

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод тактильного зворотного зв'язку для підвищення ефективності
роботизованої хірургії

Виконав: студент II курсу, групи РБм-61

спеціальності 163 Біомедична інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Жарський Н.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тимків П. О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Яворська Є.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра біотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Яворська Є.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«11» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 163 Біомедична інженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Жарському Назарію Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод тактильного зворотного зв'язку для підвищення ефективності
роботизованої хірургії

Керівник роботи Тимків Павло Олександрович, к.т.н., ст..викладач кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » листопада 2024 року № 4/7-1082

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи : Об'єкт дослідження: процес аналізу тактильних відчуттів
у роботизованих системах хірургії. Предмет дослідження: реалізація тактильного відчуття
на основі п'єзодавачів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 2. МЕТОД ТА СТВОРЕННЯ ТАКТИЛЬНИХ ВІДЧУТТІВ У РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЇ ТАКТИЛЬНИХ ВІДЧУТТІВ НА ОСНОВІ П'ЄЗОДАВАЧІВ

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність роботи

2. Способи створення тактильних відчуттів

3. Математична модель імітації тактильного відчуття

4. Реалізація імітації тактильних відчуттів на основі п'єзодавачів

5. Результати дослідження

6. Макет для створення тактильних відчуттів у роботизованій хірургії

7. Наукова новизна

8. Загальні висновки

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та	Окіпний І.Б., зав. каф. МТ		
безпека в надзвичайних	Клепчик В.М., ст. викл. каф. ОХ		
ситуаціях			

[illegible]

Жарський Н.Г
(прізвище та ініціали)

Тимків П.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод тактильного зворотного зв'язку для підвищення ефективності роботизованої хірургії» // Кваліфікаційна робота// Жарський Назарій Григорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних та електроінженерії, РБм-61 // Тернопіль, 2024 // с. – 80, рис. – 19, табл. – 2, додат. – 2, бібліогр. – 61.

Ключові слова: РОБОТИЗОВАНА ХІРУРГІЯ, ТАКТИЛЬНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, П'ЕЗОДАТЧИК, ТОЧНЕ КЕРУВАННЯ, PUTHON

У роботі розроблено макет для створення тактильних відчуттів для систем роботизовано хірургії на основі п'єзодатчиків на основі генератора прямокутних імпульсів зі зміною частоти.

Реалізовано макет для дослідження залежності частоти прямокутних імпульсів генератора від натискання, проведено калібрування сили натиску за допомогою еталонних тягарців вагою від 10 г до 900 г. Актуальність теми зумовлена зростаючою потребою в удосконаленні гаптичних інтерфейсів для роботизованих систем та віртуальної реальності. Метою роботи є розробка схемотехнічних рішень для ефективної обробки сигналів від п'єзодатчиків з метою створення реалістичних тактильних відчуттів. У процесі дослідження використано методи моделювання, експериментального аналізу та математичного моделювання. Основні результати включають розробку генератора прямокутних імпульсів із п'єзодатчиком у колі зворотного зв'язку, що забезпечує високу чутливість та стабільність сигналу. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування розробленої системи в медичних тренажерах, робототехніці та інших галузях, де необхідна імітація тактильних відчуттів.

ANOTATION

Theme of the qualification work: «Method of tactile feedback for enhancing the efficiency of robotic surgery» // Qualification work // Zharskyi Nazarii // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information and Electrical Engineering, RBm-61 // Ternopil, 2024 // p.– 80, fig. – 19, tab. – 2, add. – 2, ref. – 61.

Keywords: ROBOTIC SURGERY, TACTILE FEEDBACK, PIEZOELECTRIC SENSOR, PRECISE CONTROL, PYTHON

The thesis presents the development of a prototype for creating tactile sensations in robotic surgery systems based on piezoelectric sensors using a frequency-variable square-wave generator. A model was implemented to study the dependency of the generator's square-wave frequency on applied pressure, calibrated using standard weights ranging from 10 g to 900 g.

The relevance of the topic lies in the increasing demand for improving haptic interfaces in robotic systems and virtual reality. The study aims to develop circuit solutions for efficient signal processing from piezoelectric sensors to create realistic tactile sensations. The research employed modeling methods, experimental analysis, and mathematical modeling.

