abstract.** This article gives information about sensors that may be used to monitor specific water quality features in water bodies. And connected together with microcontroller inside the sphere called “beacon”.

**Keywords:** Internet of Things, water quality, monitoring of water, sensors.

### PROBLEM STATEMENT

Nowadays, the issue of water quality is becoming extremely important. Since the survival of fauna in water. Factors such as turbidity of water, its temperature, pH, amount of soluble oxygen, salt concentration, are needed for quality control. Since at high temperatures and low water quality, the reproduction of various algae leads to a decrease in oxygen and the overall quality of the water, which leads to the extinction of the fauna.

This survey study is aimed at modeling portable devices that will contain sensors that make it possible without constant monitoring by the operator to control the water quality of a particular reservoir, data will be transmitted using a drone with a receiving sensor, as well as a certain amount of memory for storage and transmission to a local communication node.

### TURBIDITY OF WATER

This is an indicator characterizing a decrease in water transparency due to the presence of inorganic (e.g. sand, clay) and organic fine particles (aluminum hydroxide, carbonates of various metals), as well as the development of planktonic organisms (phyto- or zooplankton) as well, oxidation of compounds may be the cause iron and manganese with atmospheric oxygen, which leads to the formation of colloids. Turbidity of water in rivers and coastal areas of water bodies increases with rains, floods, melting glaciers. As a rule, in winter, the turbidity level in water bodies is the lowest, highest in spring and during summer rains.

It should be noted that the transparency of water is affected not only by turbidity, but also by its color.

Turbidity is measured in terms of formazine turbidity units (FTU).

This substance (formazine) is produced by the reaction of hydrazine sulfate and hexamethylenetetramine. Turbidity is determined photometrically by comparison with reference suspensions.

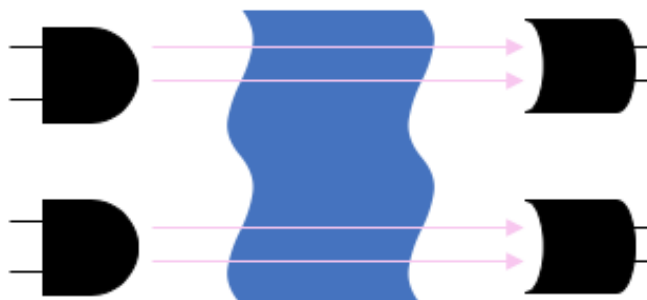


Fig. 1 Principle of operation of the turbidity sensor.

Calibration of the turbidimeter occurs in the laboratory using standard suspensions of formazin, for example, according to GOST 3351-74 clause 5.3.3. The wavelength when passing through the liquid should be 530 nanometers, the color of the spectrum is green. Or, install optical filters in front of photodetectors (should work at a wavelength of 530 nanometers).

### **PH LEVEL**

Hydrogen index, pH is a measure of the activity of hydrogen ions in a solution that quantifies its acidity.[1]

The pH scale is logarithmic and inversely indicates the concentration of hydrogen ions in the solution (a lower pH indicates a higher concentration of hydrogen ions). This is because the formula used to calculate pH approximates the negative of the base 10 logarithm of the molar concentration of hydrogen ions in the solution. More precisely, pH is the negative of the base 10 logarithm of the activity of the hydrogen ion.[2]

For this study, the sensors must be submersible.



Fig. 2. Example of a submersible pH sensor

The indicator should be in the range 5.5 - 7.5 for freshwater bodies, however, depending on the needs, this indicator can be shifted to one side. GOST 25150-82 “Sewerage. Terms and definitions” GOST 2874-82 “Drinking water. Hygiene requirements and quality control”

### **OXIMETERS FOR MEASURING THE AMOUNT OF OXYGEN IN WATER**

For this study, it makes sense to consider optical and chemical oximeters.

Galvanic Dissolved Oxygen sensors consist of two electrodes: an anode and cathode. Both of these electrodes are immersed in electrolytes (inside the sensor body). An oxygen permeable membrane separates the anode and cathode from the measured water.

The permeable membrane allows oxygen from the sample water to diffuse into the sensor, where it is reduced at the cathode. This chemical reaction produces an

electrical signal, which travels from the cathode to the anode and then into the dissolved oxygen measuring instrument. Consumption of oxygen at the cathode creates a pressure difference across the membrane that varies based on the partial pressure of oxygen in the sample. Therefore, as oxygen concentration increases, partial pressure and the rate of diffusion also increase, and the current to the instrument increases proportionally [3].



Fig. 4. An example of a chemical electrode for an oximeter.

Optical dissolved oxygen sensors feature replaceable caps containing the sensing element: a special dye that will luminesce (glow red) when exposed to light of a particular wavelength. The dye is covered by an oxygen permeable paint layer, which allows oxygen molecules to interact with the dye, while protecting it from other sample constituents. Oxygen interferes with the dye's luminescence (intensity and lifetime). The sensor emits light and measures the resultant luminescence with a photodiode. This reading is compared to a reference reading using light of a different wavelength. The measurement and reference values are compared to calculate dissolved oxygen in the sample[3].



Fig. 5. An example of an optical oximeter.

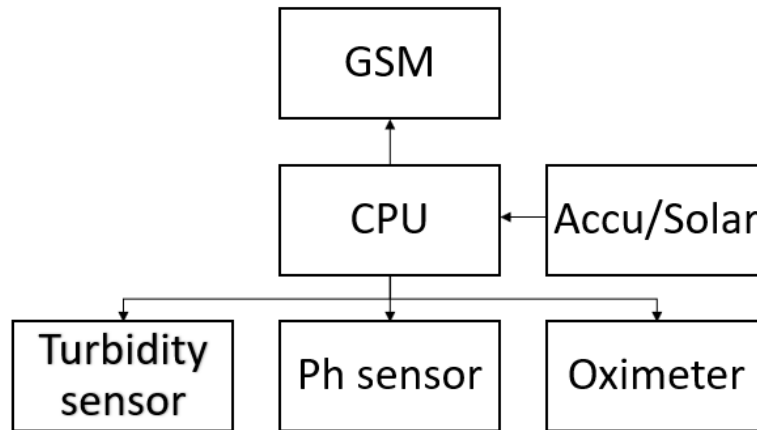


Fig. 6. Scheme of the beacon.

GSM – Global System(or Standart) for Mobile.

CPU – Central process unit

Accu/Solar – Accumulator/Solar battery

## CONCLUSIONS

All sensors will be located in a container (grid of a certain size), which does not allow large elements (algae, fish) to pass through. The microcontroller and sensor connectors will be in a kind of beacon, which will be in the form of a sphere that is completely tight, located on the surface of the water, while the sensors are immersed to a certain depth depending on the required measurement level.

## REFERENCE

- [1] Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика / пер. с англ. под ред. акад. Б. П. Никольского и проф. М. М. Шульца. — 2 изд. — Л.: Химия, 1972.
- [2] Bates, Roger G. Determination of pH: theory and practice. Wiley, 1973.
- [3] What is Dissolved Oxygen (DO)? — <https://sensorex.com/dissolved-oxygen/>

**УДК 621.317**

*О. Є. Сухорукова, студентка гр.ПВ-91мп, д. т. н., проф. Єременко В. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ З ЄМНІСНИМИ СЕНСОРАМИ**

**Анотація.** В роботі проведений аналіз існуючих технічних рішень світової практики в області контролю, моніторингу та діагностики повітряних зазорів гідрогенераторів. На основі проведеного огляду розроблена структурна схема системи діагностування повітряного зазору. В системі для компенсації впливу температури та магнітного поля внутрішнього середовища генератора використовуються дані з додаткових сенсорів.

**Ключові слова:** гідрогенератор, повітряний зазор, ємнісний сенсор, система.

### **ВСТУП**

Одним з постачальників електроенергії країни, що покриває пікові навантаження в добовому графіку енергосистеми, є Київська ГЕС, до складу якої входить близько 20 капсульних гідрогенераторів типу SGK 538/160-70M[1]. При цьому для забезпечення їх безперебійної та надійної роботи є актуальним розробка інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем діагностування повітряного зазору, що можуть бути використані при випробуваннях нових та модернізації існуючих капсульних гідрогенераторів типу SGK538/160–70M Київської ГЕС. Використання систем дозволяє забезпечити визначення параметрів таких дефектів гідрогенератора, як ексцентриситет і перекис ротора, еліпсність розточення осердя, а також забезпечити можливість проведення оцінки технічного стану машини, виявляти дефекти на ранній стадії, спрогнозувати їх подальший розвиток, запобігти виникненню аварійних ситуацій і продовжити ресурс генераторного обладнання.

### **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ**

Для продовження терміну експлуатації обладнання ГЕС в світовій практиці, на сьогоднішній день, впроваджуються програми використання систем технічної діагностики основних вузлів генеруючого обладнання, яке відслужило свій розрахунковий термін експлуатації в 20-30 років. Однією з перших універсальних систем контролю стану гідроагрегату з додатковими сенсорами є система VIMOS (Vibration Monitoring System), що була розроблена в 90-х роках минулого століття компанією ABB (ASEA-Brown Boveri Ltd.) для ГЕС Швеції[2]. Вона містить сенсори вібрації, безконтактні сенсори переміщення напрямних підшипників по осях X і Y, сенсори переміщення під'ятників, а також сенсори контролю повітряного зазору між статором і ротором. Для вирішення комплексного питання з автоматизації процесів керування та діагностики гідрогенераторів з можливістю оперативного захисту, прогнозування та контролю робочих процесів генеруючого обладнання компанія Emerson Electric (США) пропонує Smart систему CSI 6500 Machinery Health™ Monitor. Дана система має можливість налаштування апаратно-програмної частини під конкретний тип гідрогенератора[2].

Система Air gap monitoring system, розроблена компанією MC-monitoring SA (Швейцарія), має модульну архітектуру та призначена для вимірювання

повітряного зазору між ротором та статором гідрогенератора. Принцип роботи системи заснований на використанні ємнісного давача AGS-525, що підключений до модулю обробки та збору даних PMS-100[2,3]. Ця система використовується на ГЕС "Iron Gate" Hydroelectric Power Station, яка знаходиться між Румунією та Сербією.

Компанія Iris Power LP (Канада) розробила систему Iris Power, що включає ємнісні датчики повітряного зазору типу CGP-02, прилад і діагностичне програмне забезпечення AGTracII On-Line Air Gap Monitoring for Hydro Generators[2,4]. Крім того, платформу можна розширити, включивши в неї магнітний потік ротора, а також вібрацію вала і підшипника для більш комплексної системи контролю геометрії і динамічних властивостей гідрогенераторів.

На даний час найбільш універсальним комплексом для безперервного контролю є система моніторингу стану вузлів гідрогенератора ZOOM (Zero Outage On-line Monitor), розроблена компанією VibroSystM Inc. (Канада). Даний комплекс має відкриту архітектуру, яка дозволяє вимірювати не тільки повітряний зазор, а і кілька інших призначених для користувача параметрів одночасно[2,5].

Однак, всі вище зазначені системи були розроблені з врахуванням індивідуальних потреб, що пов'язані з особливістю конструкторсько-технологічними рішеннями тієї чи іншої ГЕС, також вони не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам. Недоліками такого підходу є необхідність значної адаптації, вище приведених систем, до конструктивних особливостей гідрогенератору, технічних стан якого необхідно діагностувати.

Перераховані проблеми в значній мірі визначають необхідність розробки спеціалізованих систем діагностування для гідрогенераторів з урахуванням їх конструктивних та експлуатаційних характеристик.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Одним із основних параметрів гідрогенераторів, є повітряний проміжок між статором та ротором, який головним чином визначає якість електроенергії на виході генератора. Це пов'язано з тим, що повітряний зазор - це номінальна або вимірювана величина між ротором гідрогенератора і статором, або буквально кажучи, це «серце» гідрогенератора, оскільки в повітряному проміжку механічна енергія перетворюється на електричну енергію. Отже, розробка систем діагностування повітряного проміжку гідрогенераторів енергетичного комплексу України, а особливо для їх роботи в динамічних режимах є актуальною задачею.

Вирішення такої задачі можливе за застосування системи діагностування приведеної на рис.1, яка має блочно-модульну архітектуру, що дозволяє забезпечити гнучкість, взаємозамінність та можливість конфігурування під різні умови технологічного процесу.

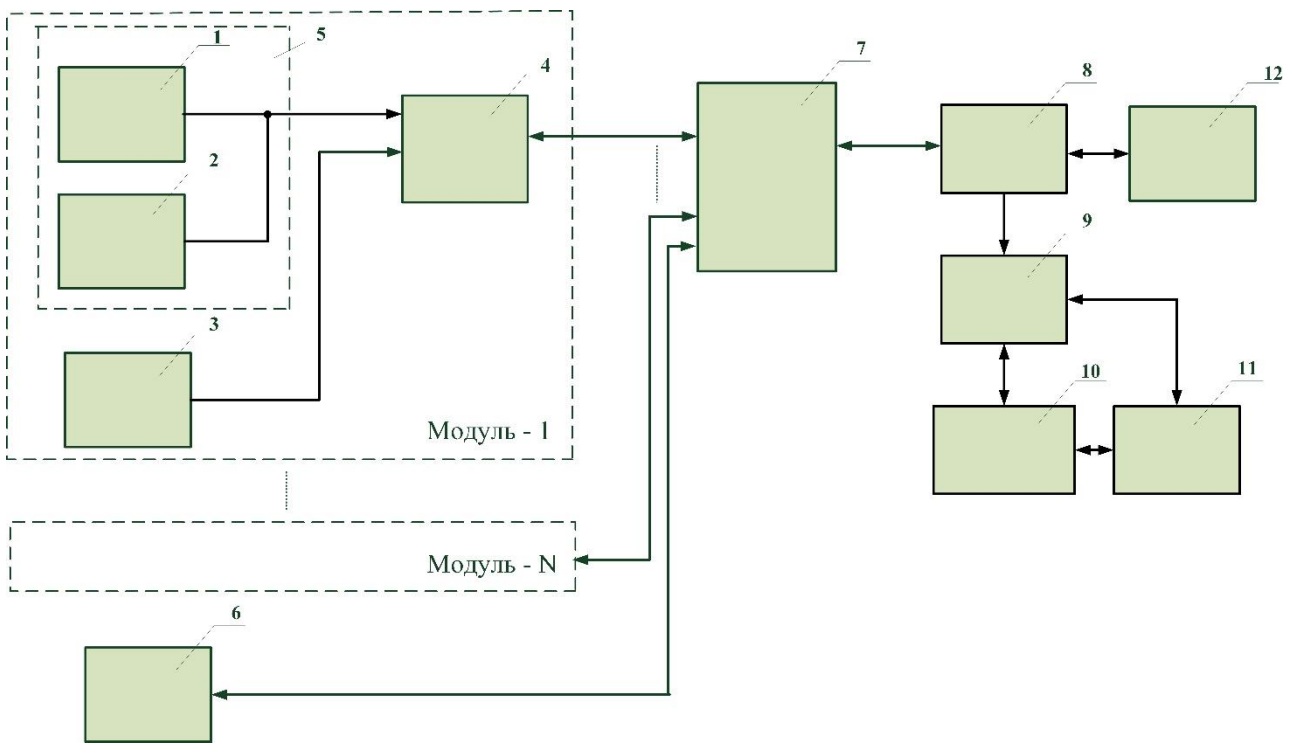


Рисунок 1. Блок-схема системи діагностування

До складу системи входять: вимірювальний модуль (кількість модулів варіює в залежності від потужності генераторів), який в свою чергу складається з датчика повітряного зазору 5, який містить ємнісний сенсор повітряного зазору 1 та сенсор температури 2, для компенсації температурної похибки визначення повітряного зазору, датчика магнітного поля 3, мікроконтролера 4, датчика мітки валу 6, комутатора 7, робочої станції 8, яка в свою чергу містить операційну систему 9, спеціалізоване програмне забезпечення обробки даних 10, базу даних 11. Для зручності роботи оператора 12, робоча станція може бути доповнена програмним забезпеченням для візуалізації даних з будь-яким інтерфейсом типу Human Machine Interface.

Основний принцип роботи системи полягає в вимірюванні відстані  $d_x$  між поверхнею сенсора 1 та полюсом ротора ємнісним методом. У цьому разі зміна відстані  $d_x$  змінює електричну ємність  $C_x$ . Для вимірювання електричної ємності  $C_x$  використовується датчик повітряного зазору 5. Дані з датчика в цифровій формі через комутатор 7 передаються до робочої станції 8. Для компенсації похибки від дії магнітного поля на результат визначення  $C_x$  використовується датчик магнітного поля 3. Данні з сенсора знімаються неперервно, та використовуються в цифровій формі для реалізації алгоритму адаптивної цифрової фільтрації завади промислової частоти, яка діє на ємнісний сенсора повітряного зазору. В якості сенсора мітки валу може бути застосований будь-який сенсор – на основі оптичного, струмовихрового, магнітного, ємнісного і т.д. принципу дії. Даний сенсор використовується головним чином для синхронізації роботи системи контролю та діагностики повітряного зазору з іншими системами технічного діагностування потужних генераторів.

## **ВИСНОВКИ**

Застосування запропонованої системи дозволяє вирішити завдання моніторингу стану електроенергетичного устаткування і створення системи діагностування з підвищеною завадостійкістю, що дозволяє підвищити надійність роботи вітчизняних гідрогенераторів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] ДП ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ». Гідрогенератори. – Режим доступу: URL: [http://spetm.com.ua/images/КАТАЛОГ\\_HYDRO\\_UKR\\_ref.pdf](http://spetm.com.ua/images/КАТАЛОГ_HYDRO_UKR_ref.pdf)
- [2] Розробка апаратно-програмного забезпечення системи контролю повітряного зазору гідрогенераторів / Зайцев Є. О., Левицький А. С., Кромпляс Б. А., Сидорчук В. Є. // Електротехнічні та комп'ютерні системи: наук.-техн. журн. – 2017. – 7(1). – С.13–19.
- [3] Air Gap Monitoring System. – Режим доступу: URL: [https://www.gigatech.it/media/prodPdf/Doc.%20AirGap\\_93\\_AyIM6\\_it.pdf](https://www.gigatech.it/media/prodPdf/Doc.%20AirGap_93_AyIM6_it.pdf)
- [4] Continuous On-Line Air Gap Monitoring for Hydro Generators. – Режим доступу: URL: <https://irispower.com/wp-content/uploads/2016/11/Iris-Power-Air-Gap-Condition-Monitoring-AGTracII-Brochure.pdf>
- [5] ZOOM System for Hydroelectric Generators. – Режим доступу: URL: <https://www.vibrosystem.com/en/documents/pdf?f=en/Datasheets/96VT-HYD1A-101.pdf>

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Єременко В.С.*



УДК 534.6

О. В. Учкін, студент гр. ВВ-81мп, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ

**Анотація.** Метою даної роботи є створення системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони. Під час створення системи були розглянуті допустимі рівні віброакустичних параметрів, таких як віброшвидкість, віброприскорення, а також самої вібрації. Основним завданням системи є моніторинг віброакустичних параметрів для аналізу та зниження впливу вібрації та шуму на здоров'я людини при перебуванні її в робочій зоні. Була розроблена структурна схема системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони.

**Ключові слова:** робоча зона, шум, вібрація, система моніторингу, віброакустичні.

### ВСТУП

Механічна вібрація та акустичний шум є одними з поширених фізичних шкідливих факторів, що впливає на здоров'я людини а також на навколишнє середовище.

Вібрація – це механічні коливання, які виникають в пружних тілах, або тілах, що знаходяться під впливом змінного фізичного поля. Вібрацію, залежно від способу передачі коливань, класифікують як загальну (передається через опорні поверхні на тіло людини) та локальну (передається через руки людини). Вібрацію, за часовою характеристикою розрізняють, як постійну вібрацію (контрольований параметр змінюється не більше ніж в 2 рази), та непостійну вібрацію (контрольований параметр якої змінюється більш ніж в 2 рази). Відповідні реакції вібрації виражаються та обумовлюються головним чином силою енергетичного впливу, а також коливальною системою. Головними параметрами вібрації є потужність коливального процесу в зоні контакту і час цього контакту. Ці параметри визначають розвиток вібраційних патологій. Структура цих патологій залежить від амплітуди, частоти коливань, тривалості впливу, місця докладання і напрямків осей вібраційного впливу, демпфуючих властивостей тканини, а також резонансу і інших умов. [1]

Явищем шуму прийнято називати небажане для сприйняття органами слуху людини безладне поєднання звуків різної частоти і інтенсивності. Всі тіла, що знаходяться в стані коливання (повітря, вода, метал тощо) є джерелами шуму. Вплив факторів шуму на людину недостатньо повно вивчено. В свою чергу це пояснюється складністю виділення впливу фактору шуму з широкого комплексу факторів зовнішнього середовища, які в свою чергу впливають на організм людини, а також відсутністю чітких критеріїв його оцінки. Також від багатьох факторів залежить реакція організму на шум. Кожна людина сприймає шум по різному, деякі люди терпимі до впливу шуму, у інших реакція на шум викликає незадоволення, а у третіх погіршується самопочуття, сон або нормальна трудова діяльність. В залежності від віку, стану здоров'я, характеру діяльності людини або навіть його настрою, сприйняття шуму може бути різне. Вирішальне значення має рівень шуму і фактор часу. В залежності від того на скільки шум перевищує звичний навколишній фон, та яка укладена в ньому інформація, ступінь дратівної дії на людину різниться. Розвиток професійних

захворювань є наслідком впливу виробничого шуму на організм людини. Людина може частково, а іноді і значно втратити слух через тривалий вплив шуму. Не є рідкісним захворюванням у багатьох промислово розвинених країнах часткова або повна втрата слуху.

Технічні, технологічні та організаційні можливості, які відомі сьогодні, для зниження цього фактору організм людини використовують недостатньо, як показує аналіз шумового режиму в усіх промислових індустріях України. Недооцінка впливу на здоров'я людини під час перебування в робочій зоні є причиною цього. [2]

### ОПОРНІ ЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ТА ЇХ ОПОРНІ ЗНАЧЕННЯ

В таблиці 1 можна побачити основні вимірювальні величини, їх позначення. Вони використовуються для характеристики впливу акустичного шуму, а також вібрації на організм людини. Усі приведені величини використовуються в сучасних міжнародних стандартах.

Методики вимірювання віброакустичних параметрів описані більше ніж в 100 міжнародних і національних стандартах. Держані еталони відтворюють і передають значення одиниць вимірювання робочим засобам вимірювання використовуються в акустиці і вібрації. [3]

Таблиця 1. Основні вимірюванні величини, які використовуються для характеристики впливу акустичного шуму та вібрації

№ п/п	Найменування	Позначення	Опорні значення
1	Рівень звукового тиску	$L_p$	$2 \times 10^{-5}$ Па = 20 мкПа
2	Звуковий тиск	$p$	$2 \times 10^{-5}$ Н/м <sup>2</sup>
3	Інтенсивність звуку	$I$	$10^{-12}$ Вт/м <sup>2</sup> = 1 пкВт/м <sup>2</sup>
4	Потужність звуку	$W$	$10^{-12}$ = 1 пкВт
5	Віброшвидкість	$v$	$5 \times 10^{-8}$ м/с
6	Вібропереміщення	$s$	$10^{-12}$ м
7	Віброприскорення	$a$	$10^{-6}$ м/с <sup>2</sup>

Еквівалентні рівні звуку в робочій зоні та граничні допустимі рівні звуку з урахуванням напруженості та тяжкості праці можна побачити в таблиці 2.

Таблиця 2. Гранично допустимі рівні звуку, в дБА

Класи, умови та характер праці	Допустима важкість	Шкідлива та небезпечна важкість праці		
		1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь
Рівень шуму, дБА				
Допустима напруженість	80	До 80	75	До 75
Шкідливість та небезпечність напруженості				
1 ступінь	70	До 70	65	До 65
2 ступінь	60	До 60	–	–
3 ступінь	50	До 50	–	–

Граничні допустимі рівні локальної вібрації представлені в таблиці 3.

Таблиця 3. Гранично допустимі рівні вібрації, в дБА

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях Хл, Ул, Зл			
	віброшвидкість		віброприскорення	
	м/с × 10 <sup>-2</sup>	дБ	м/с <sup>2</sup>	дБ
8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректований еквівалентний рівень	2,0	112	2,0	76

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ЗОНИ

Була розроблена структурна схема системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони, яка представлена на рисунку 1.