Key results include the development of a square-wave generator with a piezoelectric sensor in the feedback loop, providing high sensitivity and signal stability. The practical significance of the work lies in the potential application of the developed system in medical simulators, robotics, and other fields requiring tactile sensation simulation.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1. Історія розвитку роботизованої хірургії	11
1.2. Тактильний зворотний зв'язок у хірургії	14
1.3. Огляд існуючих роботизованих систем	16
1.4. Проблеми та обмеження сучасних роботизованих систем	18
1.5. Висновок до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	21
2.1. Основи створення тактильного зворотного зв'язку	21
2.2. Технічна реалізація тактильного зворотного зв'язку	23
2.3. Математичний апарат для моделювання та аналізу тактильного зворотнього зв'язку	26
2.4. Аналіз технічних рішень при розробці тактильного зворотнього зв'язку	29
2.5. Оптимізація тактильного зворотного зв'язку за допомогою програмування	31
2.6. Висновок до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА	35
3.1. Принципи роботи п'єзодавачів	35
3.2. Схемотехнічне підключення п'єзодавачів для створення тактильних відчуттів	36
3.3. Експериментальне дослідження п'єзодавачів при імітації тактильних відчуттів	38
3.4. Висновки до розділу 3	46
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	48
4.1. Охорона праці	48
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	52
4.3. Висновки до розділу 4	55

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
ДОДАТКИ	63
ДОДАТОК А. Копія опублікованої тези	64
ДОДАТОК Б. Програмний код для оптимізації роботи з п'єзодавачами в середовищі Python	80

ВСТУП

Актуальність роботи. Роботизовані хірургічні системи значно розширили можливості сучасної медицини, забезпечуючи підвищену точність та мінімальну інвазивність операцій. Однак відсутність тактильного зворотного зв'язку залишається суттєвим обмеженням, оскільки хірурги не можуть відчувати силу, яку прикладають до тканин під час операції. Це може призводити до ускладнень, особливо при роботі з делікатними структурами.

До основних роботизованих систем відносять:

- 1) Da Vinci Surgical System – найбільш поширена роботизована хірургічна платформа, яка забезпечує високу точність рухів та 3D-візуалізацію. Проте вона не надає хірургу тактильного зворотного зв'язку, що обмежує відчуття взаємодії з тканинами.
- 2) Senhance Surgical System – ця система пропонує тактильний зворотний зв'язок, передаючи хірургу відчуття тиску на тканини через спеціальні контролери. Це покращує контроль та безпеку під час операцій.
- 3) Versius Surgical System – Компактна та модульна система, яка забезпечує ергономічність та гнучкість у використанні. Однак, як і Da Vinci, вона не оснащена функцією тактильного зворотного зв'язку, що може впливати на якість хірургічних процедур.

Відсутність або обмеженість тактильного зворотного зв'язку в більшості сучасних роботизованих хірургічних систем підкреслює необхідність розробки нових методів, які б забезпечували хірургам можливість відчувати взаємодію з тканинами пацієнта. Впровадження таких технологій може підвищити ефективність та безпеку хірургічних втручань, зменшити ризик ускладнень та покращити результати лікування. Розробка методів тактильного зворотного зв'язку, зокрема на основі п'єзодатчиків, є перспективним напрямом, що може суттєво покращити функціональність роботизованих хірургічних систем та підвищити рівень контролю під час операцій.

На сьогодні такі обмеження зменшують ефективність роботизованих хірургічних систем у складних операціях. Наприклад, під час мікрохірургії, хірург може не відчувати сильного (надмірного) натискання, що призводить до

пошкодження судин та/або органів. Це може створювати додаткові ризики для пацієнтів та вимагає від хірурга-оператора високої концентрації.

Тактильний зворотний зв'язок є однією з найактуальніших задач у сфері сучасної роботизованої хірургії. Інтеграція та поєднання тактильного зворотного зв'язку може забезпечувати покращення операцій (хірург зможе оцінювати силу натискання в режимі реального часу), зменшення стресу для операторів (більш природна взаємодія з системою зменшує потребу в тривалому візуальному контролі), та підвищення ефективності процедур (тактильні відчуття дозволяють точніше маніпулювати інструментами, особливо в умовах обмеженого доступу).

Метою дослідження є розробка методу і способу для створення тактильного зворотнього зв'язку на основі п'єзодатчиків.

Задачі, які необхідно розв'язати:

1. Вивчити існуючі підходи в роботизованих хірургічних системах для створення чи імітації тактильного зворотнього зв'язку
2. Проаналізувати відомі методи та способи синтезу тактильного зворотнього зв'язку
3. Розробити метод, алгоритм та технічну реалізацію для імітації тактильного зворотнього зв'язку
4. Провести експериментальне дослідження для встановлення залежності між зміною частоти генератора прямокутних імпульсів до зусилля натиску.

Об'єктом дослідження є процес тактильного зворотнього зв'язку на основі п'єзодавачів для систем роботизованої хірургії

Предмет дослідження виступає реалізація тактильного зворотнього зв'язку для систем роботизованої хірургії.

Методи дослідження базуються на використанні математичних моделей для п'єзоефекту, та методів оптимізації у бібліотеках середовища Python

Науковою новизною є запропоноване та реалізоване схемотехнічне рішення для створення тактильного зв'язку на основі п'єзодатчика типу DAT28

для систем роботизованої хірургії з використання генератора прямокутних імпульсів та подальшого опрацювання сигналів у середовищі Python.

Апробація результатів дослідження. Апробація результатів дослідження була проведена на конференції.

РОЗДІЛ 1

1.1. Історія розвитку роботизованої хірургії

Розвиток роботизованої хірургії бере свій початок із середини ХХ століття, коли виникли перші ідеї автоматизації складних хірургічних маніпуляцій. Виникнення комп'ютерів і електромеханічних пристроїв дало поштовх до розробки автоматизованих рішень, які могли б підтримувати хірурга в щоденних роботах або складних завданнях.

Одним із перших прикладів стала система Arthrobot, створена в 1983 році в Канаді. Ця роботизована система виконувала допоміжні функції під час ортопедичних операцій, таких як утримання інструментів чи забезпечення стабільності [1]. Незважаючи на обмежені функціональні можливості, система відкрила новий етап хірургічних інновацій.

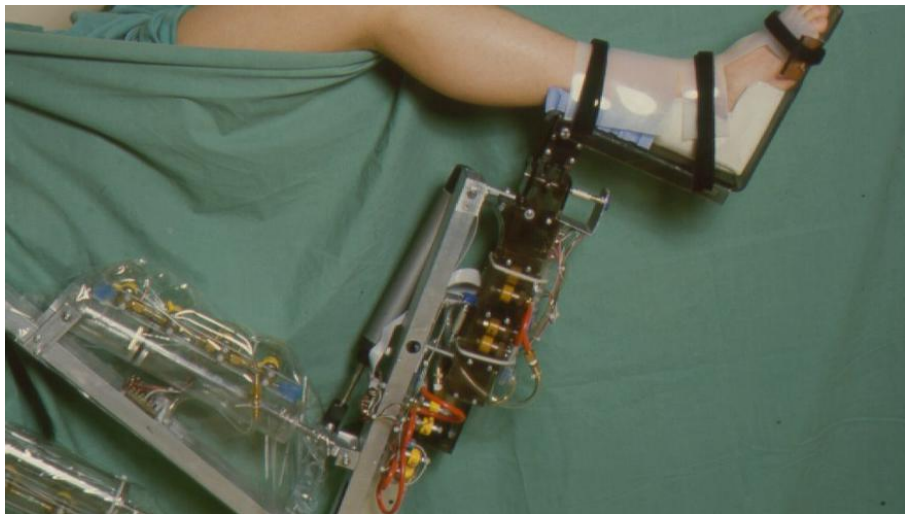


Рис.1.1 Загальний вигляд першого робота Arthrobot

У 1990-ті роки стали періодом активного розвитку роботизованих технологій для медичних завдань. Зокрема, з'явилися спеціалізовані роботизовані системи, орієнтовані на певні хірургічні напрямки, такі як урологія чи ортопедія. PROBOT – розроблений у Лондонському коледжі, був першою системою, що виконувала повністю автоматизовану хірургічну операцію на передміхуровій залозі. Його алгоритми забезпечували точність рухів і зменшення ризиків для пацієнта. ROBODOC – створений компанією

Integrated Surgical Systems – це перший робот, який готував поверхню кісток до ендопротезування. Система забезпечувала мікрометричну точність, значно підвищуючи якість результатів у порівнянні з ручними методами.



Рис.1.2. Система ROBODOC

Проте, ці роботи мали суттєві обмеження, вони могли виконувати лише одну задачу, не мали гнучкості у використанні та не забезпечували інтерактивного ручного управління [2]. Поява багатофункціональних роботизованих систем наприкінці 1990-х років стала значним етапом розвитку. Найбільшим досягненням стала система Da Vinci Surgical System, представлена і розроблена в 1999 році. Вона була створена компанією Intuitive Surgical і стала першою комерційною роботизованою хірургічною системою яка була визнана в медицині.