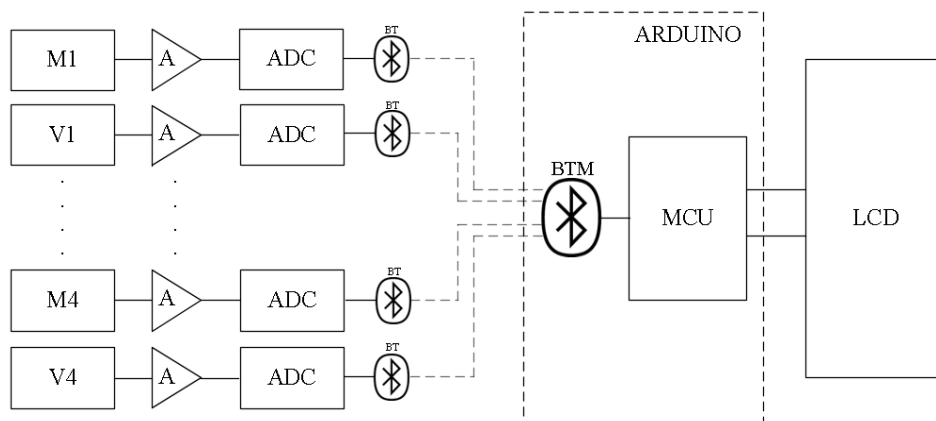


Рисунок 1 – Структурна схема системи

З рисунку 1 можна побачити, що система складається з:

- мікросхеми ARDUINO до якої під'єднаний модуль Bluetooth для отримання даних з датчиків;
- LCD дисплею під'єданого до мікросхеми;
- 8 вимірювальних каналів, які по Bluetooth передають сигнал до мікросхеми.

В свою чергу кожен вимірювальний канал складається з:

- Датчику (М – звуку, V – вібрації);
- Підсилювача;
- АЦП;
- Bluetooth модуля.

Система вимірювання має 8 вимірювальних каналів з яких 4 для вимірювання акустичного шуму, та 4 для вимірювання вібрації.

Вимірний сигнал після підсилення дискретизується і передається по модулю Bluetooth на мікросхему де оброблюється, і потім виводиться на LCD дисплеї.

В якості датчику акустичних параметрів будемо використовувати плату «SparkFun MemS Microphone», яка має мікрофон ADMP401MEMS. Плата представлена на рисунку 2. Підсилювач на цій платі має коефіцієнт підсилення 67. Характеристики мікрофону ADDMP401MEMS представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Характеристики мікрофону ADDMP401MEMS

<i>Характеристика</i>	<i>Значення</i>
Максимальне значення вхідного сигналу	до 120 дБ
Відношення сигнал/шум	62 дБ
Рівень шуму мікрофону	до 5 дБ
Частота сигналу	0,01 – 15кГц
Напруга живлення	від 1,5 до 3,3 В



Рисунок 3 – SparkFun з акселерометром ADXL335

Як датчик вібрації використовується плата SparkFun з 3-осьовим акселерометром ADXL335, зовнішній вигляд якого можна побачити на рисунку 3.

Акселерометр ADXL335 може вимірювати значення частотою від 0,5 Гц до 1600 Гц, що повністю покриває необхідний нам діапазон частот для вимірювання вібрації. Напруга живлення складає від 3,3 до 5 В. Вимірювання віброшвидкості можливе в діапазоні від 0,5 до 3,6 м/с × 10<sup>-2</sup>.

## ВИСНОВКИ

В ході роботи була розроблена структурна схема системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони. Були обрані датчики, які підходять за своїми характеристиками під потрібний вимірювальний діапазон. Під час аналізу інформаційних джерел були знайдені опорні значення віброакустичних параметрів в робочій зоні. Розглянуті основні вимірювальні величини, таблиця 1, та граничні рівні звукових (таблиця 2) та вібраційних (таблиця 3) параметрів в робочій зоні.

## 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. Парацієнко; 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 зданих 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 618.142

А. Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91МП, д.т.н., проф. Яремчук Н. А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТЕНДЕНЦІЇ ВИБІРОК ВЕРБАЛЬНИХ ДАНИХ

**Анотація.** При опрацюванні вербальних даних, отриманих при візуальному контролі якості продукції і при експертному оцінюванні, виникає необхідність в визначенні центральної тенденції вербальних вибірок. В роботі проведено порівняльний аналіз оцінювання центральної тенденції вербальних вибірок за медіаною вибірки і за оператором OWA, і отримано рекомендації щодо вибору об'єму вибірок і кількості вербальних градацій шкали оцінювання.

**Ключові слова:** вербальна вибірка, медіана, оператор OWA

### ВСТУП

При контролі якості продукції, стану об'єктів або характеристик технологічних процесів використовується така процедура експериментальної інформатики як спостереження. За [1] спостереження – це відображення властивості об'єкта або його стану словами або графічним описом. Тобто результатами спостереження є вербальні дані. Крім того, при вирішенні багатьох практичних проблем використовуються лінгвістичні шкали, шкали якості продукції або сервісів. Оскільки градації таких шкал, як правило, впорядковані, використовуються шкали квазіпорядку, за яких встановлено порядок на класах еквівалентності, тобто на терм-множині лінгвістичної змінної. Прикладами впорядкованих назв класів еквівалентності може бути для стану об'єкту: «незадовільний», «задовільний», «добрий». В [2] наведено результати візуального контролю процесу закорковування пляшок з алкогольними напоями за наступними класами еквівалентності: «зовсім відкинуто», «погана якість», «середня якість», «добра якість», «дуже добра якість». В [3] для побудови контрольної карти якості обробки поверхні використовувались 10 вибірок, кожна з яких складалась з чотирьох результатів спостережень, поданими за класами якості: «низька – L», «середня – M», «висока – H». Тобто приклад однієї вибірки мав вигляд: «HML». І тому методи опрацювання вербальних даних відрізняються від методів опрацювання числових даних. Проблема online моніторингу ординальних якісних характеристик потребує розвитку спеціальних методів опрацювання ординальних даних. Одним із важливих параметрів вибірки ординальних даних є центральна тенденція, для визначення якої можуть бути використана медіана вибірки та оператор OWA, що є емулятором середнього арифметичного вербальної вибірки. Дана робота присвячена порівнянню цих операторів з метою надання рекомендацій для їх практичного застосування

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

При опрацюванні вербальних даних використовуються два підходи. Перший заснований на арифметизації вербальної шкали, що є впорядкованою послідовністю класів еквівалентності. Арифметизація шкали заснована на присвоєнні окремим класам еквівалентності числових рангів, значення яких розташовуються згідно з порядком класів еквівалентності. Вербальні вибірки

оцінюють за сумою рангів окремих елементів вибірки. Це дозволяє ранжувати вибірки, наприклад, за якістю технологічного процесу, тому що вищий ранг вибірки свідчить про вищу якість. Але багато вчених, що працюють в галузі опрацювання вербальних даних, вважають, що примусове введення рангів призводить до штучного введення відстані між класами еквівалентності. І паралельно до рангових способів опрацювання вербальних даних вводять процедури і оператори, що дозволяють ранжувати вибірки вербальних даних без арифметизації. Перший спосіб ранжування вербальних даних заснований на критерії домінування, що дозволяє будувати контрольні карти технологічних процесів. Але при використанні тільки критерію домінування частина вербальних вибірок залишається нерозрізною. Тому доводиться використовувати кілька критеріїв одночасно [4]. Класифікувати вербальні вибірки за центральною тенденцією дозволяють такі оператори як емулятор середнього значення вербальної вибірки OWA [5] і медіана вибірки. Оператор OWA визначається як:

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{n}{\text{Max}}}[\text{Min}\{Q(k), b_k\}] , \quad (1)$$

де  $Q(k) = S_{f(k)}$ ,  $K = 1, 2, \dots, n$ ;

$f(k) = \text{Int}\{1 + [k(t-1)/n]\}$ ;

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

$B_k$  – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Медіану ранжованої вибірки доцільно використовувати при непарному значенні n. При парному n результат отримання центральної тенденції може бути неоднозначним.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

В роботі [2] проведено аналіз способів побудови контрольних карт із застосуванням таких критеріїв і операторів опрацювання вербальних даних як критеріїв домінування і оператор OWA. Це дозволило ранжувати вербальні вибірки з метою їх розміщення на контрольній карті. Так як при побудові контрольних карт застосовуються послідовність вибірок малого об'єму, автори [2] вибрали для аналізу вибірки об'ємом 2,3,4 з кількістю рівнів шкали 3,5,7,9. Оскільки варіантів комбінування в такій ситуації було багато, то кількість класів еквівалентності становила, наприклад, (при n=4, t=9) 495.

Зважаючи на обмежену розрізняльну здатність при візуальному контролі або експертному оцінюванні (максимальне значення розрізняваних градацій або рівнів за [6] дорівнює 7) автори даної роботи обмежились кількістю розрізняваних рівнів 3,5,7. Крім того, об'єм вибірки було збільшено для отримання стійкого значення центральної тенденції. Задачею дослідження була класифікація вербальних вибірок за центральною тенденцією. Для визначення центральної тенденції використовувались два способи: за медіаною вибірки і за

оператором OWA. Щоб отримати однозначну оцінку за медіаною вибірки, кількість елементів вибірки була непарною.

Дослідження проводилось за наступними етапами: визначення вхідних даних, а саме об'єму вибірки  $n$ , кількості  $t$  і позначень рівнів шкали або класів еквівалентності; визначення медіани за центральним членом ранжованої вибірки; визначення вагової функції оператора OWA; визначення центральної тенденції вибірки за оператором OWA (формула 1); порівняння отриманих результатів.

Якщо обрати об'єм вибірки  $n=3$ ,  $t=3$  у відповідності з найменуванням класів еквівалентності  $S_1=L$ ;  $S_2=M$ ;  $S_3=H$ ; тоді отримаємо вагову функцію оператора OWA за  $f(k)$ ,  $k=1,2,3$ , тобто  $f(1)=2$ ,  $f(2)=2$ ,  $f(3)=3$ ;  $Q(k=1)=S_2$ ;  $Q(k=2)=S_2$ ;  $Q(k=3)=S_3$ . Для першої і другої вибірки табл. 1 отримуємо:

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{3}{\text{Max}}}[\text{Min}\{S_2, L\}; \text{Min}\{S_2, L\}; \text{Min}\{S_3, L\};] = L \quad (2)$$

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{3}{\text{Max}}}[\text{Min}\{S_2, M\}; \text{Min}\{S_2, L\}; \text{Min}\{S_3, L\};] = M$$

Таблиця 1.

Результати визначення центральної тенденції для вербальних вибірок.

Об'єм вибірки $n$	Кількість класів еквівалентності $t$	Досліджувані вибірки	Центральна тенденція	
			за медіаною вибірки	за оператором OWA
3	3	MLL	L	M
		...	...	...
		HHM	H	M
3	5	HLL	L	LM
		HHM	H	MH
5	3	HLLLL	L	L
		HHHHM	H	M
5	5	HLLLL	L	LM
		...	...	...
		HHHHM	H	MH
7	3	HLLLLLL	L	L
		HHHHHMM	H	M
		HHHHHHM	H	H
7	5	HLLLLLL	L	L
		HHLLLLL	H	MH
		HHHHHHM	H	H

Підвищуємо розрізняльну здатність операторів, збільшуючи кількість класів еквівалентності до  $t=5$  за рахунок двох проміжних класів. Тоді  $S_1=L$ ;  $S_2=LM$ ;  $S_3=M$ ;  $S_4=MH$ ;  $S_5=H$ ; і при  $n=3$  та  $t=5$  збіжність результатів за медіаною і оператором OWA збільшується. Потім збільшуємо об'єми вибірок. Результати обчислень наведено в табл. 1.

## **ВИСНОВКИ.**

На основі отриманих в таблиці 1 результатів дослідження можна зробити наступні висновки:

При об'ємах вибірок  $n=3$  і кількості градацій вербальної шкали оцінювання  $t=3$  на результати визначення центральної тенденції за оператором OWA суттєво впливає ступінчастість вагової функції, і це приводить до розбіжностей між результатами, отриманими за медіаною вибірки і оператором OWA, причому перевагу треба віддати медіані вибірки.

Розрізняльна здатність оператора OWA збільшується при збільшенні об'єму вибірки і кількості вербальних градацій шкали оцінювання, причому більша збіжність результатів, отриманих двома способами, спостерігається при збільшенні вербальних градацій шкали оцінювання при одному і тому об'ємі вибірки.

Найбільший ефект відповідності оцінок центральної тенденції за медіаною і оператора OWA спостерігається при пропорційному збільшенні і об'єму вибірки і кількості градацій вербальної шкали оцінювання, причому перевагу у цьому випадку має оцінювання центральної тенденції за оператором OWA.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. Навчальний посібник. К.:ІСЛО, 1994.-160с.
- [2] Qualitative Ordinal Scales: The concept of Ordinal Range. F.Franceschini, M.Galetto, M.Vazetto // Quality engineering. Vol.16 №4 pp. 515-524, 2004.
- [3] Ordered Samples Control Charts for Ordinal Variables. F.Franceschini, M.Galetto, M.Vazetto // Quality and Reliability Engineering International, 2005, 21:177-195.
- [4] Опрацювання вербальних даних за побудови контрольних карт. Н. Яремчук, Р. Семенюк // Метрологія та прилади №5-1(67), 2017 с.58-61.
- [5] Yager R., Filev DP. Essential of Fuzzy Modeling and Control. Wiley: New York, 1994.
- [6] Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Е. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.ТОВ «Маклаут», - 2008.- 444с.

*Наук. керівник – к.т.н., проф. Яремчук Н. А.*



**Секція 11.**  
**Автоматизація експериментальних**  
**досліджень**

## УДК 681.5

*Т.І. Антіфеев, студент гр. ВА-81мн, Є.Т. Володарський д.т.н, професор  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

**Анотація.** Розглянуто статистичний підхід до оцінювання розладнання технологічного процесу з використанням модифікованого методу карт кумулятивних сум. Описано принцип підбору підходящого методу для використання у алгоритмі. Надано основні теоретичні відомості, визначено основний критерій алгоритму. Зроблені відповідні висновки.

**Ключові слова:** оцінювання, контроль, технологічний процес, розладнання процесу.

#### ВСТУП

Виробництвом займаються у всьому світі. Все, чим користуються люди, було колись виготовлено. На сьогоднішній день, саме виробництво є не досить складним завданням. Основними задачами є мінімальні витрати на виробництво з максимальним результатом. Як же забезпечити високу якість товарів, що випускає виробник?

Існує багато процесів, методик та технік перевірки якості товарів. Проте, чи можливо уберегти виробник від розладнання технологічного процесу?

Розладнання – процес, який за невідомих нам причин відхиляє виробництво у будь-яку сторону, що призводить до зміщення вихідних параметрів продукції. Це поступове відхилення параметрів продукції від допустимих.

#### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Контроль ґрунтується, як правило, на результатах вимірювань властивості, в якій зацікавлений виробник. Продукт відповідає заданим вимогам, якщо значення його параметра знаходиться в межах допустимих границь. Допустимою границею в даному випадку є інтервал в межах якого продукт вважається прийнятним. Через невизначеність вимірювання, яка буде існувати завжди, адже неможливо виготовити такий прилад, можливе прийняття помилкових рішень [1].

Для того, щоб зменшити вплив випадкових величин на прийняття помилкового рішення, одним з найпоширеніших варіантів було обрано усереднення  $m$  результатів спостережень. Проте, цей вибір виявився очевидно невірним адже такий алгоритм викликає суттєве збільшення обсягу вибірки (замість 100 значень, ми отримаємо, наприклад, лише 20) це призводить до збільшення собівартості контролю [2].

Далі було розглянуто не менш широковживаний метод – метод застосування карт Шухарта. Для карти Шухарта потрібні вибіркові дані процесу, одержані через приблизно рівні інтервали. Інтервали можна обирати за часом, наприклад, погодинно, або за кількістю продукції (кожна партія). Як правило, кожна підгрупа складається з однотипних одиниць продукції з тими самими контрольованими показниками і всі підгрупи мають рівний обсяг. Для кожної підгрупи визначають одну чи кілька характеристик, такі як середне

арифметичне підгрупи та розмах підгрупи або вибіркоче стандартне відхилення[3].

Під час використання контрольних карт Шухарта важливо брати до уваги один з важливих параметрів самої карти – так звана чутливість контрольних карт. Чутливість характеризує зміну параметрів розподілу результатів від зміни вхідних даних, що характеризують умови застосування контрольних карт. За чутливістю до розладнання контрольні карти поділяються[4]:

- прості контрольні карти (карти Шухарта)
- контрольні карти з попереджувальними межами
- контрольні карти кумулятивних сум.

Основним недоліком контрольних карт Шухарта є велика часова затримка між моментами, коли виникло розладнання технологічного процесу і це було відображено на карті.

Контрольні карти кумулятивних сум – це контрольні карти, що враховують, поряд з поточним значенням контрольованого параметра, також і результати контролю усіх попередніх вибірок, тобто вони є контрольними картами з пам'яттю. Такі контрольні карти виявляються більш чутливими до розладнання процесу, тобто вже на самому початку зсуву рівня процесу або зміни його розсіювання дозволяють виявити порушення ходу процесу і своєчасно втрутитися в процес. На практиці знаходять застосування карти кумулятивних сум як з межами регулювання, так і з використанням V-маски. Причому карти кумулятивних сум з межами регулювання дозволяють виявляти розладнання процесу[5]. Затримка в них менша, але для деяких виробництв, продукція яких пов'язана з життям та здоров'ям людини, вона все ж таки є суттєвою.

Виходячи з цього, було запропоновано алгоритм, який дозволяє виявляти розладнання технологічного процесу на більш ранніх стадіях.

Як видно з Рис.1, починаючи з 11 кроку починається розладнання технологічного процесу (червона лінія). Основним завданням є виявлення цього розладнання як можна раніше.

Для цього було вирішено брати у якості інформативної величини тангенс кута нахилу прямої, яка з'єднує поточну і попередню контрольні точки на карті кумулятивних сум, і порівнювати його з опорним значенням. Опорне значення, яке є границею можливих змін у процес, обумовлених впливом випадкових величин, знаходиться як:

$$\operatorname{tg}\Theta = \frac{\delta\sigma_0}{2} = \frac{\Delta}{2} \quad (1)$$

Було виведено ряд гіпотез щодо того, які значення приймаються як сигнали до розладнання, а які є лише випадковістю. Необхідно було визначити, починаючи з якого кроку алгоритм прийматиме рішення про те, що наступило розладнання технологічного процесу. Для підтвердження обраної гіпотези було проведено ряд експериментів, під час яких було доказано, що з статистичною достовірністю гіпотеза є вірною.

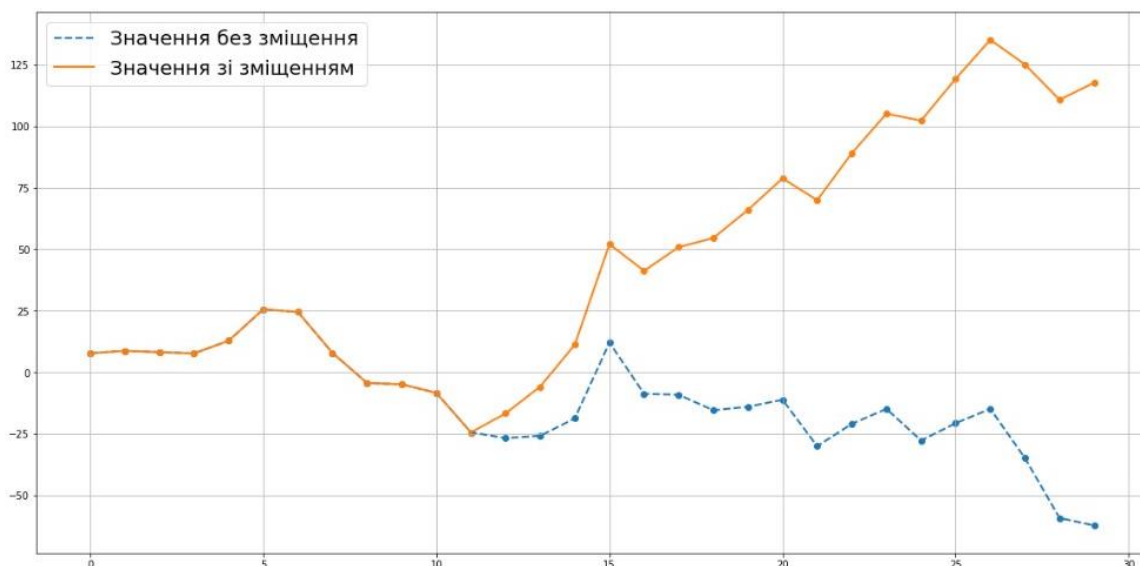


Рисунок 1. Порівняння поведінки карти кумулятивних сум

## ВИСНОВКИ

Запропоновано модифікацію CUSUM-карти, що дозволяє оперативно виявляти розладнання технологічного процесу. Це, крім того, надає можливість для автоматизації оцінювання розладнання, чого практично не можна досягнути, використовуючи графічний метод з застосуванням V-маски. Допускалося, що випадкові відхилення технологічного процесу мають нормальний закон розподілу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ДСТУ 3514-97 Державний стандарт України. Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-3514-97/>
- [2] Клевцова, М.О. : автореферат Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському підприємстві. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27388/1/Klievtsova\\_aref.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27388/1/Klievtsova_aref.pdf)
- [3] Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта: (ISO 8258:1991/Cor.1:1993, IDT): ДСТУ ISO 8258-2001. – [чинний від 2003-07-01].– Держспоживстандарт України, 2003. –57 с
- [4] Контрольні карти Шухарта у випробувальних лабораторіях – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.euroacademia.com.ua/data/site/Контрольні%20карти%20Шухарта.pdf>
- [5] Контрольные карты кумулятивных сумм – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/4520598/page:27/>

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.*

УДК 616-001.17

Войтюк А.К., студент гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІМІТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ

**Анотація.** У даній статті розглядається актуальна проблема сучасної експериментальної комбустіології, а саме імітація опіків для подальших досліджень. Запропонований та описаний спосіб імітації опікових уражень для теплографічних перетворювачів, який заснований на моделюванні опіку за допомогою діодних решіток (матриць) і його доцільність в експериментальній та практичній комбустіології.

**Ключові слова:** Імітація параметрів, опікові ураження, тепловізійна картина.

### ВСТУП

Сьогодні сучасна медицина досягла неймовірних результатів: пересадка органів; сучасні протези, що керуються силою думки; створення огранів на 3d принтерах; нові методи діагностики хвороб та їх лікування. Вчені в галузі медицини використовують передові досягнення людства, застосовують новітні технології та методи досліджень. Не обійшов прогрес і таку галузь медицини як комбустіологія.

Комбустіологія – це розділ хірургії, що вивчає механізми виникнення опіків, їх перебіг, можливі ускладнення та лікування. Для правильного та ефективного лікування термічних пошкоджень, фахівець має передусім класифікувати опік та поставити діагноз. В Україні розроблена і використовується в більшості випадків класифікація опікових ран за глибиною враження, запропонована на II Конгресі хірургів України, затверджена для використання з 2002 року.

Залежно від глибини ураження термічні опіки поділяють на легкі (I ступеня), середньої тяжкості (II ступеня), тяжкі (III ступеня) і вкрай тяжкі (IV ступеня).

Опіки I ступеня характеризуються почервонінням шкіри у місці опіку. При дотику теплого предмета до цього місця відчувається зростаючий біль.

Опіки II ступеня характеризуються не тільки почервонінням шкіри, а й появою пухирців, заповнених прозорою рідиною, тривалим ниючим болем.

Опіки III ступеня характеризуються сильним болем. Поверхня обпеченої шкіри вкривається пухирцями, вона втрачає життєздатність. Окремі місця шкіри обуглені, але глибокі тканини функціонують.

Опіки IV ступеня характеризуються обугленням глибоких тканин, повною втратою ними життєздатності [1].

Своєчасне визначення глибини опіку визначає стратегію лікування хворих і значно прискорює одужання. Тому задача створення засобів, що сприяють забезпеченню оперативної оцінки глибини опіків є дуже актуальною.

### СТАН ПРОБЛЕМИ

Глибину опіку зазвичай встановлюють під час огляду, однак для цього також може використовуватися біопсія. Сьогодні вчені працюють над розробкою нових методів діагностики термічних пошкоджень тіла, постійно проводять експерименти та випробовують нові пристрої. Найчастіше при таких експериментах для моделювання опіків використовують лабораторних пацюків,

яких під внутрішньом'язевим наркозом піддають термічним ураженням в певних ділянка тіла (зазвичай в області міжлопаткового простору спини). Цей спосіб моделювання не є цілком гуманним та економічно доцільним і гарною альтернативою йому буде запропонований спосіб моделювання термічних опіків, який використовується в описаній нижче інформаційно-вимірювальній системі [2].