Da Vinci Surgical System характеризується: багатозадачністю, точністю, доброю візуалізацією, ергономічністю. Досягнення Da Vinci стали прикладом для наступних етапів вдосконалення у хірургії [3]. Проте, навіть така прогресивна система має недоліки, зокрема, відсутність тактильного зворотного зв'язку та високу вартість.



Рис.1.3 Роботизована хірургічна система Da Vinci

У XXI столітті розвиток роботизованої хірургії зосереджується на таких аспектах: інтеграція штучного інтелекту та тактильний зворотний зв'язок. Серед найновіших систем можна виділити: Senhance Surgical System – система забезпечує інтеграцію з аналітичними програмами для аналізу операцій та Versius Robot – компактна система з низькою вартістю та можливістю адаптації до малих операційних.

Одним із напрямків розвитку сучасної роботизованої хірургії є інтеграція штучного інтелекту для аналізу анатомічних особливостей пацієнта в режимі on-line, прогнозування потенційних ускладнень та допомагати хірургу при прийнятті рішень [4]. Основним обмеженням таких систем залишається відсутність тактильного зворотного зв'язку. Сучасні розробки активно впроваджують сенсори, що дозволяють передавати тактильні відчуття. До них відносять:

- Використання п'єзодавачів котрі визначають силу тиску інструменту на тканини.
- Розробку сенсорних масивів для імітації текстур тканин.
- Нейромережі для прогнозування та адаптації тактильних відчуттів.

- Гаптичні технології – для створення відчуттів тиску чи вібрації на пальцях хірурга під час роботи з роботизованою хірургічною системою.

Роботизована хірургія дозволяє значно покращити процес операцій, проте наявні недоліки (висока ціна і відсутність тактильного зворотного зв'язку) потребують подальшого вирішення. Інтеграція нових датчиків та сенсорів, а також штучного інтелекту, дає можливість для створення досконаліших систем, з більшою точністю та безпекою для пацієнтів.

1.2. Тактильний зворотний зв'язок у хірургії

У традиційній хірургії тактильні відчуття відіграють ключову роль, оскільки дозволяють хірургу: визначати текстуру та щільність тканин, що важливо для розпізнавання патологічних змін; контролювати силу натискання інструментів на делікатні тканини, щоб уникнути їх пошкодження; орієнтуватися в анатомічних структурах, навіть коли видимість обмежена.

Тактильний зворотний зв'язок також є важливим для швидкого прийняття рішень під час операцій [5]. Наприклад, під час судинної хірургії хірург може визначити ступінь кровотоку або характер пошкодження тканин, що забезпечує точність маніпуляцій. Втрата цього аспекту при переході до роботизованих систем стала одним із найбільших викликів. У роботизованій хірургії відсутність тактильного відгуку змушує хірурга покладатися виключно на візуальний контроль, що створює низку обмежень і потенційних ризиків.

Існують кілька підходів до впровадження тактильного зворотного зв'язку в роботизованих системах, серед яких виділяють такі основні напрями:

I) П'єзодатчики – ці сенсори реєструють механічні деформації, які виникають під час контакту хірургічного інструмента з тканинами. Інформація передається у вигляді електричних сигналів, що конвертуються в тактильні відчуття або вібрації на консолі хірурга.

II) Сенсорні масиви – вони використовуються для моделювання текстур і поверхонь тканин. Сенсорні масиви складаються з багатьох мініатюрних

датчиків, які розташовані на поверхні хірургічних інструментів. Такі системи дозволяють не лише визначати силу контакту, а й передавати дані про текстуру тканин (наприклад, гладка чи шорстка поверхня).

III) Вібраційний зворотний зв'язок – використовується для передачі інформації про силу контакту через тактильні сигнали у вигляді вібрації. Це один із найбільш простих і доступних методів, який уже застосовується в деяких системах, але він має обмеження в точності.

IV) Електроміографічні сенсори – вивчають електричну активність тканин під час операцій. Дані про м'язові скорочення можуть бути використані для моделювання реакції тканин на хірургічні маніпуляції.

Попри значний прогрес, реалізація тактильного зворотного зв'язку в роботизованій хірургії стикається з такими проблемами: технічна складність (висока точність вимірювань потребує використання чутливих датчиків, які мають бути компактними і надійними) [6]; затримки в передачі сигналів (дані, зібрані сенсорами, мають оброблятися в реальному часі, щоб уникнути запізень, які можуть вплинути на ефективність маніпуляцій); вартість впровадження (інтеграція високоточних сенсорних систем значно збільшує вартість роботизованих установок); складність адаптації для різних типів операцій (різні тканини мають різну реакцію на контакт із інструментами, що вимагає створення універсальних сенсорних систем).

Інтеграція тактильного зворотного зв'язку в роботизовані системи здатна суттєво змінити якість хірургічних процедур. Серед основних переваг:

- покращення точності;
- природність взаємодії;
- підвищення безпеки;

Деякі роботизовані системи вже мають елементи тактильного зворотного зв'язку:

- Da Vinci X – інтегрує базовий тактильний зворотний зв'язок через механічний опір у консолі хірурга.

- HaptiTouch – система, розроблена для мікрохірургії, передає тактильні відчуття у вигляді вібрацій, які змінюються залежно від типу тканини.
- Senhance – включає інтеграцію сенсорів для покращення зворотного зв'язку, але їхня точність ще потребує вдосконалення.

Подальший розвиток тактильного зворотного зв'язку орієнтований на використання технологій нейромережі та ШІ, які здатні моделювати реакцію тканин і прогнозувати результат взаємодії з інструментами; гаптичні рукавички (такі пристрої можуть передавати відчуття текстури, температури та сили тиску прямо на руки хірурга); оптичні давачі дозволяють зчитувати більше параметрів тканин і передавати дані як візуальний тактильний сигнал [7-9].

Тому, дослідження тактильного зворотного зв'язку є однією з актуальних задач при створенні і розробці роботизованих хірургічних систем. Поєднання цих технологій допоможе значно підвищити точність, безпеку і ефективність операцій.

1.3. Огляд існуючих роботизованих систем

Роботизована система Da Vinci Surgical System, розроблена компанією Intuitive Surgical, є однією із найпоширеніших хірургічних систем. Вона досить широко розповсюджена через універсальність та високу точність. До основних характеристик Da Vinci можна віднести: система складається з трьох основних компонентів: хірургічної консолі, платформи візуалізації та операційної частини. Використання 3D-камери забезпечує огляд операційного поля з високою роздільною здатністю та можливістю збільшення. Маніпулятори дозволяють виконувати рухи з високою точністю, що дає змогу використовувати у різних видах хірургії (кардіологія, онкологія, урологія та гінекологія).

Проте, для системи Da Vinci характерні такі недоліки:

- Відсутність повноцінного тактильного зворотного зв'язку.
- Висока вартість обладнання, яка обмежує його застосування у невеликих клініках.

Senhance Surgical System, розроблена компанією Asensus Surgical, є інноваційною системою, яка акцентує увагу на ергономіці та аналітичному супроводі процедур.



Рис.1.4. Модуль системи Da Vinci на стороні оператора-хірурга

Основні особливості: інтегровані сенсори забезпечують базовий зворотний зв'язок про натискання та опір, компактні маніпулятори дозволяють адаптувати систему до невеликих операційних кімнат, аналітичні інструменти допомагають хірургам відстежувати прогрес процедур у реальному часі, Senhance має потенціал для розширення функціоналу, але поки що поступається Da Vinci за точністю та універсальністю.

Система Versius Robot, розроблена компанією CMR Surgical, позиціонується як більш доступна альтернатива. Її основні переваги: система легка в транспортуванні й установці, вартість використання є значно нижчою порівняно з іншими системами, кожен маніпулятор працює незалежно, що дозволяє налаштовувати систему під конкретні завдання [10].

Versius, попри меншу потужність, підходить для базових хірургічних процедур і є перспективним рішенням для регіональних лікарень.

Окрім універсальних платформ, значну роль відіграють спеціалізовані роботизовані системи:

- ✓ Mazor X – робот для хірургії хребта, що забезпечує високоточне позиціонування імплантів.
- ✓ CorPath GRX – система для кардіологічних процедур, яка дозволяє точно керувати катетерами в судинах.
- ✓ Monarch Platform – розроблена для малоінвазивної діагностики, зокрема в легеневій хірургії.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз роботизованих систем

№ п/п	Система	Основне призначення	Переваги	Недоліки
1	Da Vinci	Загальна хірургія	Висока точність, 3D-візуалізація	Відсутність тактильного зв'язку
2	Senhance	Загальна хірургія	Ергономічне виконання	Обмежені функціональні можливості
3	Versius	Базові типові операції	Доступність	Менша потужність
4	Mazor X	Хірургія хребта	Висока точність	Вузька спеціалізація
5	CorPath GRX	Кардіологія	Точність керування	Обмежене застосування

Сучасні роботизовані системи мають значний потенціал для вдосконалення хірургії, але потребують додаткових розробок у сфері тактильного зворотного зв'язку, зниження витрат і підвищення універсальності. Інтеграція штучного інтелекту, гаптичних технологій і сенсорів може суттєво змінити ландшафт хірургічних технологій у найближчі роки.