При термічних опіках відмічають порушення та руйнування білкових структур. В місці опіку порушується або припиняється кровообіг і кількість тепла що виділяється з пошкодженої поверхні менша ніж та що виділяється зі здорової ділянки. Цей факт і використовується в запропонованому методі моделювання опіків.

### **ОГЛЯД МОДЕЛІ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ**

В запропонованому способі імітації опікових уражень для моделювання опіку замість лабораторних пацюків використовують теплову модель ділянки людського тіла, що представляє собою 4 діодні решітки розміром 5×7 діодів розміщені одна над одною і розділені між собою шарами колагену для імітування біологічних тканин людського тіла. У просторі між решітками розміщені термопарні сенсори для точного вимірювання і подальшого контролю температури всередині моделі.

Схема управління, показана на рисунку 1, має багато спільного зі схемою управління матричним індикатором. Управління схемою здійснюється в динамічному режимі: вибирається один з рядків шляхом подачі живлення, при цьому сигнал (код) подається на ті діоди в рядку, які повинні бути включені, потім вибирається наступний рядок і процес повторюється з певною частотою вибраною таким чином щоб виділення температури увімкненими діодами було рівномірним[3]. Драйвер у свою чергу керується через I2C-інтерфейс (SDA і SCL) від контролера Arduino, це дозволяє мінімізувати використання виводів. Завдяки вибраному інтерфейсу також є можливість підключення більшого числа решіток, при цьому збільшиться лише число мікросхем драйверів управління.

Якщо на кожен діод надходить живлення від контролера, всі діодні шари моделі рівномірно нагріваються до температури 36,6 °С. В такому режимі модель імітує здорову ділянку тіла, та має рівномірний розподіл тепла на поверхні. Для імітації опіку оператор, що проводить експеримент має програмно вимкнути певну кількість діодів в декількох шарах моделі, площа яку займають вимкнуті діоди відповідає площі опіку, а кількість шарів у яких були відключені певні діоди відповідає глибині опіку. Після охолодження вимкнутих діодів теплова картина моделі змінюється.

Таким чином оператор створює модель опіку певного степеню. Далі теплова картина моделі реєструється за допомогою тепловізора та разом з відомими параметрами глибини та площі опіку передається на комп'ютер. В подальшому ці данні використовуються для навчання нейромережі.

Після проходження навчання нейромережа має аналізувати тепловізійні знімки опіків реальних пацієнтів та проаналізувавши робити їх точну

класифікацію. Це дозволить хірургам-комбустіологам швидко ставити діагноз пацієнтам та приймати правильні рішення щодо лікування хворого.

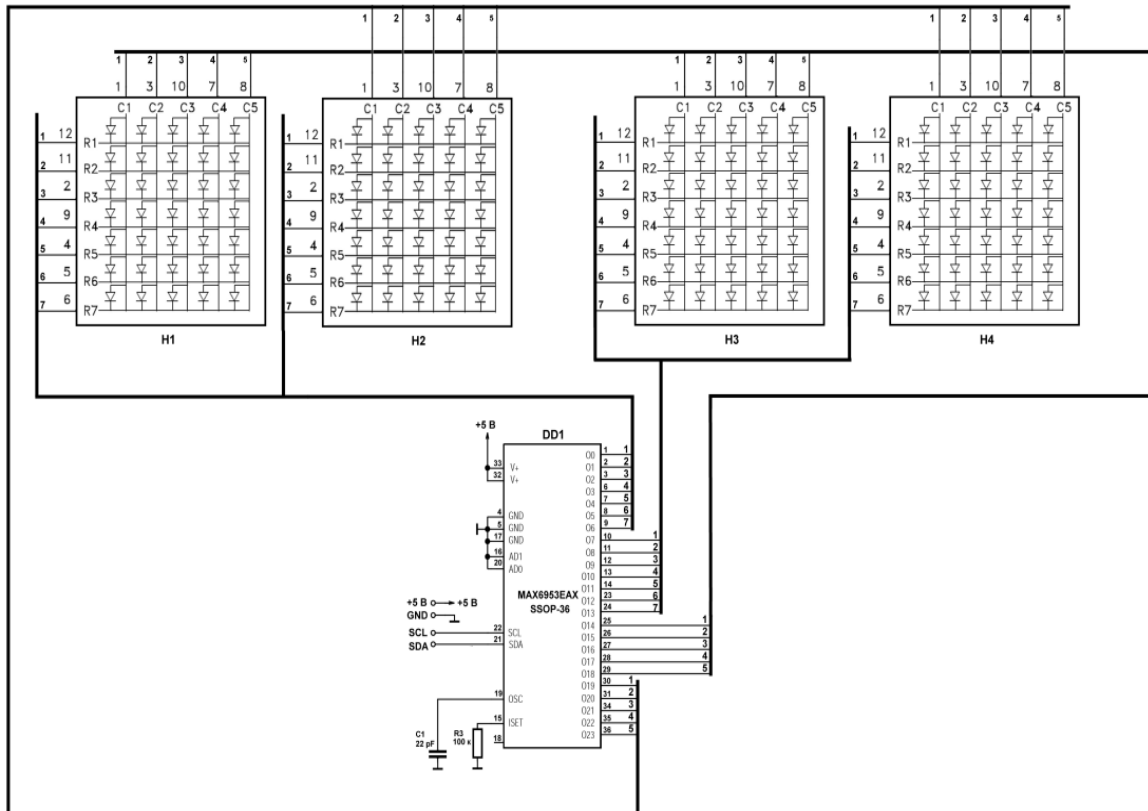


Рисунок 1. Схема управління діодними решітками.

## ВИСНОВОК

Представлений спосіб імітації опікових уражень є простим у реалізації та ефективним у використанні, дозволяє значно спростити та здешевити експериментальні дослідження в області комбустіології. При проведенні досліджень у яких задіяні теплографічні перетворювачі, запропонований спосіб імітації опікових уражень є ефективним для відтворення теплової картини імітованого опікового ураження з точно відтвореними параметрами і характеристиками.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Вишне夫斯基 А. А., Вилявин Г. Д., Шрайбер М. И., Термические ожоги. - Труды XXVII Всесоюзного съезда хирургов. М. 1962, с.13-19
- [2] Лазерные технологии при моделировании инфицированной ожоговой раны кожи / Всероссийская научно-практическая интернет-конференция студентов и молодых учёных с международным участием «YSRP-2013» — Режим доступа: <https://medconfer.com/node/3878> — 24.02.2014 г.
- [3] П. Хоровиц, У. Хилл "Искусство схемотехники" – Изд. 6-е, М.: Мир, 2003.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Шевченко К.Л.*

## УДК 534.612

*Ю.В. Іванченко, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШУМУ В ПРИМІЩЕНІ**

**Анотація.** Дана стаття присвячена розробці пристрою для вимірювання рівня та спектрального складу шуму в приміщенні. В статті проаналізовані існуючі підходи до визначення рівня шуму та прилади, які для цього застосовуються. В статті запропонована структура пристрою, яка передбачає використання Інтернет-технологій, та визначений принцип його роботи.

**Ключові слова:** шум, вимірювання, спектральний аналіз.

### **ВСТУП**

Шумом називають таку сукупність звуків, що мають різну частоту, інтенсивність та тривалість [1]. Шум може сприйматися як подразнюючий фактор, або може здійснювати безпосередньо шкідливий вплив на органи слуху та здоров'я людини. Так шум з рівнем вище 40 дБА може здійснювати підвищене навантаження на нервову систему, шум з рівнем 60-80 дБА здійснює психологічний вплив, що призводить до зниження працездатності та якості роботи, шум з рівнем 80-110 дБА здійснює фізіологічний вплив на людину, що може призвести до погіршення здоров'я та розвитку різних хвороб, а шум з рівнем вищим за 110 дБА здійснює травматичний вплив на органи слуху.

Для забезпечення безпечних умов життєдіяльності людини в Україні наказом МОЗ від 22.02.2019 № 463 затверджені санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. В Європі рівень шуму регулюється Директивою 2006/42 / ЕС, в США діє стандарт OSHA 1910.95 Occupational Noise Exposure (Вплив виробничого шуму). У деяких країнах діють більш суворі національні стандарти, ніж вимоги директив ЄС або OSHA. Дотримання цих норм є обов'язковим, а контроль за їх дотриманням мають здійснювати посадові особи органів виконавчої влади та місцевого самоврядування.

Для забезпечення контролю за дотриманням санітарних норм визначальною є процедура вимірювання рівня шуму в тому чи іншому приміщенні або об'єкті, яка регламентується відповідною методикою, наприклад в ДСТУ ISO 11204:2008 викладено метод вимірювання рівнів звукового тиску, який створюється машинами або устаткуванням.

Для вимірювання рівня шуму використовують прилади, що мають назву шумоміри [2,3]. Метою даної статті є розробка підходів до побудови пристроїв для визначення рівнів шуму та його частотного складу.

### **ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ШУМОМІРІВ**

Державними санітарними нормами встановлені допустимі рівні звуку в приміщеннях різного призначення, а також допустимі рівні звуку у відповідних частотних діапазонах. Для вимірювання не лише загального рівня шуму, а і його частотного складу використовують два підходи: використання універсальних шумомірів з наборами смугових фільтрів, або спеціалізованих шумомірів з вбудованими аналізаторами спектру.



В якості прикладів шумомірів, що відносяться до першої групи можна віднести:

1. Цифровий шумомір TROTEC BS06 має наступні основні технічні характеристики:
  - a. Діапазон вимірювань: 40-130dB
  - b. Похибка:  $\pm 3.5\text{dB}$
  - c. Дискретність: 0.1dB
  - d. Діапазон частот: 31.5HZ - 8.5KHz
  - e. Частота вимірювання: 2 рази на секунду
  - f. Ціна: 1887.91 грн
2. Професійний цифровий шумомір VOLTCRAFT SL-451, в свою чергу має такі основні характеристики:
  - a. Діапазон вимірювань: 30-130dB
  - b. Похибка:  $\pm 1.4\text{dB}$
  - c. Дискретність: 0,1dB
  - d. Рівні (вибираються в ручну або автоматично): 30 ~ 80dB, 40 ~ 90dB, 50 ~ 100dB, 60 ~ 110dB, 70 ~ 120dB, 80 ~ 130dB
  - e. Діапазон частот: 31.5Hz - 8000Hz
  - f. Ціна: 16810.30 грн

Професійний шумомір має більший діапазон вимірювань та меншу похибку, але майже в вісім разів дорожче та не задовольняє вимогу щодо вимірювання частоти звукових коливань.

Прикладом шумоміру, що відноситься до другої групи можна є шумомір, аналізатор спектру АССИСТЕНТ S Light:

- a. Частотні корекції, діапазон: 20 - 150dBA, 22 - 150dBC, 30 - 150dBZ, 10-150dB спектри
- b. Спектри: октавний спектр – 31,5Hz - 16KHz, трьохоктавний спектр – 25Hz - 20KHz
- c. Інше: MAX, MIN всіх параметрів, статистичний розподіл, моніторинг
- d. Діапазон частот: 10Hz - 20KHz
- e. Ціна: 57333 грн

Такий шумомір дозволяє здійснювати всі необхідні вимірювання, але вартість його є надзвичайно високою.

## **СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ШУМОМІРУ**

Для зменшення вартості шумоміру доцільно розробити пристрій з наступною структурою (рис.1):

- вимірювальний модуль, що складається з:
  - мікрофону, який перетворює акустичні коливання в електричний сигнал;
  - фільтр низької частоти, для виокремлення коливань лише звукового діапазону;

- мікроконтролера з вбудованим АЦП, який із заданим часовим інтервалом здійснює перетворення аналогового сигналу у цифровий, зберігає виміряні значення і передає до wi-fi модулю;
- wi-fi модуль, який здійснює передачу виміряних даних на сервер;
- сервер, який здійснює зберігання та обробку даних;
- web додаток, який виконується на персональному комп'ютері, отримує дані з бази даних та відображатиме результати вимірювання.

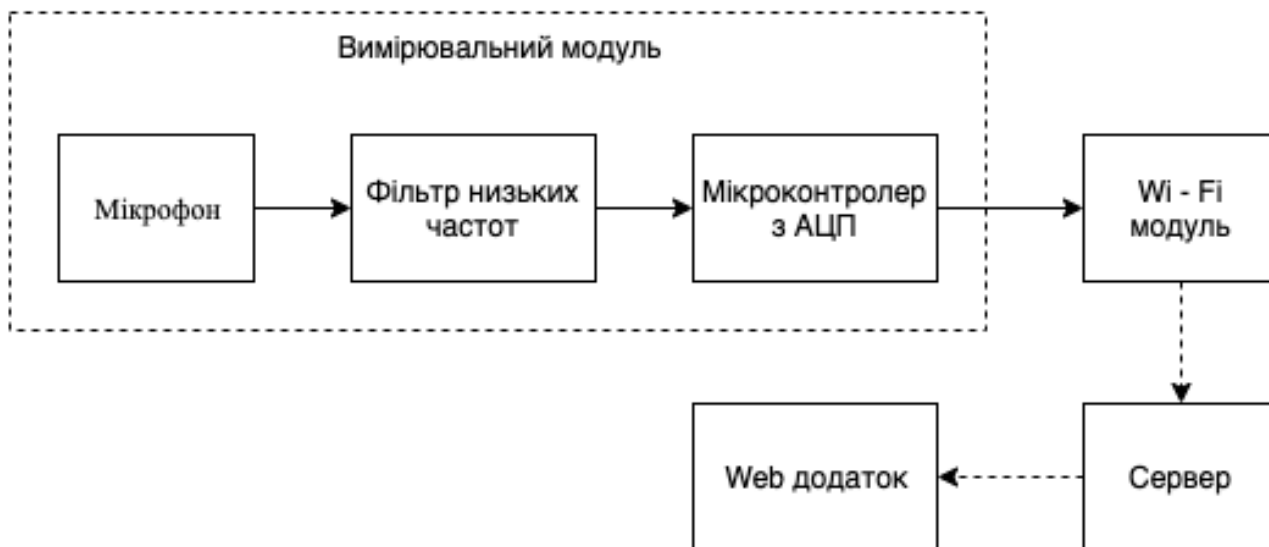


Рисунок 1. Структура аналізатора спектральних складових рівня шуму в приміщені

Визначення спектрального складу шуму передбачається здійснювати шляхом виконання швидкого перетворення Фур'є, оскільки при цьому немає потреби у використанні смугових фільтрів. Загалом в цьому випадку існує дві можливості організації процесу визначення спектрального складу.

Перша передбачає виконання алгоритмів швидкого перетворення Фур'є безпосередньо в мікроконтролері над виміряними даними з подальшою передачею на сервер розрахованих гармонічних складових. Такий підхід формує додаткові вимоги до мікроконтролера, що здорожує систему.

Другий підхід передбачає передачу до сервера виміряних даних, а виконання швидкого перетворення Фур'є має здійснюватись вже на сервері. Оскільки кількість розрахованих спектральних складових сигналу дорівнює кількості вимірів, такий підхід не потребуватиме використання дорогих мікроконтролерів.

Також досить важливою перевагою використання для виконання обчислень сервера є можливість побудови мікросервісної архітектури, яка збільшує надійність всієї системи, та надає системі властивості універсальності – при заміні або поліпшенні апаратної частини шумоміру або вдосконаленні web додатку внесення змін до серверної частини не є необхідним.

## **ВИСНОВКИ**

Запропонована система може бути використана для організації вимірювання рівнів та спектральних складових шуму в приміщенні. При цьому така система буде дешевшою та надійнішою за існуючі на ринку аналогічні прилади.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов.- М.: изд. Логос. Университетская книга, 2008. - 424 с.
- [2] Якунина, И.В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учебное пособие / И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
- [3] Рачков, М. Ю. Технические измерения и приборы : учебник и практикум для вузов / М. Ю. Рачков. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 151 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Стаценко О.В.*

## УДК 614.715

*Є.О. Кириленко, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К. Л.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИЧНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПИЛУ У ПОВІТРІ**

**Анотація.** Розглянуто проблему вимірювання запиленості повітря. Наведено варіант вдосконалення існуючої системи аналізу запиленості повітря за допомогою RGB-світлодіодів для підвищення точності вимірювання.

**Ключові слова:** запиленість повітря, фотометричний метод, RGB-світлодіоди, підвищення точності.

#### **ВСТУП**

На сьогоднішній день, запиленість атмосферного повітря є дуже гострою екологічною проблемою, яка негативно впливає на якість та тривалість життя людини [1].

Ця тема актуальна, бо повітря невід’ємно зв’язане з нашим життям, а його якість впливає на якість життя кожного з нас. В зв’язку з цим необхідними етапами розробки цього диплому є вибір, аналіз та розробка системи вимірювання для оцінки якості повітря, яким ми дихаємо.

Існуючі прилади для вимірювання цього забруднювача повітря недосконалі, так як мають дуже вузький діапазон вимірювання концентрації пилу за діаметром пилинок.

#### **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ**

До найпоширеніших методів вимірювання пилу в атмосферному повітрі відносять електродинамічний, трибоелектричний, гравіметричний та фотометричний.

Електродинамічний метод полягає у вимірюванні на вимірювальному електроді індукції (загального заряду частинок), що проходять неподалік від зонда. Метод недосконалий, бо не підходить для вимірювання низьких концентрацій пилу в діапазоні 0-15 мг/м<sup>3</sup>.

Трибоелектричний метод застосовують для вимірювання якісних характеристик повітря. Найбільший вплив на вихідний сигнал має швидкість потоку. В результаті, ми можемо зробити висновок, що трибоелектричний заряд прямо пропорційний вмісту пилу в газовому потоці, тобто запиленості.

Гравіметричний метод полягає у зважуванні пилових частинок, які до цього виділяються із відомої кількості запиленого повітря. Пилові частинки відділяються за допомогою протягування досліджуваного об’єму повітря крізь фільтр, що затримує частинки пилу (пилінки). Збільшення маси фільтру після експерименту і є тією кількістю пилу, що містяться в досліджуваному об’ємі повітря. Вагомою умовою для прикладання до дослідження вмісту пилу в повітрі гравіметричного методу є незмінна та стабільна концентрація пилу в повітрі протягом часу вимірювання, адже вагомий недоліком є низка швидкодія приладів, що працюють застосовуючи гравіметричний метод.

Фотометричний метод полягає у вимірюванні маси осадженого пилу на фільтр і подальшого визначення оптичної щільності цього осаду. Головною особливістю цього методу є фотометрування досліджуваного осадженого пилу.

Показником оптичної щільності є результат вимірювання розсіювання або поглинання світла при проходженні його крізь цей пиловий осад.

Основним недоліком фотометричного методу є те, що прозорість пилового осаду значно залежить від кольору частинок, їх розміру і їх оптичної щільності. Цю похибку можна значно зменшити, змінюючи довжину хвиль.

Розглянемо структурну схему приладу для вимірювання запиленості повітря, яка зображена на рис.1.

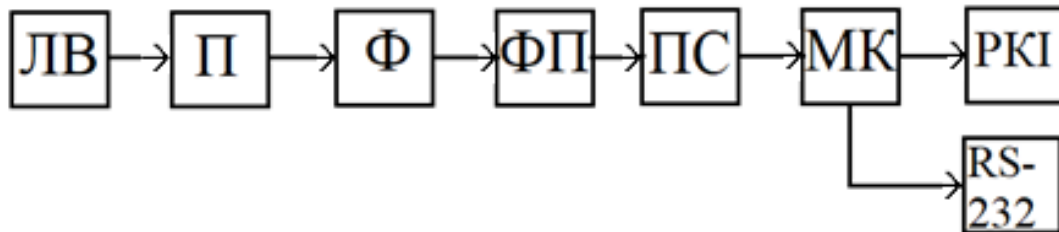


Рисунок 1. Структурна схема приладу для вимірювання запиленості

Він складається з таких блоків: ЛВ –лазерний випромінювач, П – повітря, Ф – фільтр, ФП – фотоприймач, ПС – підсилювач, МК – мікроконтролер, РКІ – рідкокристалічний індикатор, RS-232 – роз’єм RS-232.

Цей прилад працює за принципом розсіювання світла, тобто є приладом – фотометром. Задля вимірювання концентрації пилу лазерний промінь просвічує вимірювальну камеру. Частинки аерозолію, що знаходяться на шляху лазера, розсіюють світло. Прилад вимірює вихідне світло, що відбивається від всіх частинок та падає на світлоприймач.

Використовуючи кут розсіювання в комбінації з довжиною хвилі лазерного променя 630-680 нм, при вимірюванні інтегрально захоплюються лише частинки, що відповідають розміру пилинок, що проходять в трахеї, бронхи та легені людини. Таким чином завдяки цьому принципу вимірювання контролюється концентрація речовин респірабельних та трахеобронхіальних фракцій розміром від 0,2 до 10 мкм.

Внаслідок вимірювання отримують середньо інтегральні значення інтенсивності розсіюваного світла, значення якої прямо пропорційне концентрації аерозольних частинок.

Інформація про концентрацію аерозолів відображується на цифровому індикаторі. Якщо концентрація перевищує встановлений рівень, то спрацьовує звукова сигналізація. Роботою приладу керує мікропроцесорний контролер.

Прилад живиться від іонного акумулятора. В лабораторних умовах живлення приладу може здійснюватися від зарядного приладу або напряму від джерела струму.

Недоліком роботи схеми, зображеної на рис.1 є те, що прозорість пилового осаду значно залежить від кольору частинок, їх розміру і їх оптичної щільності. Цю похибку можна значно зменшити, змінюючи довжину хвиль. Отож, виникає необхідність розширити діапазон вимірювань цих значення.

Розглянувши вже існуючу схему приладу для вимірювання запиленості повітря та проаналізувавши її недоліки, удосконалимо її.

## РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ СХЕМИ

Аналіз, наведений в попередньому розділі показав необхідність удосконалення вже існуючої схеми для вимірювання запиленості повітря та розробки нової системи для вимірювання цього параметрів.

Удосконалена структурна схема інформаційно-виміральної системи (ІВС) для вимірювання запиленості повітря зображена на рисунку 2 [6].

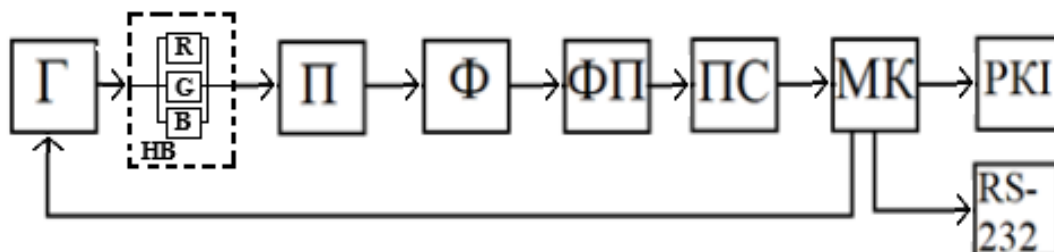


Рисунок 2. Структурна схема системи вимірювання запиленості повітря

Вона складається з таких блоків: Г – генератор напруги, НВ – напівпровідниковий випромінювач, П – повітря, Ф – фільтр, ФП – фотоприймач, ПС – підсилювач, МК – мікроконтролер, РКІ – рідкокристалічний індикатор, RS-232 – роз’єм RS-232.

Задля вимірювання концентрації пилу на напівпровідниковий випромінювач подається значення напруги для зміни спектру кольору, який просвічує вимірвальну камеру. Частинки пилу, що знаходяться на шляху випромінювача, розсіюють світло. Прилад вимірює вихідний світловий потік, що відбивається від всіх частинок на світлоприймачеві.

За допомогою регулювання вхідних значень напруги, ми вирішуємо проблему просвічування пилинок різними довжинами хвилі променю. Це дає більш точніші значення вимірювання концентрації пилинок різних розмірів, тобто в розрахунки запиленості вже будуть прийматися будь-які розміри та кольори пилинок, а кінцевий результат, відповідно, буде точніше. Таким чином завдяки цьому принципу вимірювання контролюється концентрація пилу не тільки респірабельних та трахеоброніальних фракцій, а й більшого та меншого розміру.

Внаслідок вимірювання отримуємо значення інтенсивності розсіюваного світла при попусканні кожного із кольорів спектра крізь фільтр, значення якої прямо пропорційне концентрації аерозольних частинок. Перерахунок відносних значень аерозолю в масових значеннях концентрації, що відображаються на рідкокристалічному індикаторі приладу, відбувається автоматично. Якщо концентрація перевищує встановлений рівень, то спрацьовує звукова сигналізація. Роботою приладу керує мікропроцесорний контролер, в особливості роботою генератора напруг, що подаються на RGB-світлодіод.

## ВПЛИВ ЗМІНИ ДОВЖИНИ ХВИЛЬ НА ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ

На рисунку 3 зображено спектр світла – частину спектра електромагнітного випромінювання.

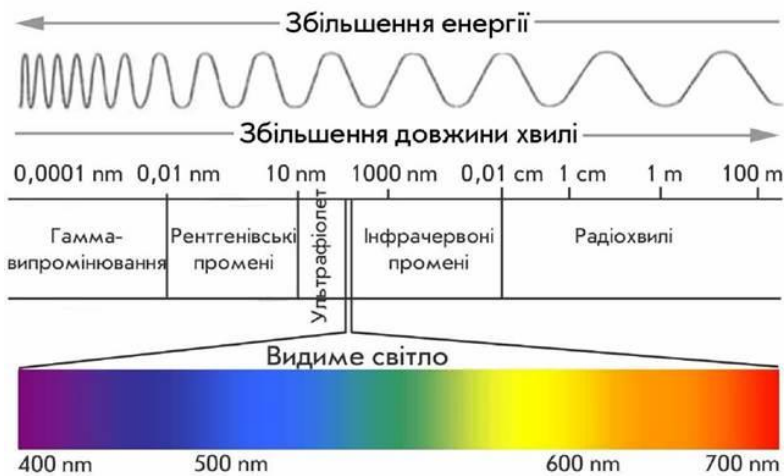


Рисунок 3. Спектр випромінювання

Розсіяне світло залежить від довжини хвилі. Так у розсіяному потоці відносний вміст короткохвильового випромінювання буде значно більше ніж у вихідному.

Найчастіше похибка приладів, що застосовують фотометричний метод обумовлена неоднорідною оптичною щільністю та

змінюючим кольором та розміром пилинок. Цю похибку можна мінімізувати, змінюючи довжину хвиль випромінюваного світла, що проходить крізь пиловий потік та фільтр.

Таблиця 1. Відповідність частот випромінювання та кольорів

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм
Фіолетовий	380-440
Синій	440-485
Блакитний	485-500
Зелений	500-565
Жовтий	565-590
Помаранчевий	590-625

## ВИСНОВОК

Використання RGB-світлодіодів у вимірюваннях запиленості повітря дозволить не лише більш точно оцінювати концентрацію пилу у повітрі, але й отримати статистику запиленості повітря пилинками різного діаметру та кольору. Ця статистика допоможе в подальшому розвитку боротьби з екологічною проблемою запилення повітря.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Степановских А.С. // Екологія. Підручник для вузів, М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 703 с.
- [2] Олійник Я.Б., Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. // Основи екології. – К., 2012. – 288-289.
- [3] Агаджанян Н.А. // Ритмы жизни и здоровье. – Москва 1975. – 20-30.
- [4] Бекетов В.Е., Свтухова Г.П., Коваленко Ю.Л. // Методи і прилади контролю стану атмосферного повітря. – Харків 2011.
- [5] Шкуратник В., Рубан А., Вартаков А. // Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. – Москва 2009.
- [6] Д.Г. Корнієнко // Автоматична система очистки пробопідготовки газоаналізаторів димових газів. – Харків 2015. – 29-32.

Наук. керівник – д.т.н., доц. Шевченко К.Л.

**УДК 621.317**

*В.В Куліченко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИМИ СПЛАЙНАМИ**

**Анотація.** Проблема забезпечення одночасно можливості генерації, заданої точності і вимог якісного характеру – отримання гладких функцій, що "вписуються" на локальних ділянках в залежності, які відтворюються, може бути вирішена шляхом побудови сплайнів на основі моделей, адекватних реальним сигналам, що генеруються або досліджуються. Наведено аналіз математичної моделі формування електричних сигналів на прикладі експоненціальних сплайнів третього порядку, що може бути використано під час дискретного синтезу випробувальних сигналів спеціальної форми.

**Ключові слова:** випробувальний сигнал, експоненціальний сплайн, дискретний синтез.

### **ВСТУП**

Сплайни – гладкі кускові багаточленні функції, включаючи узагальнені поліноми, однорідної структури, але різні за параметрами. Широко відомі кубічні степеневі сплайни – гладкі включно до другої похідної, на кожній ділянці мають відносно прості аналітичні вирази та зручні для обчислень - розв'язок задачі апроксимації передбачає розв'язання систем лінійних рівнянь з стрічковими матрицями. Тобто перевагою є зручний математичний апарат [1].

Однак степеневі поліноміальні сплайни не придатні для опису імпульсних випробувальних сигналів спеціальної форми, що є широкосмуговими. У часовій області таким сигналам відповідають функції з великими градієнтами або з точками зламу. На локальних ділянках степеневі сплайни дають небажані осциляції інтерполюючої кривій. Другим недоліком є те, що зазначені сплайни зовсім не орієнтовані на можливість їх безпосередньої генерації у вигляді електричного сигналу.

Проблема забезпечення одночасно можливості генерації, заданої точності і вимог якісного характеру – отримання гладких функцій, що "вписуються" на локальних ділянках в залежності, які відтворюються, тобто відсутність осциляцій, може бути вирішена шляхом побудови сплайнів на основі моделей, адекватних реальним сигналам, що генеруються або досліджуються [2].

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою статті є аналіз математичної моделі формування електричних сигналів на прикладі експоненціальних сплайнів третього порядку, що може бути використано під час дискретного синтезу випробувальних сигналів спеціальної форми.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для одержання згладжених залежностей з кусково-ступінчастого сигналу, що формується ЦАП, застосовується фільтрація. Якщо обмежена кількість ділянок апроксимації, тобто умови теореми Котельникова не виконуються, то відбувається накладання зсунутих спектрів неперервного сигналу із-за дискретизації. Задача синтезу стає апроксимаційною, яка розв'язується в класі кускових експоненціальних сплайнових моделей [3].



Розглянемо модель формуючого кола у вигляді розімкнутої структури (рис. 1), що включає зведену неперервну частину (НЧ) з передатною функцією (ПФ)  $W_G(q) = A(\alpha_T, h) \cdot W_{np}(q)$  і зведену дискретну частину (ДЧ) з ПФ  $H(e^{-q})$ , де  $q = ph$ ,  $q = \bar{\omega} + j\bar{\omega}$ ,  $\bar{\omega} = \omega h$  – відносна частота,  $h$  – рівномірний інтервал дискретизації,  $A(\alpha_T, h)$  – нормуючий множник. Вид ПФ НЧ визначає вид апроксимуючих функцій (сплайнів) та забезпечує неперервність сплайнів та їх похідних у вузлах. Так для виключення розривів неперервності першого роду у вузлах потрібно, щоб степінь полінома в знаменнику ПФ НЧ була  $m \geq 2 + n$ , де  $n$  – степінь полінома в чисельнику. Для забезпечення неперервності першої похідної –  $m \geq 3 + n$  для поліномів і так далі. Вибір виду ПФ  $H(e^{-q})$  дискретної частини (цифровий фільтр) забезпечує кінцеву тривалість базисних функцій  $G_m(\bar{t})$  (фінітний експоненціальний B-сплайн).

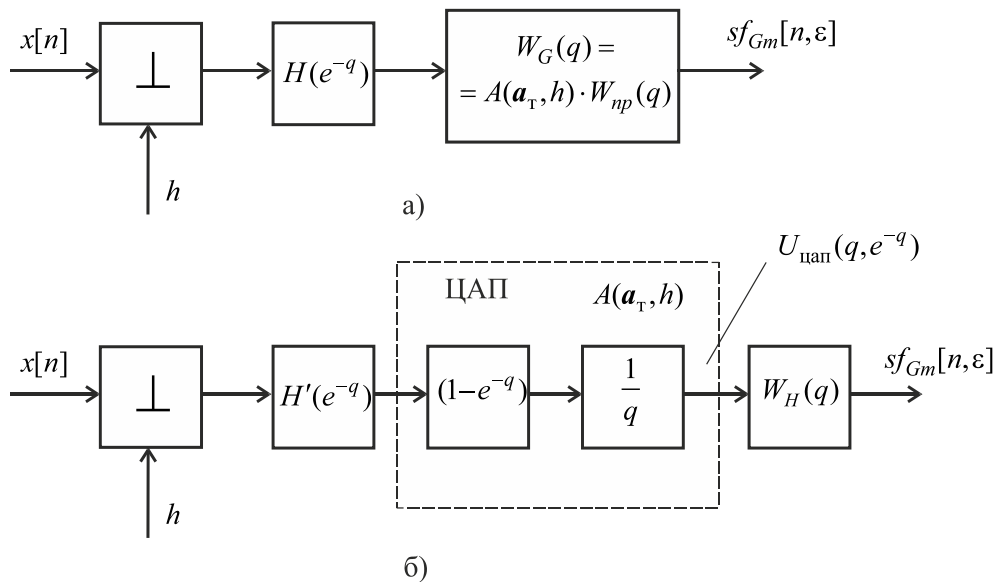


Рисунок 1. Математична модель формування сигналів G-сплайнами:  
а) – узагальнена модель; б) – модель, що враховує ЦАП з регістрами пам'яті

Експоненціальна сплайн-функція порядку  $m$  :

$$sf_{Gm}(\bar{t}) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f[n+1-i] \cdot G_m(i+\epsilon). \quad (1)$$

Розглянемо приклад формування експоненціального сплайна третього порядку (рис. 2 і рис. 3). Модель зведеної неперервної частини ПФ із урахуванням ЦАП:

$$W_{G3,1}(\alpha_T, h, p) = A(\alpha_T, h) \cdot W_{np}(p) = A(\alpha_T, h) \cdot \frac{1}{p^2 \cdot (p + \alpha_T)}. \quad (2)$$

$$A(\alpha_T, h) = \alpha_T^2 \cdot [-1 + \alpha_T h + e^{-\alpha_T h}]^{-1}.$$

Нижче наведені базисний фінітний сплайн та експоненціальна сплайн-функція. На рис. 4 наведено приклад формування сигналу спеціальної форми, де  $f[n]$  – дискретні відліки, що подаються на вхід формуючого кола.

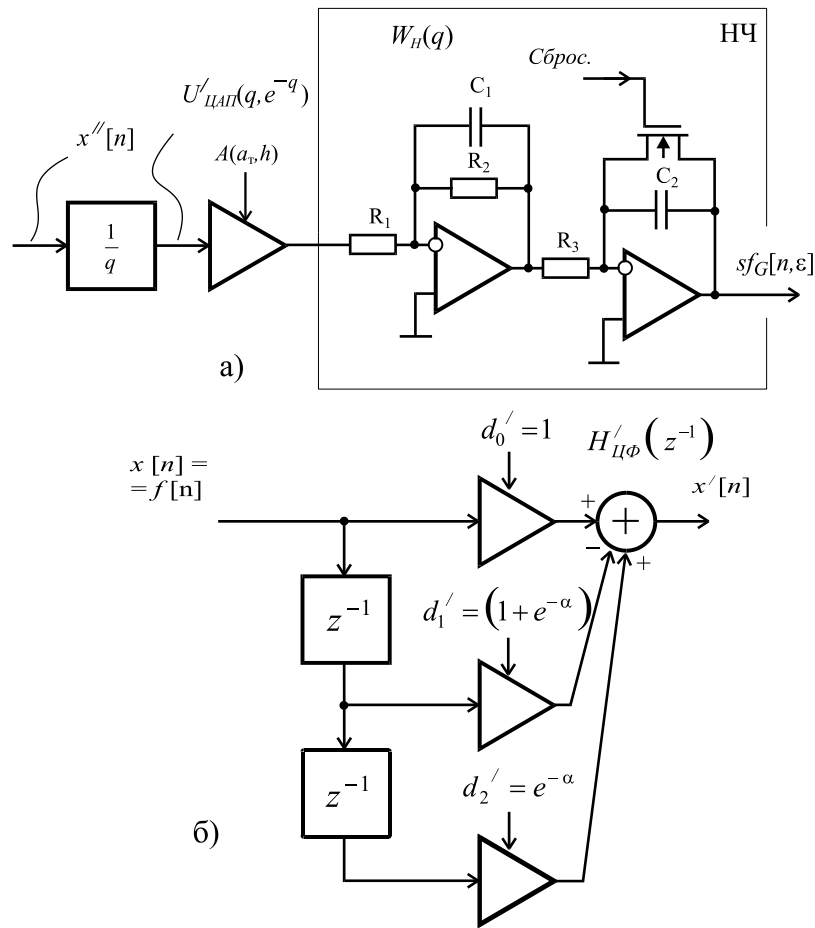
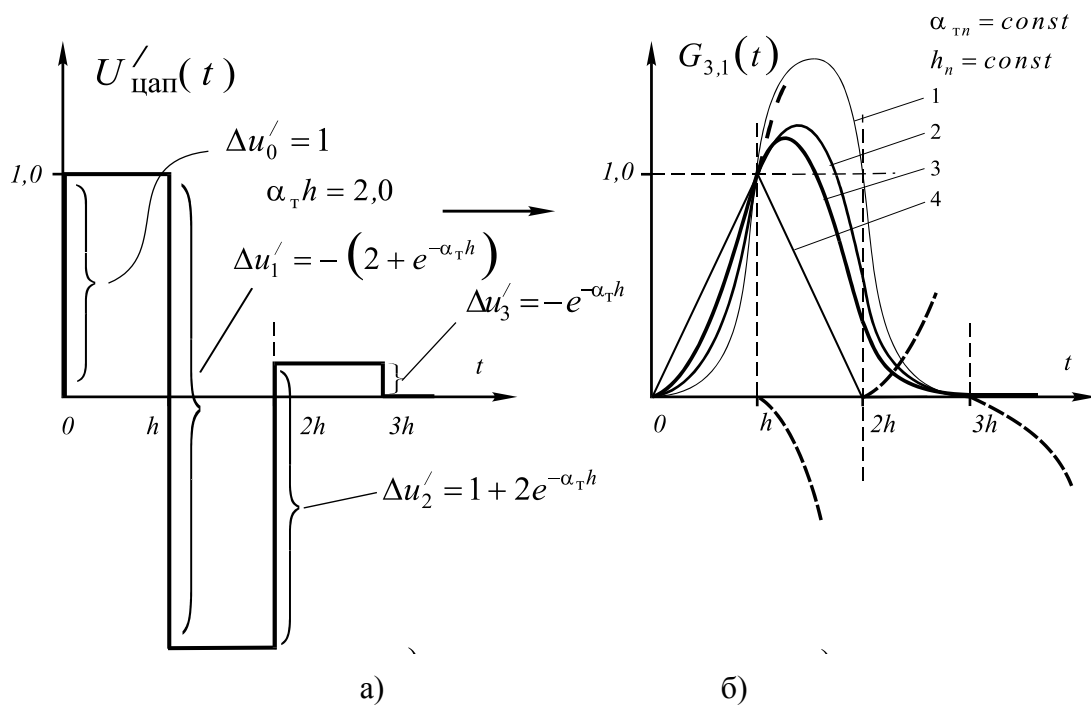


Рисунок 2. Моделі зведених неперервної та дискретної частин формуючого кола:  
а) – модель неперервної частини; б) – структура цифрового фільтра



1.  $\alpha_T h \rightarrow 0$ ; 2.  $\alpha_T h = 1,0$ ; 3.  $\alpha_T h = 2,0$ ; 4.  $\alpha_T h \rightarrow \infty$

Рисунок 3. Імпульсні вагові функції: а) – імпульсна вагова функція на виході ЦАП;  
б) – вигляд фінітного базисного сплайна

$$G_{3,1}(\bar{t}) = \begin{cases} \frac{1}{-1+\alpha+e^{-\alpha}} \left[ -1+\alpha\varepsilon+e^{-\alpha\varepsilon} \right], & \bar{t} \in [0,1]; \\ \frac{1}{-1+\alpha+e^{-\alpha}} \left[ 1+\alpha+e^{-\alpha} - (1+e^{-\alpha})\alpha\varepsilon - 2e^{-\alpha\varepsilon} \right], & \bar{t} \in [1,2]; \\ \frac{1}{-1+\alpha+e^{-\alpha}} e^{-\alpha} \left[ -1+\alpha(\varepsilon-1)+e^{-\alpha(\varepsilon-1)} \right], & \bar{t} \in [2,3]; \\ 0, & \bar{t} < 0, \bar{t} > 3, \bar{t} = t/h = n + \varepsilon; n = 0, 1, 2, \dots; 0 \leq \varepsilon \leq 1; \alpha = \alpha_T h. \end{cases} \quad (3)$$

$$sf_{G_{3,1}}(\bar{t}) = \frac{1}{-1+\alpha+e^{-\alpha}} \left\{ f[n+1](-1+\alpha\varepsilon+e^{-\alpha\varepsilon}) + f[n] \left[ 1+\alpha+e^{-\alpha} - (1+e^{-\alpha})\alpha\varepsilon - 2e^{-\alpha\varepsilon} \right] + f[n-1] e^{-\alpha} \left[ \alpha(\varepsilon-1) - 1 + e^{-\alpha(\varepsilon-1)} \right] \right\}. \quad (4)$$

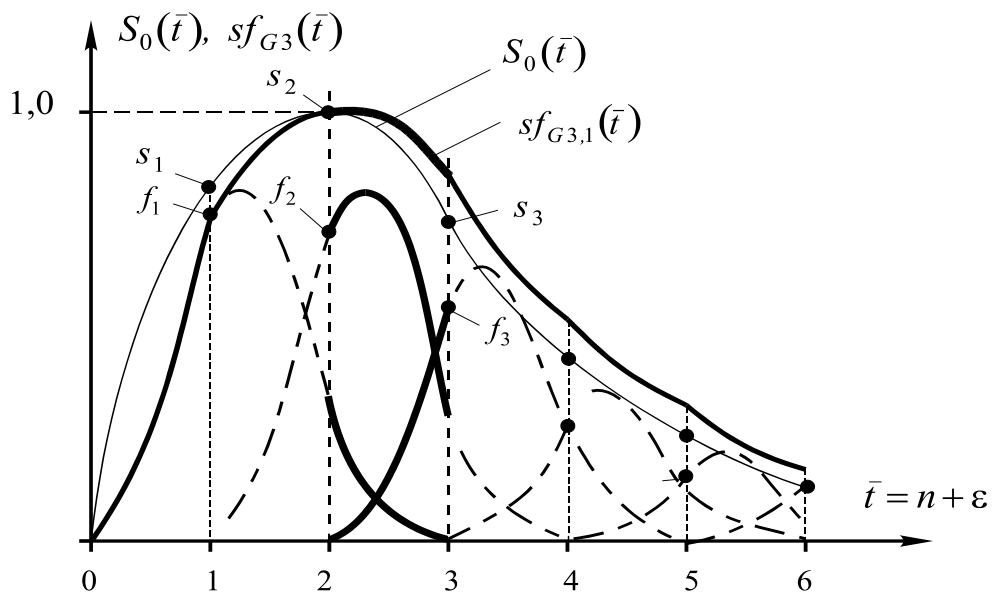


Рисунок 4. Формування сигналів сплайнами

## ВИСНОВКИ

Якщо умови теореми Котельникова не виконуються, задача дискретного синтезу випробувальних сигналів стає апроксимаційною, яка розв'язується у класі кускових експоненціальних сплайнових моделей. Наведений приклад ілюструє метод одержання різноманітних моделей експоненціальних сплайнів та формування на їх основі сигналів спеціальної форми.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дж. Алберг, Э. Нильсон, та Дж. Уолш, Теория сплайнов и ее приложения, М.: Мир, 1972.
- [2] Brian J. McCartin, «Theory of Exponential Splines», Journal of Approximation Theory, vol. 66, pp. 1-23, 1991.
- [3] Yu. Shumkov, «Exponential splines in electric circuits' parameters measuring», in Proc. of the International Conf. Actual problems of Measuring Technique "Measurement-98", Kyiv, Ukraine, 1998, pp. 250-253.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.

## УДК 681.2.083

*С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГРУДНОЇ КЛІТКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ЗА ЗМІНОЮ БІОІМПЕДАНСУ

**Анотація.** В даній статті проведено дослідження математичної моделі, що описує розрахунок величини серцевого викиду, на основі зміни імпедансу грудної клітки та апаратних засобів для перевірки засобів вимірювання параметрів центральної гемодинаміки на основі зміни біоімпедансу. Методи на основі вимірювання біоімпедансу неінвазивні, прості у застосуванні і дозволяють протягом тривалого часу проводити вимірювання, але потребують вдосконалення. Розробка комплексу для перевірки дозволить спростити процес тестування даних засобів вимірювання.

**Ключові слова:** гемодинаміка, серцевий викид, моніторинг параметрів, торакальний електричний біоімпеданс.

## ВСТУП

У медичній практиці часто потрібно визначати параметри гемодинаміки, які характеризують стан системи кровообігу та його ефективність. Основним параметром є хвилинний об'єм кровообігу (ХОК), або серцевий викид (СВ) – це кількість крові, що викидає серце до кровоносної системи за 1 хв.

Неінвазивні методи вимірювання параметрів центральної гемодинаміки активно розвиваються за останні десятиліття, адже сучасні клінічні вимоги потребують методу, що може бути використаний для довготривалого вимірювання, не викликати ускладнення, інфікування, пошкодження тканин та органів.

Найбільш перспективним неінвазивним методом вимірювання серцевого викиду є метод імпедансної кардіографії, що заснований на вимірюванні зміни біоімпедансу. Під час систоли кров надходить в область грудної клітки, що викликає зміну біоімпедансу. Отримані значення зміни імпедансу можуть бути використані для оцінки величини серцевого викиду за допомогою відповідних моделей кровотоку.

При розробці нових засобів вимірювання серцевого викиду на основі зміни біоімпедансу існує необхідність виконувати комплексне тестування та калібрування. Так як первинним сигналом є електричний опір, то для побудови моделі імпедансу грудної клітки можливо використовувати електричну еквівалентну схему.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Метод імпедансної кардіографії використовує дві пари електродів, одні з яких токопровідні, а інші вимірювальні. Через токопровідні електроди подається низькоамплітудний (0,5...5 мА) високочастотний (20-200 кГц) струм, так як на частотах 20...200 кГц кров є найбільш електропровідною структурою тканин. На іншій парі електродів вимірюється напруга. Отримані дані дають змогу побудувати графік зміни опору. Використовуючи графік зміни опору, часову похідну зміни та певні характерні точки можливо обрахувати величину ударного об'єму та серцевого викиду, як показано на рисунку 1.

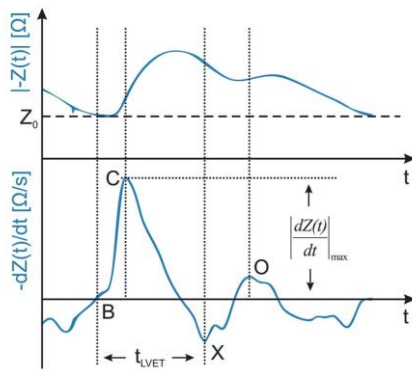


Рисунок 1. Графік зміни імпедансу грудної клітки та графік імпедансної кардіографії ( $dZ(t)/dt$ )

Характерні точки для визначення серцевого викиду: точка С визначається максимумом кривої, точка В визначається як перетин нульового значення, а точка Х як локальний мінімум після точки С [1].

Для оцінки ударного об'єму за допомогою цих характерних точок різними авторами було запропоновано кілька математичних моделей.

Найбільш поширеним є рівняння Бернштейна-Срамека (1):

$$SV = \delta \cdot \frac{(0.17 \cdot H)^3}{4.2} \cdot \left. \frac{dZ}{dt} \right|_{\max} \cdot \frac{t_{LVET}}{Z_0} \quad (1)$$

В даному рівнянні SV – ударний об'єм, тобто кількість крові за одне скорочення серця, відстань між електродами припущена як 17% зросту пацієнта. Коефіцієнт  $\delta$  являє собою фактичну вагу пацієнта, розділену на ідеальну вагу, що було виведено Бернштейном [2], TLvet – час викиду крові лівим шлуночком, інтервал В-Х на рисунку 1,  $Z_0$  – базовий імпеданс грудної клітки,  $(dz/dt)_{\max}$  - максимум похідної у часі [3].

$$CO = SV \times HR \quad (2)$$

Для визначення серцевого викиду (CO) необхідно ударний величину ударного об'єму (SV) помножити на значення частоти серцевих скорочень (HR).