1.4. Проблеми та обмеження сучасних роботизованих систем

Однією з найбільших проблем сучасних роботизованих систем є відсутність повноцінного тактильного зворотного зв'язку. Роботизовані системи, такі як Da Vinci Surgical System, орієнтовані переважно на візуальний контроль, який забезпечує деталізоване уявлення про операційне поле, але не дає можливості хірургу відчувати:

- а) силу притиску інструмента на тканини.
- б) текстуру та/або щільність тканин.

в) рівень протидії під час певних маніпуляцій.

Ця проблема є досить критичною під час роботи з малими структурами (кровоносні судини, нерви або пухлини) [11-13]. Відсутність тактильного відгуку може призводити до таких ускладнень:

- а) значний (надмірний) тиск може пошкоджувати тканини чи органи.
- б) неможливість розпізнавати патологічні зміни на дотик буде впливати на діагностування тієї чи іншої хвороби та/або ускладнення.

Розв'язування таких проблем становить основні завданням у біоінженерії що працює над удосконаленням роботизованих хірургічних систем. Також, роботизовані системи залишаються недоступними для багатьох медичних закладів через високу вартість обладнання. Наприклад: система Da Vinci коштує близько 2 мільйонів доларів США, а щорічне обслуговування становить до 10% від початкової вартості. Навчання персоналу, зокрема хірургів і технічного обслуговуючого персоналу, також є дорогим і тривалим процесом. Через ці фактори роботизовані системи здебільшого доступні у великих або спеціалізованих лікарнях, залишаючи регіональні заклади без таких технологій. Це створює нерівність у доступі до передових методів лікування.

Сучасні роботизовані системи працюють із незначною, але відчутною затримкою у передачі сигналів від маніпулятора до системи управління і назад. Навіть затримка у кілька мілісекунд може бути критичною під час виконання високоточних маніпуляцій [14,15]. Причини затримок: необхідність обробки великої кількості даних у реальному часі; використання складних алгоритмів управління, які потребують значних обчислювальних ресурсів; обмеження швидкості передачі даних у зв'язку з характеристиками апаратного забезпечення. Ці затримки можуть стати причиною помилок під час роботи в умовах, де потрібна висока швидкість реагування, наприклад, при судинній хірургії.

Роботизовані маніпулятори, попри свою точність, часто мають обмеження в гнучкості рухів порівняно з людською рукою. Це ускладнює

доступ до важкодоступних зон тіла та виконання складних маніпуляцій, які потребують одночасного згинання та обертання. Існуючі інструменти можуть бути ефективними для стандартних процедур, але їх продуктивність знижується в умовах нестандартної анатомії або унікальних клінічних випадків.

Роботизовані системи потребують тривалого періоду навчання для операторів. Хірурги, які звикли до традиційних методів, часто стикаються з такими викликами необхідність адаптації до нової техніки управління; відсутність природного зворотного зв'язку, що ускладнює виконання маніпуляцій; психологічний бар'єр, пов'язаний із залежністю від технологій. Попри зростання кількості навчальних центрів, доступ до них залишається обмеженим, особливо у країнах із середнім рівнем доходу. Апаратна реалізація систем хірургії залежить від фізичного виконання та програмного забезпечення і середовища.

1.5. Висновок до розділу 1

На сьогоднішній день, роботизовану хірургію визнано однією з інноваційних галузей медицини, котра відкриває можливості для вдосконалення хірургічних оперативних втручань. Порівняльний аналіз показує те, що для систем Arthrobot і ROBODOC, основною метою було забезпечення високої точності процедур і зменшення ризиків для пацієнта на операційному столі. Розроблення Da Vinci Surgical System, значно розширило функціонал та можливості хірургії, дозволило виконувати значно складніші операції в багатьох медичних галузях.