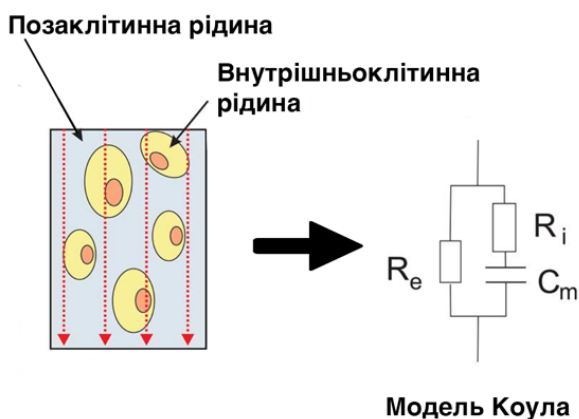


Рисунок 2. Електрична еквівалентна схема проходження струму через внутрішньоклітинну та позаклітинну рідину

Електрична еквівалентна схема тканини грудної клітки складається з резистора, що представляє позаклітинний простір, та паралельного резистора, що представляє внутрішньоклітинний простір, послідовно з'єданого з ємністю, що моделює ізолюючі властивості клітинної мембрани, що схематично відображено на рисунку 2. Модель Коула справедлива для вимірювань на частині тіла, як грудна клітка [4].

Так як при вимірюванні використовуються дві пари токопровідних  $i(j\omega)$  та дві пари вимірювальних електродів  $u(j\omega)$ ,

загальний опір можна обчислити за законом Ома (3):

$$\bar{Z} = \frac{\bar{u}(j\omega)}{\bar{i}(j\omega)} \quad (3)$$

Використовуючи модель Коула, частотний опір описується наступним чином:

$$\bar{Z} = \frac{\bar{u}(j\omega)}{\bar{i}(j\omega)} = \frac{R_e \left[ R_i + \frac{1}{j\omega C_m} \right]}{R_e + R_i + \frac{1}{j\omega C_m}} = \left( \frac{R_e}{R_i + R_e} \right) \left[ R_i + \frac{R_e}{1 + j\omega C_m (R_i + R_e)} \right] \quad (4)$$

із наступною реальною та уявною частиною:

$$\text{Re}\{Z\} = \frac{R_e + \omega^2 + C_m^2 R_i R_e (R_i + R_e)}{1 + \omega^2 C_m^2 (R_i + R_e)^2} \quad (5)$$

$$\text{Im}\{Z\} = -\frac{\omega C_m R_e^2}{1 + \omega^2 C_m^2 (R_i + R_e)^2} \quad (6)$$

Необхідно зауважити, що оскільки тільки абсолютне значення вимірюється з фіксованою частотою, вираз для базового опорю буде мати вигляд:

$$Z_0(\omega) = \bar{Z}(j\omega) \Big| = \sqrt{\frac{R_e^2 + R_e^2 R_i \omega^2}{1 + C_m^2 \omega^2 (R_i + R_e)^2}} \quad (7)$$

Далі необхідно розглянути вимоги для створення електричної еквівалентної схеми грудної клітини. Розглянемо запропоновану Марком Ульбріхом та колегами еквівалентну схему для симулятора грудної клітки [5]. В першу чергу необхідно реалізувати загальний грудний опір, що описаний моделлю Коула, що зображений на рисунку 4 як «імпеданс грудної клітки». Необхідно зазначити, що реальна та уявна частини імпедансу повинні змінюватися у часі. Також повинна бути реалізована можливість зміни базового імпедансу  $Z_{add}$ , для можливості моделювання сигналу для пацієнтів з різним зростом та складом тіла [6]. Паралельно з опором тіла необхідно створити електрокардіографічний (ЕКГ) сигнал UEКГ, адже методу імпедансної кардіографії сигнал ЕКГ необхідний для обрахунку певних параметрів, наприклад період предвигнання [7]. Схема створення сигналу ЕКГ з амплітудою від 1 мВ до 2 мВ зображено на рисунку 3. Для врахування контакту пацієнт-електрод для усіх чотирьох пар електродів, необхідно передбачити змінні резистори  $Z_{el}$ .

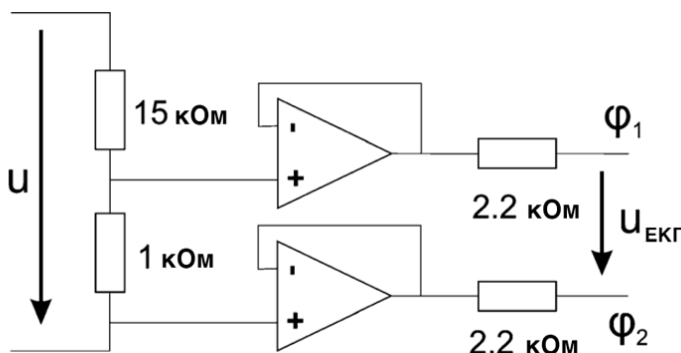


Рисунок 3. Схема створення сигналу ЕКГ

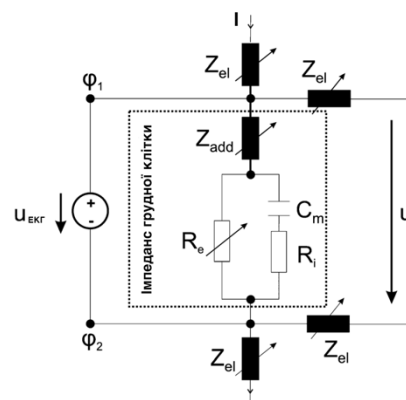


Рисунок 4. Електрична еквівалентна схема моделі грудної клітки з подачею сигналу ЕКГ

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволяє сформулювати основні вимоги до створення програмно-апаратного комплексу для комплексної перевірки та калібрування вимірювальних засобів параметрів центральної гемодинаміки на основі зміни біоімпедансу. В розробці комплексу необхідно враховувати можливість імітації артефактів – рухових, дихальних, вплив електрохірургічного інструменту, адже саме за цих умов значно погіршується кореляція методу біоімпедансу порівняно з «золотим стандартом» методом термодилуції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] T. Debski, Y. Zhang, J. R. Jennings, and T. W. Kamarck, “Stability of cardiac impedance measures: Aortic opening (b-point) detection and scoring” *Biol. Psych.*, № 36, с. 63–74, 1993.
- [2] D. P. Bernstein and H. J. M. Lemmens, “Stroke volume equation for impedance cardiography,” *Med. Biol. Eng. Comput.*, № 43, с. 443–450, 2005.
- [3] J. M. V. D. Water, T. W. Miller, R. L. Vogel, B. E. Mount, and M. L. Dalton, “Impedance cardiography—The next vital sign technology?” *Chest*, № 123, с. 2028–2033, 2003.
- [4] S. Grimnes and O. G. Martinsen, *Bioimpedance and Bioelectricity Basics*, 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2008.
- [5] Mark Ulbrich, Jens Mühlsteff, Daniel Teichmann, Steffen Leonhardt, and Marian Walter, “A Thorax Simulator for Complex Dynamic Bioimpedance Measurements With Textile Electrodes” *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, № 9(3), 2014.
- [6] L./A.H. Critchley, “Impedance cardiography: The impact of new technology” *Anaesthesia*, № 53, с. 677–684, 1998.
- [7] L. Ward, B. H. Cornish, N. I. Paton, and B. J. Thomas, “Multiple frequency bioelectrical impedance analysis: A cross-validation study of the inductor circuit and cole models,” *Phys. Meas.*, № 20, с. 333–347, 1999.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Шевченко К.Л.*

## УДК 621.365

*К.М. Мостепан, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИННО-СТРУЖКОВОЇ ПЛИТИ НВЧ РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ**

**Анотація.** В даній статті розглянуто надвисокочастотний метод виміру вологості, який заснований на залежності параметрів електромагнітної хвилі, яка взаємодіє з контрольованим матеріалом, від його діелектричних характеристик. Найбільш поширеним НВЧ-методом є резонансний, який має максимальну чутливість при вимірюванні вологості. Наведена структурна схема реалізації резонаторного вологоміра.

**Ключові слова:** деревина, вологість, НВЧ-метод, резонансний вологомір.

#### **ВСТУП**

Деревина - екологічно чистий, безпечний, природний будівельний та оздоблювальний матеріал, що не вимагає тривалої додаткової обробки. Під впливом навколишнього середовища змінюється якість матеріалу, яка залежить від його характеристик. Однією з таких особливостей вважається вологість пиломатеріалу, що коливається від стрибків вологи в навколишньому середовищі. У будівництві від вологості залежать основні властивості будівельних матеріалів, теплофізичні, теплозахисні та міцнісні характеристики будівельних споруд, конструкцій та огорож і, отже, їх довговічність, надійність і експлуатаційні якості. Безпосередньо з цієї причини, в першу чергу ніж використовувати деревину з метою ремонтних робіт, будівництва, виробництва конструкцій, виконують перевірки для встановлення вологості деревини, ретельно висушують її з метою захисту від грибка, гниття і для надання таких властивостей, як надійність, витончений зовнішній вигляд та тривалий період експлуатації [1]. В першу чергу вологомір для дерева може бути корисний людям, які мають намір побудувати дерев'яний будинок. Проблема в тому, що деревина, в якій буде занадто багато вологи або, навпаки, дуже сухе дерево, може деформуватися через кілька років. Безумовно, це призведе до деформації всієї споруди. Крім того вологомір для дерева використовується в меблевій індустрії, так як правильно висушене дерево є гарантією того, що меблі не зіпсуються через кілька років.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Вологість – міра насиченості речовини водою. Вологість деревини виражається у процентах. Розрізняють такі ступені вологості деревини: мокра - тривалий час знаходилася у воді, вологість 60%; свіжозрубана – зберегла вологу зростаючого дерева, вологість 45...50%; повітряно-суха - довгий час зберігалася на повітрі, вологість 20...30% (залежно від кліматичних умов і пори року); кімнатно-суха – деревина, яка довгий час знаходилась в житловій кімнаті, вологість 7...18% і абсолютно суха – висушена при температурі  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  до постійної маси, вологість 0%. Вже на початковому етапі виготовлення вимірюється вологість матеріалу. Спочатку матеріал проходить повітряну сушку, де вологість досягається значень 30-40% [2]. Уже після завершення операції повітряної сушки виконується сушіння деревини. У кінцевому результаті, меблі з деревини не повинні включати більше 12% води.



Від вологості залежить щільність деревини. Зі збільшенням вологості щільність деревини зростає. Нормальною прийнято вважати щільність в районі від 500 до 750 кг / м<sup>3</sup>. Умовно цей показник ділять на малу, середню, високу щільність. Саме вироби, виготовлені з ДСП високої щільності, мають найбільший термін служби. Ідеальні пропорції параметра:

- до 550 кг на м.куб. (мала щільність);
- 550-750 кг на м.куб. (середня щільність);
- від 750 кг на м.куб. (висока щільність) [3].

Методи вимірювання вологості твердих матеріалів, рідин і газів, засновані на перетворенні вологості в іншу фізичну величину з використанням сучасної вимірювальної техніки, нараховують усього кілька десятиліть, деякі з них були розроблені в останні роки. Методи виміру вологості поділяються на прямі та опосередковані, як показано на рис.1. В прямих методах проводиться безпосереднє розділення матеріалу на суху речовину і вологу. А в опосередкованих методах вимірюється величина, функціонально пов'язана з вологістю матеріалу.

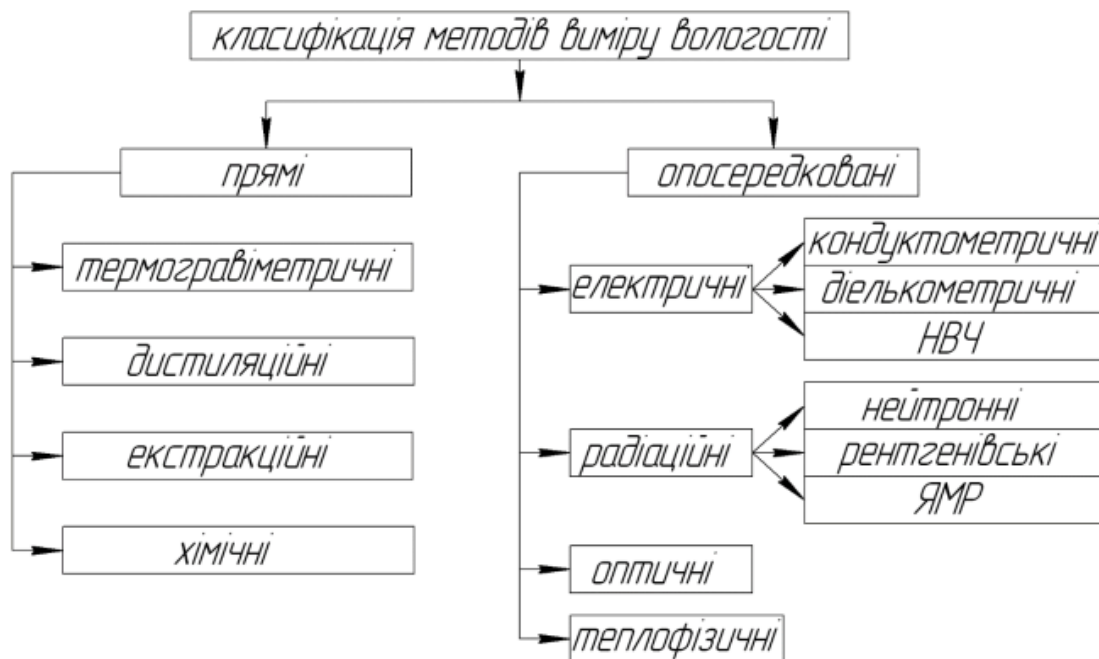


Рисунок 1. Класифікація методів виміру вологості

Надвисокочастотний (НВЧ) метод виявився найкращим для наших цілей, оскільки він має велику чутливість, точність і можливість безконтактних вимірів. А також є незначна чутливість до фізико-хімічних властивостей досліджуваних матеріалів. Такий метод вимірювання у вільному просторі забезпечує хороші результати і ліг в основу великої кількості приладів для вимірювання вмісту вологи. Всі НВЧ-методи вимірювання вологості засновані на залежності параметрів електромагнітної хвилі, яка взаємодіє з контрольованим матеріалом, від його діелектричних характеристик [1].

Резонансний метод вимірювання частоти полягає в порівнянні вимірюваної частоти з власною резонансною частотою градуйованого

вимірювального коливального контуру. Цей метод застосовується в діапазоні високих і надвисоких частот [4]. Резонаторні методи використовують в широкому діапазоні частот - від одиниць мегагерц до десятків гігагерц, так як резонансну частоту і добротність коливальних систем можна виміряти з високою точністю.

На рисунку 2 наведена структурна схема реалізації резонаторного вологоміра, що містить: НВЧ-генератор, ЦАП, підсилювач, резонатор, детектор, формувач прямокутних імпульсів, асинхронний RS-тригер, суматор.

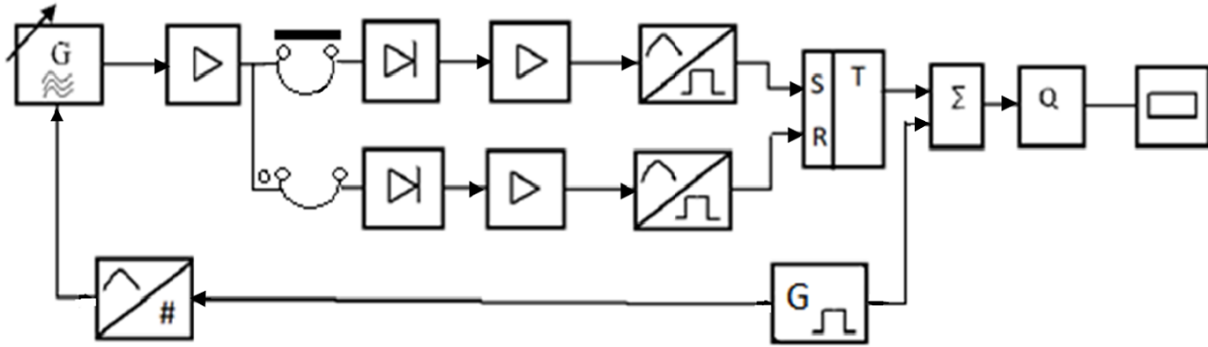


Рисунок 2. Структурна схема резонансного вологоміра для вимірювання вологості ДСП

Пристрій працює таким чином: НВЧ генератор формує НВЧ коливання, які змінюються за частотою за лінійним законом. Смуга частот, в якій змінюється частота, визначається діапазоном керуючих напруг на виході цифро-аналогового перетворювача. На його вхід подається імпульсний сигнал з генератора тактової частоти. Вихідний сигнал НВЧ генератора підсилюється та розділяється на дві ідентичні складові. Перша подається на коло збудження вимірювального резонатора, друга – опорного.

Чутливий елемент представляє собою хвилеводний відкритий резонатор захищений на вихідному торці діелектричною пластиною для запобігання попадання частинок досліджуваного об'єкта в порожнину резонатора.

При розгортці частоти НВЧ генератора в резонаторах виникають резонансні коливання, амплітуда яких в момент резонансу багаторазово зростає. Резонансна частота опорного резонатора постійна. Резонансна частота вимірювального резонатора залежить від діелектричних властивостей матеріалу, що з ним взаємодіє. Відомо, що волога має діелектричну проникність на порядок більшу, ніж більшість сухих матеріалів. Тому при збільшенні вологості зростає діелектрична проникність вологих речовин. Це, в свою чергу, призводить до зменшення резонансної частоти вимірювального резонатора. Таким чином, задача вимірювання вологості НВЧ резонансним методом зводиться до визначення різниці частот опорного та вимірювального резонаторів. Для цього за допомогою детекторів знімаються огинаючі резонансних кривих, які підсилюються та формувачами імпульсів перетворюються у короткі прямокутні імпульси. На часовій шкалі вони відповідають максимумам огинаючих резонансних кривих. Імпульс вимірювального каналу по S-входу встановлює тригер в одиничний стан, а імпульс опорного каналу по R-входу скидає його в нульовій стан. В результаті

на виході тригера формується часовий інтервал, величина якого пропорційна різниці резонансних частот резонаторів. Прямокутний імпульс з виходу тригера подається на один з входів схеми збігу. На її другий вхід подаються імпульси з генератора тактової частоти. Таким чином, на виході схеми збігу формуються пакети імпульсів, кількість імпульсів в яких пропорційна вологості матеріалу. Імпульси рахуються лічильником, а відповідний код подається на цифровий індикатор, проградуйований в одиницях вологості.

## **ВИСНОВКИ**

Для вимірювання вологості деревинних матеріалів використовуються різні вимірювальні засоби, які реалізують різні методи вимірювань. До їх недоліків можна віднести низьку точність, обумовлену наявністю домішок та хімічних речовин, порушення структури і цілісності матеріалу при використанні кондуктометричних методів. Аналіз літератури в області вологометрії показав перспективність використання для вимірювання вологості деревинних матеріалів резонансних НВЧ методів. Принцип їх дії заснований на вимірюванні параметрів резонатора при внесенні в нього досліджуваного матеріалу. В роботі запропоновано структуру НВЧ резонансного вологоміру, що забезпечує швидке і точне вимірювання вологості деревинно-стружкових плит.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Берлинер, М. А. Измерения влажности / М. А. Берлинер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1973. – 76, 157 с.
- [2] Шварцман Г. М. Производство древесно-стружечных плит. 3-е изд. — М., 1977. – 89 с.
- [3] ДСП: властивості і технічні характеристики [Електронний ресурс] - URL: <http://vyborstm.ru>.
- [4] Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Феклисов В.Б., Вениг С.Б. Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ (учебное пособие)– Саратов: Электронное издание Саратов. ун-та, 2012. – 55 с.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Шевченко К.Л.*

## УДК 616-001.17

*К.Д. Ніколаєва, студентка гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ТЕРМОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**Анотація.** Розглядається проблема діагностики характеристик опіків та альтернативні методи для покращення їх аналізу за допомогою використання технології штучного інтелекту та машинного навчання. З'ясовано, що можна створити систему для безконтактного аналізу ураженої опіками шкіри на основі використання інфрачервоної термографії. Визначено основні питання які потрібно враховувати при створенні моделі машинного навчання.

**Ключові слова:** опіки, термометрія, штучний інтелект, модель машинного навчання, нейронна мережа, Core ML, Create ML.

#### **ВСТУП**

Опіки - комплексна травма внаслідок високотемпературного, хімічного, електричного або радіаційного впливу на тіло, яке руйнує і / або пошкоджує шкіру і підлеглі тканини. Опікова хвороба - складний симптомокомплекс, пов'язаний зі значною втратою шкірних покривів (викликаний термічним, хімічним, електричним або променевим впливом), що характеризується наявністю загальних реакцій організму і порушенням функції внутрішніх органів з можливістю розвитку незворотних патологічних процесів [1].

Важливою задачею діагностики тяжкості травми при опіках є визначення площі і глибини ураження на початковому етапі опікової хвороби, тобто в перші години після отримання травми. Оцінка площі опікового ураження на даний час не є проблемою, відомо багато методів її визначення. Але, стосовно оцінки глибини уражених тканин, ситуація зовсім інша. Не дивлячись на велику кількість запропонованих методів апаратурної оцінки глибини опікових уражень [1], в медичній практиці і досі застосовуються застарілі методи.

#### **ОГЛЯД МЕТОДІВ ОЦІНКИ ГЛИБИНИ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ**

Розрізняють опіки поверхневі (I, II, III а ступені) і глибокі (IIIб і IV ступеня) [2]. Перш за все, це обумовлено використанням різних підходів до лікування наслідків опікових уражень. Так, при поверхневих опіках можливе відновлення шкірного покриву шляхом самостійної епітелізації. При глибоких опіках необхідно обирати медикаментозні або хірургічні способи лікування. Зазвичай зустрічається поєднання поверхневих і глибоких опіків, тому важливо якомога раніше визначити глибину ураження.

Визначити глибину ураження можна шляхом висмикування на ділянці опіку окремих волосся [2]. У разі поверхневих опіків волосся видаляються з працею і епіляція супроводжується болем. При глибоких опіках волосся висмикуються легко і безболісно.

В деяких випадках використовують методи прижиттєвого фарбування [2]. Барвники можуть наноситися на опікову поверхню або внутрішньовенно. По фарбуванню визначають глибину ушкодження. Широкого поширення ці методи не отримали. Однією з причин є те, що зміна забарвлення перешкоджає подальшому спостереженню за поверхнею опіку.

Візуалізація глибини ураження іноді здійснюється методом флюоресценції [3]. Суть його полягає в тому, що хворий приймає окситетрациклин, який розповсюджується з кров'ю по всьому тілу. Через годину зону опіку опромінюють кварцовою лампою. Ділянки з поверхневими опіками світяться жовтим кольором. У зоні глибоких пошкоджень світіння відсутнє.

Запропоновано і інші методи для раннього виявлення ділянок некрозів: визначення опору тканин електричного струму, гістологічні дослідження, вимірювання рН шкіри [3]. Однак все ж основним способом визначення глибини і досі залишається клінічне обстеження і подальше спостереження.

Спираючись на методи клінічного обстеження, вже в ранні терміни вдається встановити наявність і відсутність глибоких опіків. Однак достеменно визначити межі глибокого ураження неможливо. Тому вони уточнюються в процесі лікування.

Найбільш перспективним апаратним методом діагностики глибини опіків є метод термометрії [3]. Ідея його використання базується на вимірюванні різниці поверхневої температури на ділянках з різною глибиною ушкодження. Відомо, що у місцях глибоких опіків (ІІІб, ІV ступеня) температура поверхні шкіри на 1,5 ... 2,5 ° С нижче ніж на ділянках поверхні опіків (І, ІІ, ІІІа ступеня).

Інфрачервона термографія, теплове зображення або теплове відео - це науковий спосіб отримання термограми, яка являє собою зображення в інфрачервоних променях та показує картину розподілу температурних полів. Для виявлення випромінювання в інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра, яке приблизно дорівнює 900-14000 нанометрів, використовують термографічні камери або тепловізори, які на основі цього випромінювання створюють зображення, що дозволяють визначити зони з максимальними та мінімальними значеннями температури [10].

Основною проблемою використання такого методу є складність диференціації глибини опіку навіть при наявності візуалізованої картини розподілу температур в зоні опіку. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є використання комп'ютерної обробки цифрових зображень, яка дозволяє робити висновок про стан опіку на основі аналізу бази з попередньо завантажених зображень [5].

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для вирішення задачі розпізнавання ступеню опікових уражень авторами використано технологію штучного інтелекту та запрограмовано мобільний дотаток для операційної системи iOS, за допомогою якого відбувається аналіз глибини опіку на основі його теплового зображення.

Core ML - це система машинного навчання, що використовується в продуктах Apple (macOS, iOS, watchOS і tvOS) для швидкого прогнозування або висновку з легкою інтеграцією попередньо навчених моделей машинного навчання на межі, що дозволяє виконувати прогнози в реальному часі живих зображень або відео на пристрої.

Create ML - це абсолютно новий спосіб навчання спеціальних моделей машинного навчання. Він пропонує надзвичайно спрощений досвід навчання моделі з використанням нового, прямого робочого процесу

Тренінг моделей машинного навчання передбачає надання алгоритму ML з навчальними даними, з яких слід вчитися. Модель машинного навчання - це артефакт навчання, а тип моделі залежить від того, що ви хочете передбачити.

Нейронна мережа проводить пошук базових характеристик на основі отриманих зображень. Беручи на вхід початковий масив пікселів, вона послідовно пропускає інформацію через групи згортальних шарів і будує все більш складні абстракції. На кожному наступному шарі вона вчиться виділяти певні ознаки - спочатку це лінії, потім набори ліній, геометричні фігури, частини тіла, і так далі. На останньому шарі ми отримуємо висновок класу або групи ймовірних класів.

У разі ж Create ML навчання нейронної мережі не проводиться з нуля. Фреймворк використовує попередньо навчену на величезному наборі даних нейронну мережу, яка вже включає велику кількість шарів і має високу точність.

Для вирішення проблеми аналізу уражень шкіри уже заздалегідь навчена машинна модель інтегрується в мобільний додаток, написаний на мові програмування Swift, та при завантаженні нових теплових зображень з високою точністю може визначити усі характеристики опіку. Таким чином процес діагностики, та, відповідно, вибір правильного підходу до способу надання медичної допомоги стає швидшим, кращим та прогресивнішим порівняно з уже відомими методами.

## **ВИСНОВКИ**

Інфрачервона термографія знайшла дуже велику область застосування в таких областях, як моніторинг умов, медична візуалізація, нічне бачення, дослідження, управління процесом, неруйнівний контроль, спостереження в області забезпечення безпеки, правоохоронної діяльності та захисту, хімічна візуалізація.

Сучасна наука знаходить все нові області, в яких може застосовуватися штучний інтелект, що робить комп'ютерні технології ще більш просунутими та корисними для суспільства. За великим рахунком, саме штучний інтелект, впроваджений в різні сфери діяльності, може прискорити їх розвиток, а деякі навіть вивести на абсолютно новий рівень.

На сьогодні майже кожна людина в певний момент свого життя страждала від термічного, хімічного або сонячного опіку. Для діагностики стану пошкодження біологічних тканин та формалізації класифікаційних ознак ступеню опіку найкращим рішенням буде використання термометричного методу у поєднанні з технологією штучного інтелекту.

Актуальність запропонованого рішення полягає в тому, що на сьогодні не існує зручного і швидкого методу точної оцінки ступеню і характеристик опіку і тому розробка мобільного додатку з заздалегідь навченою машиною моделлю являє собою чудову сучасну альтернативу існуючим методам аналізу.

Метою даного дослідження є пошук вдосконаленого рішення для безконтактного аналізу характеристик глибини ураженої опіками шкіри.

Представлене дослідження має велику цінність для використання запропонованої технології в медицині, а також в інших сферах аналізу та обробки даних, отриманих шляхом навчання моделі для створення власної нейронної мережі.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] «Організація екстреної медичної допомоги населенню при стихійних лихах та інших надзвичайних ситуаціях». / Под ред. В. В. Мешкова. - М.: Медицина, 1991. - 208 с.
- [2] Хушкадаіов З.К. «Патоморфологічні зміни зовнішніх тканин і внутрішніх органів при термічній травмі» / З.К. Хушкадаіов, Ю.І. Піголкін, С.С. Курбонов, Х.М. Мірзоєв // *Вісник Академії наук Республіки Таджикистан*. - 2008. - №4. - С. 78-83. Бігуняк В.В. Термічні ураження / В.В. Бігуняк, Н.Є. Повстяной. -Тернопіль .: Укрмедкнига, 2004. -196 с.
- [3] Вихор Б.С., Бурмістров В.М. Опіки. Л. 1981 .; Кузин М.П., Сологуб В.К., Юденич В.В. «Опікова хвороба». М. 1982.; Баткин А.А., Розін Л.Б. Протишокова терапія. гл. 5. Керівництво Опіки. изд 2, ред. Б.С.Віхрієв, В.М.Бурмістров 1986, с.70-79.
- [4] Ллойд, Дж. «Системы тепловидения». – М. : «Мир», 1978.
- [5] Ніколаєва К. Д., Штефура Ю.В. Інформаційно-вимірювальна система оцінки характеристик опіків на базі технологій штучного /Матеріали ХІХ міжнародної науково-технічної конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка у технологічних процесах». Одеса, 14-17 червня, 2019, с. 45-46.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. Шевченко К.Л.***

## УДК 528.514

*Панченко В.В. студент гр.ВА-81мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ НА БАЗІ СВУТЛОЧУТЛИВОЇ МАТРИЦІ**

**Анотація.** Розглядається можливість вимірювання та знаходження відстані до об'єкту за допомогою зображення, як звичайного так і стереоскопічного, без використання додаткових вимірювальних приладів для орієнтації в просторі. За мету стоїть дослідити можливість використання світлочутливих матриць як давачів для системи вимірювання відстані. Через широку поширеність відеокамер як основного джерела інформації про навколишній світ, постала гостро необхідність дати можливість автоматизованим системам різного роду складності вміння орієнтуватися в просторі лише по зображенню. Головним для орієнтації в просторі є розуміння нашого позиціонування відносно інших об'єктів, а саме на скільки точно ми знаємо відстань до якогось об'єкту. Саме для вирішення цих задач буде запропоновано декілька методів для знаходження відстані, використовуючи лише зображення.

**Ключові слова:** стереоскопічний зір, знаходження відстані, аналіз зображення, відеокамера, калібрування.

### **ВСТУП**

В сучасному світі де з кожним днем впроваджуються технології на базі різних автоматичних систем, що потребують наявності блоку вимірювання відстані (наприклад автопілот в автомобілі). Постало актуальним питання створення простих алгоритмів чи способів, що дозволять без надлишку датчиків орієнтуватися в просторі. Саме тому буде розглянуто можливість вимірювання відстані через використання світлочутливої матриці широкого вжитку.

### **МЕТА РОБОТИ**

Дослідити можливість використання світлочутливих матриць як давачів для системи вимірювання відстані, для покращення метрологічних характеристик данні будуть опрацьовуватись нейромережею. Розглянемо найпростіший метод отримання даних про глибину зображення - це стереоскопія та стереоскопічні зображення.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Методи вимірювання відстані до деяких об'єктів можна розділити на активні та пасивні. Активні методи вимірюють відстань, посилаючи деякі сигнали об'єкту [2;4] (наприклад, лазерний промінь, радіосигнали, ультразвук тощо), а пасивні отримують тільки інформацію про об'єкт положення (зазвичай, світлом). Серед пасивних найбільш популярними є ті, що спираються на стереоскопічний метод вимірювання. Стереоскопія - це техніка, яка використовується для запису, та представляє стереоскопічні зображення, таке зображення є по своїй сутності карта глибини. Є два можливих способи отримання стереоскопічних зображень: використовуючи спеціальні стерео камери або системи з двома лінзами однокамерні камери об'єднані. Стереоскопічні фотографії дозволяють розрахувати відстань від камери до вибраного об'єкту.[1] Відстань обчислюється з відмінності між зображеннями та додатковими технічними даними, такими як фокусна відстань і відстань між камерами. Певні об'єкти вибираються на знімку ліворуч, а той же об'єкт на



правильне зображення автоматично виявляється за допомогою алгоритму оптимізації, який шукає мінімальну різницю між обома зображеннями.

Точність положення залежить від роздільної здатності зображення, оптичного спотворення і відстань між камерами.[5] Запропоновано використовувати одну камеру на рухомій платформі, що буде забезпечувати стереоскопічний ефект, також такий підхід зменшить деякі похибки неоднорідності які є у двох фізично різних фотооб'єктивів. Також для покращення точності вводиться калібрування через об'єкт розміри якого ми вже знаємо, (наприклад будівля, людина, чи інший предмет), за рахунок введення такого калібрування стає можливим попереднє налаштування та внесення поправок в налаштування фотоапаратури. В подальшому планується використовувати нейромережу яка буде базуватись на реперних точках відстані, що дозволить підвищити швидкість розрахування відстані в умовах складної місцевості, чи кліматичних явищах.

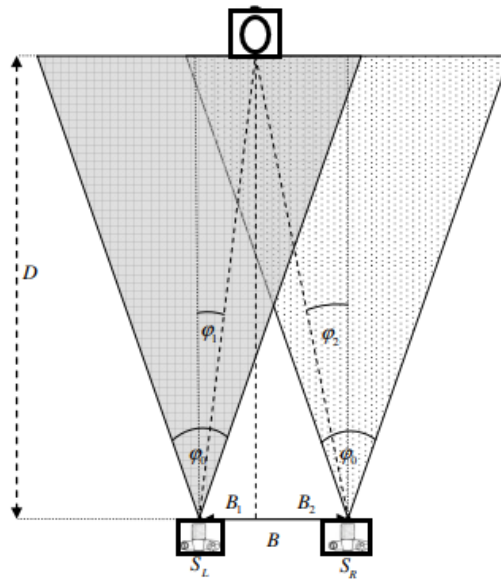


Рис.1 Зображення що демонструє стереоскопічний метод

Оскільки даний метод потребує деяких умов для свого використання (наявності 2 камер, які мають бути розміщені без перекосів та суто паралельно, оскільки це впливає на точність отриманих даних) то з можливих пропозицій для оптимізації, це використання однієї камери але на рухомій горизонтально платформі, при такому підході також можемо позбавитись від деяких похибок розфокусування та не ідентичності отриманих зображень, оскільки параметри зйомки будуть максимально наближеними. Також слід розглядати внесення деяких змін в налаштування, через вплив погодних умов, та часу доби.

Метод розрахування дистанції  $D$ , через суму  $B_1$  та  $B_2$ , за формулою (1):

$$D = \frac{B}{\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2} \quad (1)$$

де,  $B$  розраховується через формулу (2):

$$B = B_1 + B_2 = D \tan \varphi_1 + D \tan \varphi_2, \quad (2)$$

## ВИСНОВКИ

Хоча, метод оснований на відносно простому алгоритмі, обчислена відстань досить точна. Завдяки впровадженню алгоритму з використанням простої нейромережі з'явилась можливість швидкого обрахунку дистанції до найближчого об'єкту. Кращі результати можливо отримати з більш широкої бази (відстань між камери). В подальших дослідженнях запропонований спосіб буде перевіряти деякі інші цільові об'єкти, а саме для перевірки результатів, буде зображення до вже відомого об'єкту, після цього можемо зробити поправки на місцевість, кліматичні умові, або інші фактори.

Як відомо, найпростіший об'єктив для фотоапарата можна зробити з однієї двоопуклої лінзи та фоточутливої матриці. Звичайно, існують фотоапарати взагалі без об'єктива (так звані пинхол-камери, предок яких - камера-обскура), але в даному випадку вони нам не дуже цікаві бо вони не набули широкого вжитку[6]. Оскільки методи добре підходять і для складних об'єктивів, які поєднують в собі більше десятка послідовно розташованих лінз. Також слід зазначити те, що рухома платформа для отримання стереозображення має бути розміщена максимально точно по горизонту, а також плавно переміщатись, для того щоб такі налаштування об'єктиву, як фокус не були змінені системою автофокусування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] H. Walcher, Position sensing – Angle and distance measurement for engineers, Second edition, ButterworthHeinemann Ltd., 1994.
- [2] D. Vrančić and S. L. Smith, Permanent synchronization of camcorders via LANC protocol, Stereoscopic displays and virtual reality systems XIII : 16-19 January, 2006, San Jose, California, USA, (SPIE, vol. 6055).
- [3] Navigation 2, Radio Navigation, Revised edition, Oxford Aviation Training, 2004.
- [4] P. Gedei, Ena in ena je tri, Monitor, july 2006, <http://www.monitor.si/clanek/ena-in-ena-je-tri/>, (21.12.2007).
- [5] J. Carnicelli, Stereo vision: measuring object distance using pixel offset, <http://www.alexandria.nu/ai/blog/entry.asp?E=32>, (29.11.2007). Core ML, Apple Developer Documentation
- [6] Потасов С.И., Криловецький А.А. Курган С.Д. Об одном подходе к решению задачи ректификации по сцене без калибровки камер. Технические науки, 2012, т.131, №6 с.144-148.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Туз Ю.М.*

## УДК 629.7

М.С. Скриповська, студентка гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНОГО КАЛІБРУВАННЯ ГІРОСКОПІЧНИХ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

**Анотація.** В статті представлені матеріали щодо розробки ІВС для температурного калібрування перетворювачів кутової швидкості.

**Ключові слова:** калібрування, регулятор, гіроскоп, кутова швидкість, термокамера, мікроконтролер

## ВСТУП

У наш час стрімко зростає ринок інерціальних навігаційних систем (ІНС), який у 2018 році досяг 10.1 бильйона доларів США [1]. Ці системи використовуються для визначення координат та швидкості руху таких об'єктів як автомобілі, літальні апарати та різноманітні гаджети. Використання первинних перетворювачів, виготовлених за технологіями мікроелектромеханічних систем (МЕМС), дозволяє створювати легкі, економічно вигідні та компактні ІНС. Мікромеханічні (МЕМС) гіроскопи (ММГ) використовуються у таких ІНС у якості первинних вимірювальних перетворювачів кутової швидкості (ПКШ). Однією із найважливіших задач при створенні ІНС є калібрування її перетворювачів.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета статті – розробити структуру інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для температурного калібрування коефіцієнтів перетворення та перехресного зв'язку гіроскопічних мікромеханічних ПКШ, а також алгоритми керування її допоміжними технічними засобами.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

ПКШ калібруються вже будучи встановленими у ІНС. Коефіцієнти матриці коефіцієнтів перетворення та перехресного зв'язку моделі вихідних сигналів ПКШ визначаються шляхом задання ряду значень кутової швидкості [2]. Для цього ІНС встановлюють на спеціальний поворотний стіл, вісь обертання якого має бути виставлена строго вертикально. Для компенсації температурних похибок параметрів моделі вихідних сигналів ПКШ здійснюється температурне калібрування, при цьому для визначення поточної температури використовують вбудовані вимірювальні перетворювачі температури (ВПТ) кожного з гіроскопів. Загальна структурна схема ІВС зображена на рисунку 1. На рисунку 2 зображено вимірювальні канали ІВС, які фізично розташовані на рухомій частині. Рухома частина – закріплена на валу платформа, до якої приєднується кантувач з ІНС та інтерфейсний блок.

Розроблена ІВС використовується для отримання, перетворення та обробки вимірювальної інформації від ПКШ. Електронний блок, електромеханічна частина та платформа, обертанням якої вони керують, а також термокамера є допоміжними технічними засобами ІВС.

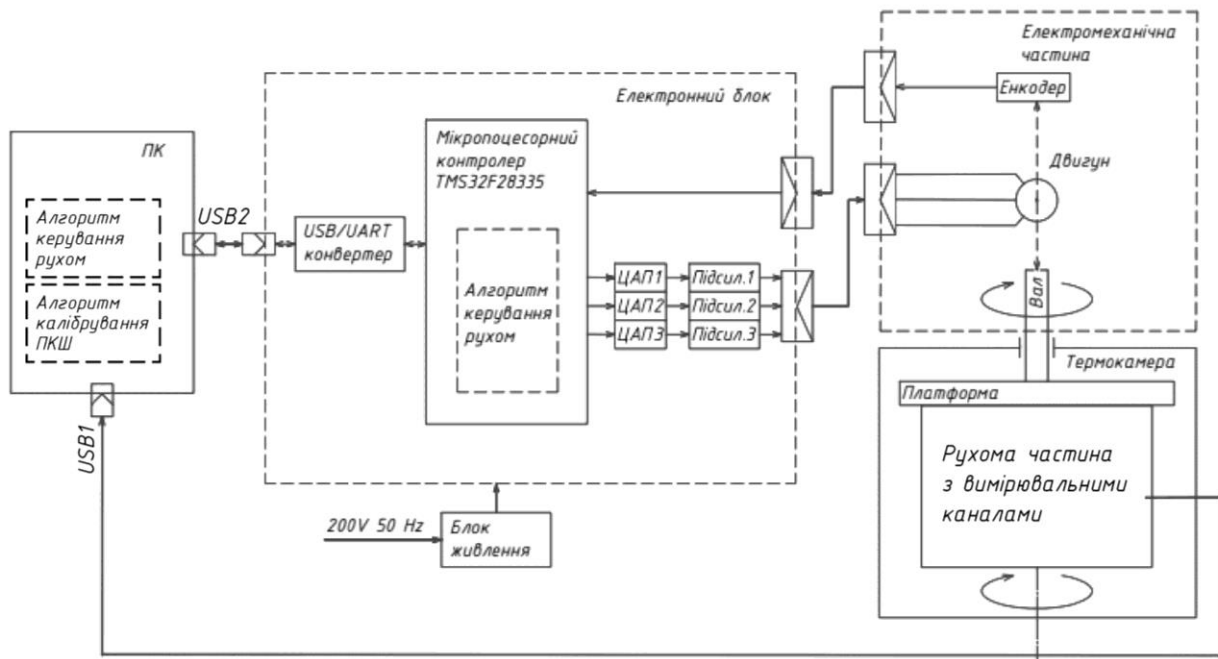


Рисунок 1. Структурна схема ІВС

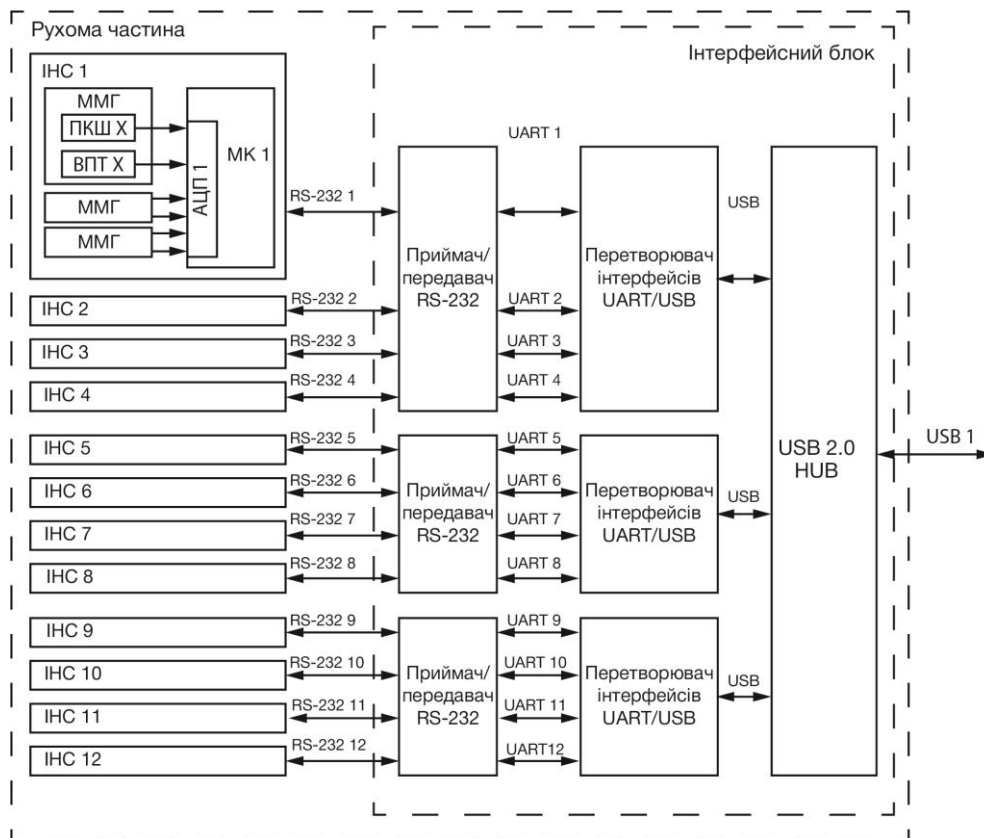


Рисунок 2. Структурна рухомої частини ІВС

У кожній ІНС є три ММГ з вбудованими ВПТ. Чутливі осі ММГ взаємно перпендикулярні. Напруга, пропорційна виміряній кутовій швидкості, поступає на АЦП мікроконтролера ІНС разом з напругою, пропорційною температурі ВПТ.

У кантувач може бути встановлено до 12 ІНС, таким чином під час процедури калібрування може відбуватися калібрування 36 ПКШ. Вихідні дані

мікроконтролера ІНС, які містять коди, що відповідають вимірній кутовій швидкості, передаються за допомогою інтерфейсу RS-232.

«Інтерфейсний блок» перетворює дані ІНС з 12 інтерфейсів RS-232 на дані, що передаються по одному кабелю інтерфейсу USB на ПК, де формують 12 віртуальних COM-портів. Мікросхеми приймача/передавача RS-232 призначені для перетворення чотирьох сигналів RS-232 у сигнали TTL UART, з якими працюють мікросхеми-перетворювачі інтерфейсів UART/USB. USB Hub об'єднує дані в один інформаційний потік. На ПК встановлені драйвери, що дозволяють «бачити» 12 віртуальних COM-портів, на кожний з них надходить інформація, ідентична надісланий з відповідних ІНС. Таке об'єднання каналів у один USB-канал дозволяє економно передати сигнали з рухомої частини через один струмоприймач на нерухому частину та підключитися до одного порту персонального комп'ютера (ПК) USB 1 версії 2.0. Розроблене програмне забезпечення (ПЗ) реалізує візуалізацію та зберігання даних ПКШ і ВПТ та алгоритм калібрування ПКШ.

Оскільки під час калібрування ПКШ повинні обертатися з постійною кутовою швидкістю, було розроблено систему допоміжних технічних засобів, що забезпечують рух рухомої частини. За допомогою розробленого ПЗ ПК експериментатор може керувати стендом: задавати швидкість обертання, починати та зупиняти рух. Розміщення рухомого блоку у термокамері дозволяє здійснювати калібрування на різних температурах для визначення коефіцієнтів температурної чутливості.

Команди з ПК через USB 2 надходять до електронного блоку. В електронному блоці USB/RS232 конвертер передає команду з ПК на вхід послідовного порту мікропроцесорного контролера (МК) TMS32F28335 фірми Texas Instruments [4]. Програма МК керує трифазним безколекторним сервомотором, який обертає закріплену на його валу платформу. Робота регулятора швидкості обертання здійснюється у перериваннях внутрішнього таймера МК, блок-схема переривань зображена на рисунку 3. Поворот валу контролюється за допомогою з'єданого з валом інкрементального енкодера [3]. Вбудований у МК модуль eQEP [5] перетворює імпульси, що надходять від енкодера, в код поточного кутового положення, а модуль eCAP [6] підраховує такти тактової частоти процесора між цими імпульсами для визначення миттєвої частоти обертання. Програма визначає різницю між визначеною за допомогою енкодера та заданою кутовими швидкостями, цю різницю використовує алгоритм цифрового пропорційно-інтегрального регулятора швидкості. Добутки вихідного коду регулятора на зсунуті по фазі на  $120^\circ$  синусоїди подаються на цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) – ЦАП1, ЦАП2, ЦАП3. Вихідні напруги ЦАП утворюють трифазну систему напруг, які надходять на відповідні підсилювачі потужності, а з їх виходів – по кабелю на трифазні обмотки двигуна.

Отже, розроблена ІВС дозволить забезпечити виробників та користувачів на стрімко зростаючому ринку ІНС обладнанням для їх калібрування.