Однією із важливих проблем залишається відсутність повноцінного тактильного зворотного зв'язку, що є критичним для хірургів (вони покладаються на тактильні відчуття для оцінювання тканин). Це створює додаткову невизначеність та ризики, особливо при роботі з чутливими структурами, такими як судини чи нерви.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Основи створення тактильного зворотного зв'язку

Тактильний зворотний зв'язок є ключовим компонентом роботизованих хірургічних систем, який забезпечує передачу фізичних відчуттів від інструментів до оператора. Основною метою реалізації такого зв'язку є відтворення характеристик тканин, таких як текстура, сила опору чи жорсткість. Ці властивості є критичними для точності маніпуляцій і зменшення ризику пошкодження анатомічних структур під час оперативного втручання [16].

Розробка систем тактильного зворотного зв'язку дає змогу вирішити кілька важливих задач:

- I. Контроль сили натискання – хірург отримує можливість регулювати силу впливу на тканини, що мінімізує ризик пошкодження крихких структур, таких як кровоносні судини або нерви [17].
- II. Виявлення текстурних змін – відчуття текстури дозволяє розрізнити патологічно змінені тканини, що має вирішальне значення для діагностики та визначення обсягу хірургічного втручання [18].
- III. Створення природної взаємодії між хірургом і системою – завдяки тактильному зворотному зв'язку оператор може інтуїтивно виконувати маніпуляції, що значно знижує когнітивне навантаження під час операції [19].

Системи тактильного зворотного зв'язку включають декілька основних компонентів, кожен із яких виконує критичну функцію.

Сенсори є основою для реєстрації фізичних характеристик тканин. До основних типів сенсорів відносять: п'єзоелектричні сенсори: використовуються для вимірювання сили натискання з високою точністю. Вони базуються на властивості матеріалів генерувати електричний заряд при механічній

деформації; ємнісні сенсори: застосовуються для аналізу текстури тканин. Їхній принцип роботи базується на вимірюванні змін ємності між електродами; резистивні сенсори: дозволяють фіксувати силу натискання навіть у складних умовах, наприклад, при наявності рідин або нерівностей на поверхні.

Відтворення тактильних відчуттів може забезпечуватися різними типами механізмів:

- Вібраційні пристрої: імітують текстуру або силу опору тканин за допомогою регульованих коливань [20].
- Гідравлічні системи: забезпечують силовий зворотний зв'язок у реальному часі завдяки використанню рідинного середовища для передачі тиску [21].

Сучасні системи використовують спеціалізовані алгоритми для підвищення точності та швидкості роботи: обробка сигналів у реальному часі дозволяє мінімізувати затримки передачі інформації, забезпечуючи миттєву реакцію системи.

Адаптивні алгоритми враховують індивідуальні характеристики тканин, що дозволяє автоматично підлаштовувати параметри системи до конкретних умов роботи [22][23].

Системи тактильного зворотного зв'язку вже активно застосовуються в різних галузях хірургії:

- a. завдяки можливості точного визначення текстури тканин хірурги можуть розрізняти здорові та патологічно змінені структури, що є особливо важливим під час роботи з судинами, нервами або паренхіматозними органами [24].
- b. контроль сили під час встановлення імплантатів дозволяє уникнути небажаних ускладнень, таких як надмірний тиск або зміщення протезів [25].
- c. застосування тактильного зворотного зв'язку у дистанційних операціях забезпечує передачу фізичних відчуттів від маніпуляторів до хірурга, що підвищує ефективність і точність маніпуляцій [26].

Таким чином, системи тактильного зворотного зв'язку є необхідною складовою роботизованої хірургії. Вони забезпечують точність і безпеку маніпуляцій завдяки інтеграції високочутливих сенсорів, сучасних виконавчих механізмів та алгоритмів обробки сигналів. Подальший розвиток цих технологій спрямований на розширення функціональності та доступності таких рішень.

2.2. Технічна реалізація тактильного зворотного зв'язку

Синтез підсистеми тактильного зворотного зв'язку у роботизованій хірургії базується на інтеграції технологій і фізичних принципів та ефектів. Основними елементами цих систем є сенсори (давачі та/або вимірювальні перетворювачі), виконуючі механізми та подальші алгоритми обробки корисних.

Сенсори відслідковують фізичні параметри тканин, при цьому виконуючі механізми можуть відтворювати тактильні відчуття від них, а подальші математичні алгоритми та методи забезпечують передавання інформації із мінімальними затримками. Розглянемо найпоширеніші фізичні принципи та ефекти, для імітації тактильного зворотного зв'язку.