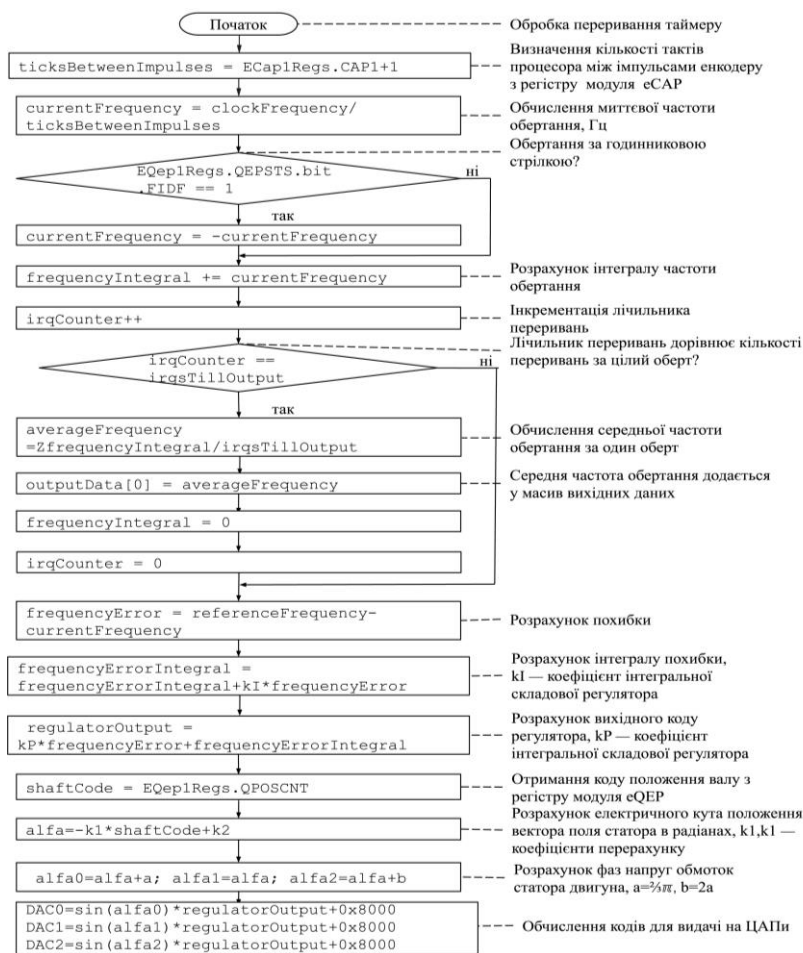


Рисунок 3. Блок-схема програми обробки переривання таймеру

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Inertial Navigation System (INS) Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2019-2024. – Режим доступу: <https://www.imarcgroup.com/inertial-navigation-system-market> – 23.11.2019 р.
- [2] Мелешко В.В., Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Учебное пособие / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко. – Кировоград: ПОЛИМЕД – Сервис, 2011. – 172 с.
- [3] Скрипковська М. Г. Програмне забезпечення системи стабілізації частоти обертання для стенду температурного калібрування гіроскопічних мікромеханічних перетворювачів кутової швидкості / М.Г. Скрипковська, М.В. Добролюбова // «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2019): збірник тез доповідей (ел.), 29 – 31 жовтня 2019 р., м. Вінниця: ВНТУ, 2019. – С. 100-101.
- [4] TMS320F2833x, TMS320F2823x Digital Signal Controllers (DSCs) // – Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f28234.pdf> – 14.10.2019
- [5] TMS320x2833x, 2823x Enhanced Capture (eCAP) Module Reference Guide // – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ug/sprufg4a/sprufg4a.pdf> – 23.11.2019
- [6] TMS320x2833x, 2823x Enhanced Quadrature Encoder Pulse (eQEP) Module Reference Guide // – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ug/sprug05a/sprug05a.pdf> – 23.11.2019

*Наук. Керівник – к. т. н., доц. Добролюбова М.В.*

**УДК 681.3.06**

*В.О. Смірнов, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

**Анотація.** У даній статті розглянуто особливості використання методу стиснених вимірювань (Compressive Sensing) в системах збору експериментальних даних для зменшення кількості вимірювань, необхідних для відновлення сигналу без суттєвої втрати корисної інформації. Наведено приклад застосування методу в бездротовій системі моніторингу фізіологічних показників людини.

**Ключові слова:** стиснені вимірювання, оптимізація, стиснення.

### **ВСТУП**

Сучасні промислові системи моніторингу та керування збільшуються у розмірах, потребують дедалі більше обчислювальних потужностей та пропускну здатності мереж передачі інформації.

Хоча сучасні обчислювальні пристрої та мережева інфраструктура дозволяють підтримувати постійне широкосмугове з'єднання та обробляти велику кількість даних, але продуктивність автономних пристроїв обмежується характеристиками елементів живлення. До того ж, автономні пристрої зазвичай використовують модулі бездротової передачі інформації, які споживають багато енергії.

Для автономних пристроїв важливими показниками є вага, ємність елементу живлення, час автономної роботи, споживання енергії. Ці показники пов'язані між собою – зменшення споживання енергії дозволяє використати менший елемент живлення, зменшити вагу та збільшити час автономної роботи. Альтернативний шлях – залишити існуючий елемент живлення. Це дозволяє збільшити час автономної роботи та зберегти існуючу вагу пристрою.

Одним із шляхів покращення одного з показників без впливу на інші є використання нових апаратних рішень, які з'являються в результаті досліджень, тестування, та процесу впровадження нової розробки. Інший шлях – покращення програмної частини продукту. Цей шлях має набагато менший цикл дослідження-розробки-впровадження, тому його доцільно обирати для оптимізації витрат.

### **ОГЛЯД**

Сучасні автономні пристрої здебільшого використовують стандартизовані модулі обробки та передачі інформації, і лише найбільші виробники можуть витрачати кошти на дослідження та розробку власних апаратних рішень. Ці модулі зазвичай є найбільш енерговитратною частиною і використовують більше енергії при більшій кількості обчислень за одиницю часу, тому бажаним є зменшення інтенсивності обчислень. Тому доцільним є оптимізація програмних алгоритмів, реалізованих у обчислювальному модулі.

Модулі бездротової передачі потребують більше енергії із збільшенням кількості та частоти передачі інформації. Очевидним рішенням для зменшення об'єму передаваної інформації є її стиснення перед відправкою.



Існуючі алгоритми стиснення потребують великої кількості обчислювальних операцій, що призводить до збільшення енерговитрат та зменшення часу автономної роботи.

В даній роботі пропонується використання методу стиснених вимірювань (Compressive Sensing, Compressed sensing) [1-3], що дозволяє зменшити обсяги обчислень та кількість переданої інформації в автономних вимірювальних пристроях, та демонструється ефективність використання даного методу на практиці.

## РІШЕННЯ

Стиснені вимірювання – метод зменшення кількості вимірювань, необхідних для відновлення сигналу без суттєвої втрати корисної інформації. Метод стиснених вимірювань полягає у використанні властивостей стискуваних сигналів, що мають розріджене представлення в певному базисі для кодування сигналу за допомогою відносно малої кількості вимірювань. Такий сигнал повинен мати невелике число коефіцієнтів перетворення (наприклад, коефіцієнтів перетворення Фур'є), які суттєво більші за інші коефіцієнти. Чим менше відношення кількості цих коефіцієнтів до кількості коефіцієнтів з малими значеннями, тим менша кількість вимірів необхідна для відновлення початкового сигналу. Найбільше обмеження – умова існування розрідженого представлення вимірюваного сигналу (стискуваність в деякому базисі). Іншими словами, даний алгоритм не може ефективно використовуватись для стиснення випадкових сигналів, які не відповідають цій умові (рис. 1).

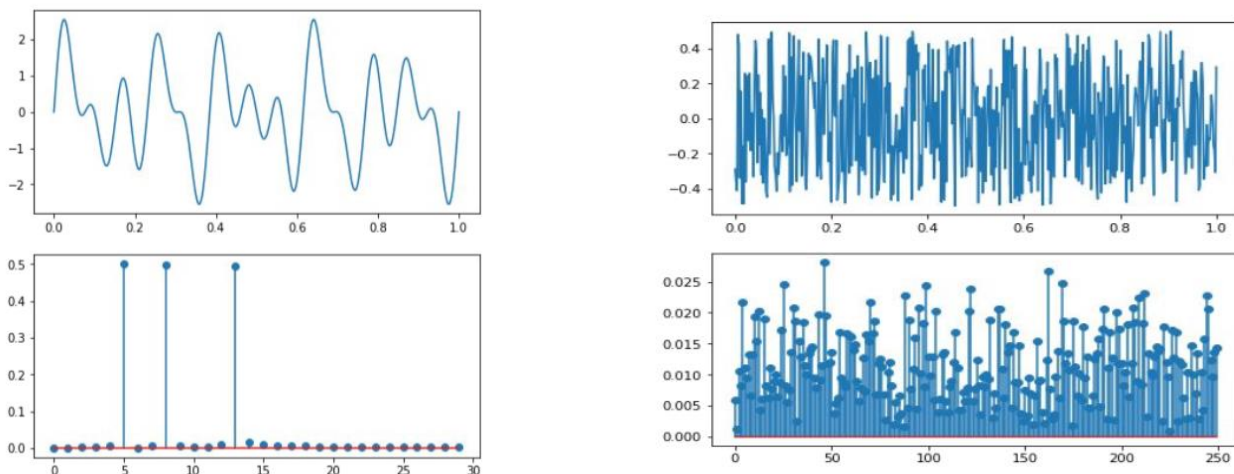


Рисунок 1. Приклад стиснутого та нестиснутого сигналу та їх відображення у частотній області

При використанні цього методу вимірювання виконуються в випадкові моменти часу та їх результати передаються на приймальний вузол. Для відновлення сигналу за допомогою методів лінійного програмування обчислюються коефіцієнти перетворення відліків вимірюваного сигналу в вибраному базисі. Базис вибирається так, щоб лише невелика кількість



коефіцієнтів перетворення мали великі значення відносно інших. Для відновлення вихідного сигналу виконується зворотнє перетворення.

Переваги стиснених вимірювань:

- зменшення обчислювальної потужності автономних пристроїв;
- більшість обчислювальних задач перекладається на приймальний вузол;
- сигнали стискаються до десятків разів;
- зменшуються вимоги до частоти дискретизації та кількості вимірювань.

Метод стиснених вимірювань був реалізований у системі моніторингу фізіологічних показників людини для бездротової передачі сигналу від датчика оптичного пульсометра до комп'ютерного пристрою. Це дозволило зменшити кількість вимірювань більш ніж у 5 разів та кількість переданої інформації більш ніж у 10 разів порівняно з класичним підходом. Частота дискретизації для класичного підходу була розрахована згідно до теореми Найквіста-Котельникова із збільшеною частотою дискретизації для виключення спотворень на граничних частотах. Частота вимірюваного сигналу знаходиться у діапазоні 0,5 Гц..5 Гц, частота дискретизації для класичного підходу була обрана 20 Гц. Для стиснених вимірювань було використано 30 вимірювань у часовому вікні тривалістю 5 секунд. Це дозволило забезпечити зменшення кількості відліків більш ніж у три рази у порівнянні з класичним підходом.

За необхідності вікно вимірювань може бути збільшене без значного збільшення кількості вимірювань, що зменшить частоту вимірювань але збільшить затримку між вимірюванням та відновленням сигналу. У застосуваннях, де затримка не впливає на роботу системи, доцільно збільшувати розмір вікна для вимірювань.

## **ВИСНОВОК**

Використання методу стиснених вимірювань в бездротових автономних системах вимірювань дозволило зменшити обчислювальні затрати та кількість інформації, що передається по каналам зв'язку. Це спростило реалізацію вимірювальної частини системи та збільшило час її роботи в автономному режимі.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Donoho, David L. Compressed sensing. *IEEE Transactions on information theory* 52.4 (2006), 1289-1306.
- [2] Blumensath, Thomas, and Mike E. Davies. Iterative hard thresholding for compressed sensing. *Applied and computational harmonic analysis* 27.3 (2009), 265-274.
- [3] Donoho, David L., Arian Maleki, and Andrea Montanari. *Message-passing algorithms for compressed sensing. Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.45 (2009), 18914-18919.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Богомазов С.А.*

## УДК 681.1

*О.В. Токаренко, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ JAVA-ФРЕЙМВОРКІВ**

*Анотація.* У статті проведений опис та аналіз доцільності використання Java-фреймворків в програмних системах збору та обробки експериментальних даних. Визначені основні переваги використання даного підходу та перспективи його застосування. Наведено приклад реалізації системи на основі фреймворків Spring та Hibernate сумісно з мережевим протоколом CoAP. Проведений аналіз буде корисним для оптимізації програмного забезпечення систем які виконують збір та обробку експериментальних даних.

**Ключові слова:** Java, фреймворк, збір та обробка даних, база даних.

#### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

В системах автоматизованих вимірювань, контролю, технічного моніторингу важливу роль відіграють процеси збору, зберігання та аналізу експериментальних даних від різноманітних джерел, а саме проводових і безпроводових вимірювальних і сенсорних засобів. При створенні таких систем виникає необхідність розробки програмного забезпечення для зберігання, отримання та обробки експериментальних даних. Для цього проведено аналіз існуючих рішень для автоматизації даних процесів за допомогою сучасних Java-фреймворків.

#### **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Бібліотеки-фреймворки надають розробнику деяку постійну частину програмного забезпечення, до якої необхідно додати код користувача. Користувацька частина вбудовується в програмне забезпечення фреймворку. Фреймворк визначає загальну архітектуру програмного продукту та реалізує взаємодію між його компонентами.

На рис.1 зображені основні шари програмного забезпечення типового Web-орієнтованого програмного додатку. У випадку Web-орієнтованих програмних систем збору та обробки даних, що реалізовані за допомогою мови програмування Java, є доцільним застосування сучасних фреймворків в проміжних шарах такої системи, а саме:

1. При передачі вимірювальних даних шляхом запитів до серверу.
2. При зберіганні та обробці вимірювальної інформації.

Саме на цих рівнях програмного забезпечення заміщення процесу ручної розробки програмного забезпечення розробкою з використанням фреймворків буде найбільш ефективним. На допомогу приходять сучасні бібліотеки-фреймворки, такі як Spring Framework, Hibernate, React. На даний момент це одні з найвідоміших представників інструментів для автоматизації створення та покращення роботи програмних систем що виконують збір, передачу, обробку та аналіз вимірювальних даних.

Spring Framework дозволяє суттєво спростити реалізацію Web-орієнтованих систем шляхом автоматизації базових процесів [1]. В його основі лежить реалізація принципу зменшення кількості залежностей між частинами програмної системи шляхом використання технології інжекції залежностей

(Dependency Injection). Згідно з принципом інверсії керування (Inversion of Control, IoC), ядро фреймворку самостійно створює об'єкти конкретних класів та передає посилання на них (інжектує) в залежні від відповідних абстракцій об'єкти. Тим самим зберігається залежність лише від абстракцій, а не від конкретних класів, що значно спрощує модифікацію системи.

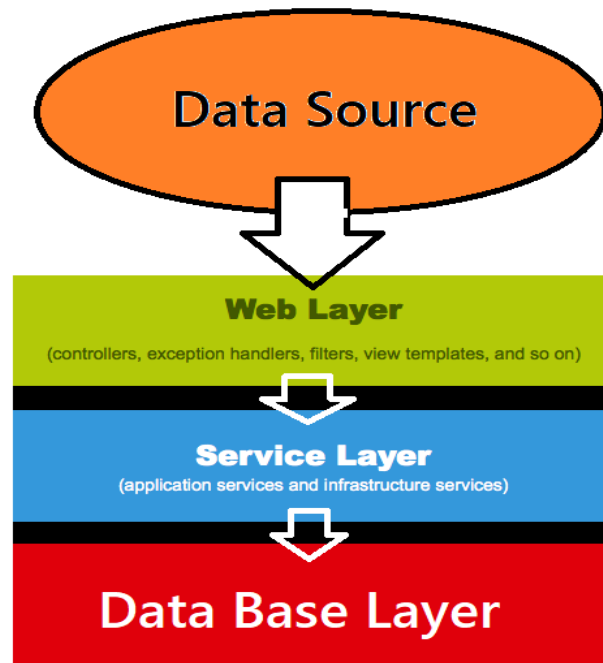


Рисунок 1. Шари типового Web-додатку для збору та обробки даних

За допомогою анотацій або конфігураційних файлів фреймворк Spring дозволяє співставити URI відправленого на сервер запиту відповідному контролеру для обробки та формування відповіді. Цей фреймворк дозволяє пришвидшити створення Web-орієнтованих програмних систем з архітектурою MVC (Model-View-Controller) та зменшує вимоги до кваліфікації розробників програмного забезпечення. Якщо необхідна модифікація системи для певних користувацьких завдань, Spring дозволяє легко вносити корективи в конфігурацію системи.

Важливою частиною системи збору та обробки експериментальних даних є збереження отриманої інформації в базі даних. Найбільш поширеним рішенням, яке дозволяє зменшити час на проектування та розробку шару зберігання даних є використання ORM-фреймворків. ORM – це Object Relationship Mapping, тобто співставлення об'єктних відношень з реляційними таблицями баз даних.

Одним з представників таких фреймворків є Hibernate [2]. Основним завданням цього фреймворку є автоматичне перетворення об'єктів, що використовуються в об'єктно-орієнтованій програмі в записи бази даних. Це дозволяє скоротити час розробки програмного забезпечення та пришвидшити процес зберігання та отримання інформації. Порівняно з ручною реалізацією за допомогою драйвера JDBC операцій CRUD (Create, Read, Update, Delete), даний фреймворк дозволяє перейти від низькорівневого програмування до високорівневого, використовуючи вже готові рішення для CRUD операцій. Для

цього розробнику достатньо лише сконфігурувати цей процес шляхом використання конфігураційних XML-файлів або анотацій. Анотації використовуються безпосередньо в класах, які описують структуру об'єктів, що створюються на базі інформації, отриманої з зовнішніх систем. Клієнти при цьому який можуть бути реалізовані як на основі персональних комп'ютерів або мобільних пристроїв, так і на основі інтелектуальних мережевих сенсорів, що надсилають потік вимірювальних даних. Для оптимізації роботи фреймворк Hibernate використовує кешування, скорочуючи часові витрати на обробку запитів.

На базі фреймворків Spring та Hibernate розроблено програмне забезпечення серверної частини демонстраційної Інтернет-системи збору експериментальних даних. За допомогою датчика DHT11, що підключений до одноплатного комп'ютера RaspberryPi, вимірюється температура та вологість в приміщенні для моніторингу його кліматичних параметрів. Для передачі результатів вимірювань через мережу Інтернет до серверної частини системи використано прикладний мережевий протокол CoAP (Constrained Application Protocol), що призначений для обміну інформацією для пристроїв з обмеженими ресурсами [3]. Це дозволило забезпечити передачу повідомлень малого розміру та зменшити енерговитрати автономних частин системи. Протокол CoAP відповідає структурі REST (Representational State Transfer) та забезпечує логічну сумісність запитів з запитами протоколу HTTP при значно меншій кількості службової інформації [4]. Технологія REST-сервісів підтримується сучасними версіями фреймворку Spring. Серверна частина системи за допомогою CoAP-проксі перетворює запити CoAP в запити HTTP, які обробляються серверним програмним забезпеченням.

## **ВИСНОВОК**

Таким чином, використання сучасних Java-фреймворків дозволило оптимізувати процес розробки програмного забезпечення системи збору даних та полегшити внесення змін до програмного забезпечення системи. При цьому кожний елемент системи може бути модифікований незалежно від інших частин. Використання спеціалізованого прикладного протоколу CoAP дозволило зменшити мережевий трафік та збільшити час робочого циклу автономних мережевих вимірювальних пристроїв.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Spring Framework . – Режим доступу: <https://spring.io> – 21.11.2019 р.
- [2] Hibernate ORM. – Режим доступу: <https://hibernate.org/> – 21.11.2019 р.
- [3] Гойхман В. Аналитический обзор протоколов Интернета вещей / В. Гойхман, А. Савельева // Технологии и средства связи. – 2016. – № 4. – С. 32–37.
- [4] ITU-T/ The Constrained Application Protocol (CoAP) / RFC 7252 – Proposed Standard. 2014.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Богомазов С.А.*

УДК 621.317

Є.Л. Шилін, студент гр. ВА-81МП, к.т.н. доцент Стаценко О.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** У даній статті пропонується підхід до побудови та загальна структура лабораторного стенду для дослідження роботи програмованих інформаційно-вимірювальних систем з мікроконтролерами. Запропонований підхід дозволяє гнучко формувати структуру інформаційно-вимірювальної системи, здійснювати її налаштування та програмування.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, модульна структура, інформаційно-вимірювальна система.

### ВСТУП

Застосування і розвиток вимірювальної техніки обумовлені потребами практично всіх сфер людської діяльності. Забезпечення контролю та вимірювання різноманітних параметрів є невід'ємною частиною будь-якого технологічного процесу.

Для вирішення задач контролю, діагностики, визначення фізичних станів та багатьох інших задач використовують різні спеціалізовані програмовані інформаційно-вимірювальні пристрої та системи [1].

Через стрімкий розвиток інформаційної техніки та технологій спостерігається також і деяка зміна у підходах до побудови сучасних ІВС. Серед основних напрямків слід виділити перехід від аналогової електроніки до цифрової, широке застосування мікропроцесорної та комп'ютерної техніки, використання інформаційних технологій в процесі вимірювання та обробки отриманих даних. Такі зміни у підходах до побудови вимірювальної техніки формують нові вимоги до спеціалістів-розробників цієї техніки, що в свою чергу обумовлює зміни у підготовці вказаних фахівців.

При підготовці спеціалістів бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка” необхідним є набуття здобувачами вищої освіти фахових компетентностей [2], серед яких слід виділити наступні:

- здатність проектувати засоби інформаційно-вимірювальної техніки та описувати принцип їх роботи;
- здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки.

Крім того, вказаним компетентностям мають відповідати результати навчання, серед яких слід відзначити:

- вміти використовувати інформаційні технології при розробці програмного забезпечення для опрацювання вимірювальної інформації;
- вміти пояснити та описати принципи побудови обчислювальних підсистем і модулів, що використовуються при вирішенні вимірювальних задач.

Для набуття вказаних компетентностей та результатів навчання необхідно

забезпечити проведення курсу лабораторних робіт, що передбачають створення, налаштування та дослідження різноманітних вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальних систем.

### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ

На даний момент існують різні види лабораторних стендів, які в тій, чи іншій мірі надають змогу отримувати здобувачами вищої освіти навички у побудові та дослідженні окремих складових інформаційно-вимірювальних систем. Прикладом такого стенду може бути «Навчально-налагоджувальний стенд ST841/ПЛІС (V4.1)» [3]. Недоліком таких стендів є їх висока вартість, обмежена кількість систем, що можуть бути досліджені та неможливість здійснювати гнучке налаштування системи.

Окрема увага приділяється створенню та використанню так званих віртуальних лабораторних стендів, що являють собою певне програмне забезпечення, яке симулює різні фізичні процеси і надає можливість студентам в досить невеликій мірі взаємодіяти з ними. Приклади таких стендів наведені в [4, 5]. Недоліками такого підходу є певна спрощеність побудованої системи, а, відповідно, неможливість її всебічного дослідження.

Тому, метою даної статті є визначення структури лабораторного стенду, що дозволить забезпечити можливість побудови, налаштування та дослідження різноманітних інформаційно-вимірювальних систем.

### РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Основною направленістю при розробці структури лабораторного стенду для дослідження роботи програмованих інформаційно-вимірювальних систем є модульність. Такий напрям було обрано з розрахунку на якомога більшу варіативність у розробці лабораторних робіт, які можна буде виконати, використовуючи дану систему.

В зв'язку з цим пропонується використовувати структура лабораторного стенду (рис.1), яка складається з наступних модулів:

1. Процесорний модуль
2. Вимірювальні модулі (вимірювальний датчик та вторинний перетворювач)
3. Модуль індикації
4. Модуль з'єднань

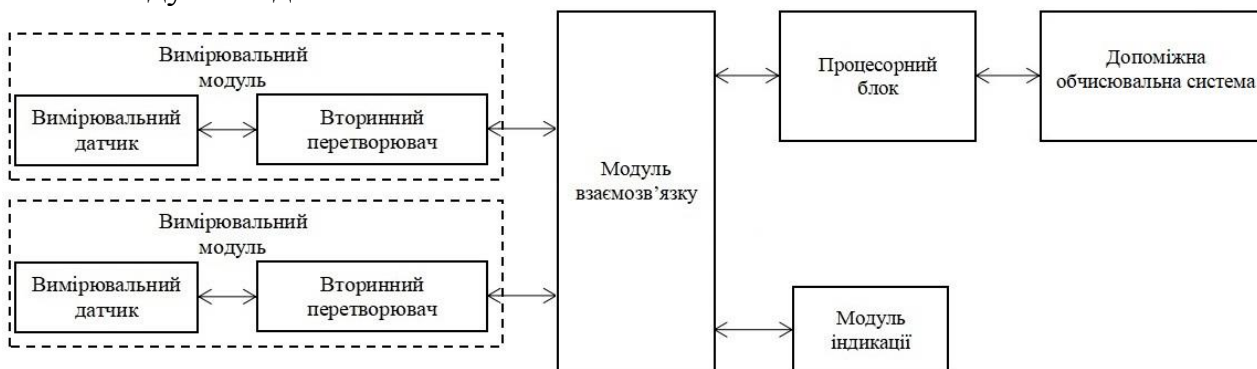


Рисунок 1. Узагальнена структурна схема лабораторного стенду

В якості вимірювальних модулів передбачається використання готових вимірювальних датчиків з аналоговим та цифровим вихідним сигналом. Деякі з цих датчиків випускаються у вигляді готових модулів, що вміщують, як сам датчик, так і вторинний перетворювач. Інші датчики передбачаються використання окремих схем вторинних перетворювачів. Тому надалі розглядати будемо вимірювальні датчики та вторинні перетворювачі саме як вимірювальні модулі. До них можна віднести модулі вимірювання як електричних так і неелектричних величин.

В якості процесорного модуля доцільно використати мікроконтролерні ознайомлювальні плати, наприклад, плати серії Arduino, на яких встановлено 8-бітний мікроконтролер Atmega328. Даний процесорний модуль може бути підключений до персонального комп'ютера, що забезпечує гнучкість налаштування та програмування.

Для відображення вимірюваної інформації використовується модуль індикації, в якості якого доцільно використати рідкокристалічний індикатор з контролером HD44780. Такі індикатори набули широкого застосування у різноманітних приладах та є доволі дешевим рішенням.

За допомогою модуля з'єднань здійснюється обмін даними між всіма іншими складовими системи. Цей модуль представляє собою друковану плату з розміщеними на ній відповідними виводами. Крім того, за допомогою цього модуля може бути організований зв'язок між декількома такими системами.

## **ВИСНОВКИ**

Запропонована структура стенда для дослідження інформаційно-вимірювальних систем надає змогу здійснювати налаштування та програмування систем різної конфігурації, що в свою чергу дозволить забезпечити набуття необхідних компетентностей здобувачам вищої освіти.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Раннев Г.Г. Измерительные информационные системы / Г.Г. Раннев. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 336 с.
- [2] Стандарт вищої освіти за спеціальністю 152«Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки України від 19 листопада 2018 р. № 1263 [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/152-metrologiya-ta-informatsiyno-vimiryuvalna-tehnika-bakalavr.pdf>
- [3] Паламар М.І., Чайковський А.В., Пастернак Ю.В., Стрембіцький М.О. Паламар А.М. Проектування пристроїв і вузлів інформаційно-вимірювальних систем та створення програмного забезпечення на базі навчально-налагоджувального стенда. Методичні вказівки до лабораторних і практичних робіт з дисциплін «Проектування інформаційно-вимірювальних

систем», «Мікропроцесори і ЕОМ», «Проектування приладів і систем на основі мікроконтролерів». – Тернопіль: ТНТУ, 2014. – 76 с.

- [4] Виртуальный лабораторный стенд "Информационно измерительная техника" / ООО НПП «Учтех-Профи». Режим доступа: [http://labstand.ru/catalog/virtualnye\\_stendy\\_po\\_informatsionno\\_izmeritelnoy\\_tekhnike/virtualnyu-laboratornyu-stend-informatsionno-izmeritelnaya-tekhnika](http://labstand.ru/catalog/virtualnye_stendy_po_informatsionno_izmeritelnoy_tekhnike/virtualnyu-laboratornyu-stend-informatsionno-izmeritelnaya-tekhnika).
- [5] Прудка О.В. Створення віртуальних стендів для дистанційного курсу «Методи вимірювання фізичних величин»: нові технології // Науковий вісник КУЕІТУ. – К.: КУЕІТУ, 2007. – № 1 – 2 (15 – 16). – С. 222-225.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Стаценко О.В.*



УДК 616-001.17

Ю.В. Штефура, аспірант, д.т.н., проф. Хімичева Г.І.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПРОГНОЗУВАННЯ ГЛИБИНИ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Анотація.** Розглянуто проблему діагностики глибини термічного ураження біологічних тканин. Показано, що використовувані клінічні та інструментальні методи не завжди забезпечують отримання адекватних результатів. Запропоновано при відомих параметрах термічного ураження використовувати прогнозування на основі моделі теплопереносу в багатошаровому середовищі.

**Ключові слова:** термічне ураження, глибина, прогнозування, теплоперенос, розподіл температур.

### ВСТУП

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я в світовій практиці термічні ураження посідають третє місце серед інших травм. В промислово розвинених країнах на долю опікових уражень припадає більше 10% серед усіх випадків промислового травматизму [1].

Особливістю протікання опікової хвороби є те, що несвоєчасна або неправильна медична допомога, викликана помилковою діагностикою ступеня опіку, в більшості випадків призводить до ускладнення стану потерпілого. Обумовлено це тим, що нагрівання під дією зовнішнього термічного впливу до температури більше 45°C викликає незворотні зміни у структурі біологічної тканини, що приводить до її загибелі (коагуляційний некроз). Глибина некротичних змін залежить від багатьох факторів, серед яких температура теплоносія, час експлікації, властивості шкіряного покриву та ін. Через 6...8 годин після загибелі тканин виникає так званий вторинний некроз, обумовлений тим, що під дією шкідливих речовин, які виділяються загиблими шарами тканини, гинуть прилеглі до них шари здорової, або здатної до самовідновлення тканини. Своєчасне видалення загиблих шарів тканини дозволяє суттєво прискорити одужання постраждалих. В той же час, хірургічне втручання при неправильному діагнозі призводить до травмування живої тканини і погіршує стан постраждалого.

Тому одним з головних факторів, що значною мірою визначає стратегію лікуванню постраждалих від опіків, є своєчасна діагностика глибини ураження.

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ГЛИБИНИ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ

Для діагностики глибини термічних уражень найчастіше використовують три види клінічних симптомів, серед яких ознаки омертвіння тканини, ознаки порушення кровообігу та стан больової чутливості.

Методами візуального клінічного обстеження можна діагностувати глибокі опіки. Однак, за загальною думкою багатьох авторів, достеменно визначити межі глибокого ураження при клінічному обстеженні неможливо [2].

В медичній практиці часто застосовують так звані фізикальні методи діагностики. Це натискання пінцетом на дерму, з наступним спостереженням за реакцією шкіри, нанесення уколів голкою, висмикування волосків, торкання поверхні рани марлевими кульками, змоченими спиртом та ін.

Використання даних методів в більшості випадків виявляється достатнім для того, щоб визначити глибину ураження в конкретній точці шкірного покрову, але при великій площі опіку вони малоефективні. Крім того, необхідно враховувати рівень свідомості хворого і можливість зниження рівня чутливості в результаті застосування знеболюючих препаратів.

Для уникнення суб'єктивного фактору доцільно використовувати інструментальні методи оцінки глибини термічного ураження. Такі методи поділяють на контактні та безконтактні.

При контактних методах окрім механічного контакту з ураженою тканиною, на неї впливають фізико-хімічними реагентами, такими як барвники або радіоактивні ізотопи, які вводять в кров'яне русло з наступним спостереженням за реакцією тканини. Але, широкого використання в медичній практиці в силу ряду причин такі методи не знайшли.

До безконтактних інструментальних методів відносять методи лазерної та ультразвукової доплерівської флоуметрії, рентгенографічні та термографічні методи, методи мікрохвильової радіометрії. Загальною рисою перерахованих методів є використання складного обладнання, не орієнованого на діагностику термічних уражень. Це приводить до низької ефективності їх використання [3].

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про необхідність створення спеціалізованих засобів для діагностики глибини термічних ушкоджень. В той же час слід зазначити, що в багатьох випадках, коли відомі обставини отримання термічного ураження (вид теплоносія, час дії та ін.), глибину термічного ураження можна прогнозувати на основі рішення класичної задачі теплопровідності.

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ТЕРМІЧНОМУ УРАЖЕННІ**

Існуючі у світовій практиці методики прогнозування теплового ураження біологічних тканин [4] орієнтовані на статичний нагрів та використовують для розрахунків два критерія – пороговий імпульс та критичну температуру. Найбільше розповсюдження отримали методи прогнозування ймовірностей на основі встановлення кількісної залежності між отриманою дозою теплового впливу та ефектом. В якості критерія дози при цьому використовують логарифм індексу опромінення, а в якості ефекту – ураження різного ступеня важкості. Але такий підхід не завжди дозволяє врахувати особливості реальних умов отримання термічного ураження.

Відомо, що визначальним механізмом перенесення тепла в біологічних тканинах є теплопровідність. Відомо також, що біологічні тканини мають складну багатшарову структуру, яка без урахування розвиненої мережі кровоносних судин та капілярів представляється послідовно розташованими шарами епідермісу, дерми, жирової та м'язової тканин. Ці шари мають різні фізичні властивості, які необхідно враховувати при моделюванні розподілу температур. В таблиці 1 наведені деякі фізичні властивості біологічних тканин людини [5].

Таблиця 1. фізичні властивості біологічних тканин

№ п/п	Біотканина людини	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Теплоємність, Дж/(кг·град)	Теплопровідність, Вт/(м·град)
1	Епідермис	1200...1600	3600...3700	0,21...0,27
2	Дерма	1000...1200	3200...3800	0,45...0,53
3	Жирова тканина	850...917	2250...2300	0,2
4	М'які тканини та м'язи	1100...1250	3360	0,5

З наведених в таблиці даних видно, що теплопровідність різних шарів відрізняється більше, ніж у 2 рази. Це обумовлює різну швидкість нагріву різних шарів і потребує урахування при побудові моделі розподілу температури. Крім того, найчастіше термічні ураження відбуваються при наявності одягу на тілі людини. Це вносить додаткові специфічні особливості теплопереносу і теж потребує урахування.

Для вирішення задачі побудови моделі просторового розподілу температур при термічному впливі представимо значення температури у вигляді

$$T = f(x, y, z, t), \quad (1)$$

де  $x, y, z$  - просторові координати;  $t$  - часова координата.

Диференціальне рівняння теплопровідності, що зв'язує просторовий розподіл температури з часовою координатою, представляється у вигляді:

$$\lambda_T \nabla^2 T + q_V = c_T \rho \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$

де  $\lambda_T$  - коефіцієнт теплопровідності;  $\nabla^2$  - оператор Лапласа;  $T$  - температура;  $q_V$  - потужність, що виділяється одиницею об'єму;  $c_T$  - питома теплоємність;  $\rho$  - щільність.

При стаціонарному тепловому полі

$$\lambda_T \nabla^2 T + q_V = 0. \quad (3)$$

Для одношарової структури рівняння (3) можна представити у вигляді:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{q_V}{\lambda_T} = 0. \quad (4)$$

У випадку багатошарової структури, якою виступає біологічний об'єкт, рівняння (4) вирішується окремо для кожного шару:

$$\frac{d^2 T_i}{dx^2} + \frac{q_{V_i}(x)}{\lambda_{T_i}} = 0. \quad (5)$$

Для прикладу, знайдемо рішення рівняння теплопровідності для двошарової моделі. Припустимо, що перший шар має товщину  $d_1$ , а товщина другого -  $d_2$ . Тоді, після подвійного інтегрування для першого шару в інтервалі координати  $x$  від 0 до  $d_1$  з рівняння (5) отримаємо:

$$T_1(x) = -\frac{q_{V_1}(x)}{2\lambda_{T_1}} x^2 + C_1 x + C_2, \quad (6)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  - постійні інтегрування в межах першого шару біологічної тканини.

Відповідно, для другого шару координати  $x$  від  $d_1$  до  $d_2$  з рівняння (5) отримаємо:

$$T_2(x) = -\frac{q_{v_2}(x)}{2\lambda_{T_2}}(x-d_1)^2 + C_3(x-d_1) + C_4, \quad (7)$$

де  $C_3$  та  $C_4$  - постійні інтегрування в межах другого шару біологічної тканини.

Аналогічно можна сформулювати вирази для наступних шарів біологічної тканини.

Задаючи граничні умови першого, другого і третього роду знаходимо постійні інтегрування  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  та  $C_4$ .

Підставляючи їх значення у вирази (6), (7) за допомогою, наприклад, пакету MathCAD проводиться розрахунок розподілу температурного поля по шарах біологічної тканини.

## ВИСНОВКИ

Проведений аналіз стану проблеми діагностики глибини термічних уражень показав, що в ряді випадків, при відомих параметрах отримання термічного ураження, доцільно використовувати модельні методи прогнозування глибини ураження тканини. В результаті досліджень отримана модель розподілу теплового поля при термічному впливі на біологічну тканину, яка дозволяє прогнозувати глибину термічного ураження біологічної тканини.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Колкутин В.В. Оценка тяжести вреда здоровью при ожоговых поражениях. В.В. Колкутин, С.Г. Шаповалов, И.А. Толмачев и соавт. / Воен.-мед. журн. – 2009. – № 3. – С. 20.
- [2] Термічні ураження: Посіб. для студ. вищ. мед. закл. IV рівня акредитації / В. В. Бігуняк, М. Ю. Повстяний. - Т. : Укрмедкнига, 2004. - 196 с.
- [3] Загиров, М.Х. Сравнительная характеристика частоты диагностических ошибок при определении площади и глубины термических поражений на догоспитальном этапе и при их клиническом обследовании / М.Х. Загиров, В.А. Соколов // Актуальные проблемы термической травмы: Материалы международной конференции, посвященной 60-летию ожогового центра НИИ скорой медицинской помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, 20 – 22 июня 2006 г.- СПб., 2006. – С. 54.
- [4] ISO 17492:2003. Clothing for Protection Against Heat and Flame— Determination of Heat Transmission on Exposure to Both Flame and Radiant Heat.—Geneva : ISO Copyright Office, 2003.—19 p.
- [5] Пушкарева А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. — 103 с..

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

УДК 629.324

О. І. Яценко, студентка гр. ВА-81мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОВІРКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ

**Анотація.** Аналізуються причини необхідності використання бездемонтажної повірки датчиків. Розглядаються та порівнюються існуючі способи та пристрої бездемонтажної *повірки* термоелектричних перетворювачів. Визначаються основні недоліки існуючих пристроїв та причини їх виникнення, через які, точність бездемонтажної повірки термоелектричних перетворювачів залишається низькою. Сформульовано вимоги до створення автоматизованої системи, що дозволить підвищити вірогідність виконання перевірки перетворювачів температури безпосередньо на об'єкті контролю.

**Ключові слова:** терморезистивний перетворювач, пристрій, бездемонтажна повірка, датчик.

### ВСТУП

Для того щоб вирішувати різноманітні завдання пов'язані з вимірюванням, необхідно: створення та освоєння у виробництві нової вискоефективної техніки, підвищення технічного рівня обчислювальної техніки, приладів та засобів автоматизації на основі нових досягнень техніки.

З часом, все більш автоматизовані методи та засоби контролю точності, використовуються на виробництвах для зручності та ефективності. Більшість засобів вимірювання температури, які використовуються у виробництві, не достатньо універсальні та зручні, що в значній мірі обмежує можливості та ефективність вимірювального контролю параметрів систем. Невідповідність температури вимогам приводить до значних похибок. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки приладів вимірювання температури з високою точністю вимірювань [1].

На даний момент, традиційним методом проведення повірки датчиків є їх демонтаж з об'єкту та перевірка в лабораторних умовах. Але демонтаж датчика порушує умови його роботи та може змінювати похибку, а також, датчики не завжди розташовані у доступному для людини місці або через вплив температури, радіації або інших факторів вилучити елемент для повірки неможливо [2].

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Відомо багато різноманітних способів повірки термоелектричних перетворювачів безпосередньо на контрольованому об'єкті без демонтажу і подальших лабораторних досліджень.

Розглянемо різні методи та пристрої, які використовували впродовж останніх років для повірки термоелектричних перетворювачів без демонтажу.

Наприклад, одним з перших запропонованих пристроїв бездемонтажної повірки термоелектричних перетворювачів, був пристрій, з вбудованим калібратором. Калібратором, у даному пристрої, виступає зразкова речовина з відомою температурою плавлення. Зазвичай, у ролі зразкової речовини застосовуються чисті метали. Але для того щоб використати встановлений калібратор необхідно температуру об'єкта, на якому він розташований, довести до температури плавлення зразкової речовини. Але недоліком даного пристрою

є те, що на об'єкті з заданим температурним режимом, виконати даний метод надзвичайно складно.

Пізніше було запропоновано інший спосіб бездемонтажної повірки. Для його реалізації використовують два однотипних термоелектричних перетворювача, що з'єднані зустрічно-послідовно. Той, що повіряється, знаходиться на об'єкті, другий розміщується в термостаті. Зміною температури термостату вирівнюють їх температури, після чого пропускають імпульс струму через електроди перетворювачів. При цьому вимірюють приріст термоЕРС на контрольованому перетворювачі і на всьому послідовному ланцюгу. Похибка визначається  $\Delta T$  за формулою (1):

$$\Delta T = T_K \left( \frac{\Delta E_K}{\Delta E_K - \Delta E} - 1 \right) \quad (1)$$

$T_K$  – значення температури термоелектричного перетворювача;

$\Delta E_K$  і  $\Delta E$  – значення термоЕРС термоелектричного перетворювача;

Однак, неможливо підібрати два однотипні перетворювачі з однаковими характеристиками. Також, на об'єкті встановлено перетворювачі, які додатково підігріваються та мають відмінності в умовах теплообміну.

Також, було запропоновано спосіб бездемонтажної повірки термоелектричного перетворювача температури, за вторинним приладом, завдяки якому здійснюються послідовні вимірювання температури. На задану величину змінювалась температура вільних кінців термоелектричного перетворювача, а також відбувалося змушене охолодження робочого кінця.

Але нелінійність реальних характеристик перетворювачів, не дозволяє однаково, на задану величину, змінювати температуру вільних кінців та показання на термометрі. Також в даному способі застосовується потік повітря для охолодження робочого кінця, але його температура є непостійною, тож, важко контролювати зміну температури повітря при змінній температурі робочого кінця. Тому невисокою залишається точність дистанційної повірки.

Також, було винайдено спосіб бездемонтажної повірки, при якому порівнюються дійсні значення температури з показами шкали термометра. Дійсне значення температури задається пропусканням електричного струму. Встановлюються покази, що відповідають температурі  $T_1$  об'єкта, після чого значення струму охолодження вибирається пропорційним значенню струму нагрівання. Фіксуються покази  $T_2$  термометра, потім збільшується струм охолодження робочого спаю, через те що збільшується струм нагрівання. Фіксується покази  $T_3$  термометра, потім перестає пропускатися постійний струм і фіксується показ  $T_4$  термометра. Похибка  $\Delta T$  визначають за формулою (2):

$$\Delta T = T_1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_4 - T_3) - (T_1 - T_2)} \cdot \frac{\Pi p I_1}{2\lambda} \quad (2)$$

де  $I_1$  – струм, який створює температуру у  $T_1$ ;

$\Pi$  – коефіцієнт Пельт'є для матеріалу з якого виготовлений робочий спай;

$p$  – коефіцієнт пропорційності між струмом нагрівача та струмом охолодження;

$\lambda$  – теплопровідність робочого спаю;

Більш детально зупинимося на двох останніх винаходах [3] та [4].

Спосіб бездемонтажної перевірки, при якому на його вільних кінцях вимірюється термоЕРС. В даному способі пропускається постійний струм через електроди і робочий кінець. Струм пропускається в напрямку, при якому він охолоджується, а також, спосіб передбачає зміну напрямку його пропускання та перегрів робочого кінця відносно об'єкта на якому він розташований. У формулі для вирахування похибки термоелектричного перетворювача, враховується отримане значення термоЕРС. В свою чергу термоЕРС отримується в даному методі, завдяки різниці температур при змушеному охолодженні та нагріві робочого кінця. Похибка термоелектричного перетворювача  $\Delta T$  визначають за формулою (3):

$$\Delta T = T'_x - \frac{(E_3'' - E_2'') * (E_2' + E_3' - 2E_1')^2}{(E_3' - E_2') * (E_2'' + E_3'' - 2E_1'')} * T_H \quad (3)$$

де  $T'_x$  - температура об'єкта в процесі перевірки;

$T_H$  - початкова температура об'єкту;

$E_1', E_2'$  и  $E_3'$  - термоЕРС при початковій температурі об'єкта  $T_H$  [3].

Останнім дослідженням цього питання є спосіб бездемонтажної перевірки термоелектричного перетворювача температури. Як і в попередньому дослідженні вимірюється термоЕРС на його вільних кінцях.

Від попередніх способів відрізняється тим, що після охолодження робочого кінця збільшують постійний струм. Після переривання вимірюється збільшена термоЕРС і зі збільшенням постійного струму термоЕРС знову доводяться до початкового значення. При цьому термоЕРС фіксується при протіканні постійного струму та рівність термоЕРС якщо струм відсутній. Після вимірювань вираховується похибка датчика. Похибка  $\Delta T$  визначають за формулою (4):

$$\Delta T = T_p - \frac{\beta(E_T - E)}{\beta(E_T - E) - E} * T_0 \quad (4)$$

де  $T_p$  - температура робочого кінця перетворювача температури;

$E_T$  і  $E$  - термоЕРС на вільних кінцях;

$\beta$  - частковий коефіцієнт;

$T_0$  - температура вільних кінців перетворювача температури.

На відмінно від представлених способів цей відрізняється ще тим, що переривання постійного струму здійснюють періодично з визначеною частотою  $F$ , яка береться з умови (5):

$$\frac{10}{\tau_d} < F < \frac{1}{3\tau_n} \quad (5)$$

де  $\tau_d$  - теплова постійна часу по теплоті Джоуля;

$\tau_n$  - теплова постійна часу по теплоті Пельт'є [4].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений аналіз існуючих методів бездемонтажної перевірки показує, що відомі способи та пристрої мають ряд недоліків, серед яких:

- Оцінити похибку термоелектричного перетворювача все ще складно.

Через те що важко порівняти термоЕРС перетворювача встановленого на об'єкті, яка отримана в різний час, при змінах умови теплообміну робочого кінця, при зносі та старінні робочого кінця та електродів.

- Складно довести температуру об'єкта до температури плавлення зразкової речовини, яка встановлена на об'єкті.
- Неможливо підібрати два однотипні перетворювачі з однаковими характеристиками.
- Деякі способи мають низьку точність визначення похибок термоелектричних перетворювачів через те що фіксують наростаючу термоЕРС
- Необхідність вимірювання наростаючої термоЕРС робочих спаїв, затримка у ввімкненні вимірювача термоЕРС, нелінійність реальних характеристик перетворювачів, недосконалість методів охолодження робочих кінців, недосконалість система контролю зміни температури.

## **ВИСНОВКИ**

Через ряд недоліків, точність бездемонтажної повірки термоелектричних перетворювачів відомими пристроями залишається низькою.

Тож є необхідність у поліпшенні методу, що зменшить вплив різноманітних факторів та збільшить точність визначення похибок та сприятиме підвищенню точності періодичної повірки датчика.

Таким чином, необхідно розробити новий метод та пристрій достатньо простий для реалізації в автоматичній системі регулювання параметрів, підвищити точність та надійність визначення похибок датчиків в процесі експлуатації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Баранов, В.Я. Промышленные приборы и средства автоматизации: справочник / В.Я.Баранов, Т.Х.Безновская, В.А.Бек и др., п/р В.В.Черненко. Л., Машиностроение, Ленинградское отделение, 1987, с.817-819.
- [2] Цапенко М.П., Измерительные информационные системы: Учебное пособие для вузов / М.П.Цапенко — 2-е. изд. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 438 с.
- [3] Патент 38066 А, МПК G01K15/00. Спосіб бездемонтажної повірки термоелектричних перетворювачів і пристрій для його здійснення / Скрипник Ю. О., Дубровний А.В., Ляховецький О.В. ; заявник Київський державний університет технологій та дизайну. - № 2000052973 ; заявл. 24.05.2000 ; опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001р.
- [4] Патент 84054 U, МПК G01K15/00. Спосіб бездемонтажної повірки термоелектричного перетворювача температури / Скрипник Ю. О., Каламеєць Т. П., Лукашевич В. А. ; заявник Київський національний університет технологій та дизайну. - № u 2013 04215 ; заявл. 04.04.2013 ; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19, 2013р. [0]

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Шевченко К.Л.*