1. П'єзоелектричний ефект – це один із найточніших способів для реєстрації механічних змін на деяких поверхнях чи тканинах, створюється властивостями п'єзоелектричних матеріалів (кварц або п'єзокераміка), генерувати електричний потенціал/заряд при механічній деформації.

Давачі фірми TE Connectivity Piezo Film Sensors широко використовуються для вимірювання сили тиску завдяки високій чутливості та компактності. Ці сенсори забезпечують фіксацію мікровібрацій, що дозволяє хірургу отримувати детальний тактильний відгук під час роботи [27].



Рис.2.1 Загальний вигляд датчиків TE Connectivity Piezo Film Sensors

Переваги - надзвичайна точність, швидка реакція, компактність. Недоліки - висока залежність характеристик від температури та складність інтеграції у мініатюрні інструменти [28].

2. Ємнісний принцип

Ємнісні сенсори працюють на основі зміни ємності між електродами при контакті з тканинами. Вони дозволяють точно оцінювати текстуру та рельєф тканин.

Сенсори Microchip CAP1298 Capacitive Touch Sensors інтегруються у роботизовані хірургічні системи для оцінки поверхні тканин. Ці сенсори характеризуються низьким енергоспоживанням і високою стабільністю роботи навіть у складних умовах операційної [29].



Рис.2.2. Датчик типу Microchip CAP1298

Переваги - стабільність роботи, низьке енергоспоживання. Недоліки - менша чутливість у порівнянні з п'єзоелектричними сенсорами.

3. Резистивний принцип

Резистивні сенсори працюють на основі зміни опору матеріалу під механічним впливом. Це один із найпоширеніших і економічно вигідних методів для створення сенсорних систем.

Сенсори серії FSR 402 Force Sensing Resistors використовуються для визначення сили натискання. Вони відзначаються простотою конструкції та низькою вартістю, що робить їх популярними у хірургічних роботах [30].



Рис. 2.3. П'єзодатчик типу FSR 402

Переваги - простота конструкції, доступність. Недоліки - обмежена довговічність, недостатня точність у складних умовах.

Тензодатчики дозволяють фіксувати механічну напругу або деформацію тканин у реальному часі. Вони забезпечують високу чутливість, що є критично важливим для хірургії м'яких тканин. Vishay Precision Group Strain Gauges використовуються в маніпуляторах для точного вимірювання сили натискання [31].

Сенсорні масиви складаються з великої кількості мініатюрних сенсорів, що дозволяє створювати тривимірні карти текстур тканин. Це інноваційне рішення застосовується у складних хірургічних системах.

Tekscan FlexiForce Sensors дозволяють забезпечувати точний аналіз текстури тканин і широко використовуються у мікрохірургії [32].

Система Da Vinci Surgical System забезпечує механічний зворотний зв'язок через опір маніпуляторів. До особливостей відносять відсутність повноцінного тактильного зворотного зв'язку. Її застосовують у кардіохірургії, онкології, гінекології. До переваг можна віднести високу точність управління [33].

Система HaptiTouch забезпечує гаптичний зворотний зв'язок через вібрації, що імітують текстуру тканин. Особливості - використовується у мікрохірургії. Серед переваг можна виділити реалістичне передавання текстури тканин [34].

Система Senhance Surgical System забезпечує тактильний зворотний зв'язок через механічний опір. Серед особливостей виділяють - економічну альтернативу Da Vinci. До недоліків можна віднести обмежену точність під час роботи з м'якими тканинами [35].

Таким чином, технічна реалізація при імітації тактильного зворотного зв'язку базується досить різноманітних фізичних принципах. Сенсори-давачі та виконуючі механізми разом із математичними алгоритмами цифрового опрацювання сигналів, забезпечать точну та швидку передачу тактильних відчуттів, що є досить важливим для ефективної роботи роботизованих хірургічних систем.

2.3. Математичний апарат для моделювання та аналізу тактильного зворотнього зв'язку

Математичний апарат є базовою основою для аналізу, побудови та імітації тактильного зворотного зв'язку в хірургічних роботизованих системах. Математичні моделі, як певний об'єкт, дозволяють описувати певні фізичні явища, пов'язані з передачею сили, текстури, а, також, формалізувати рівняння і забезпечити певну, наперед задану, обчислювальну оптимізацію.

Розглянемо основні концепції математичного моделювання для імітації тактильного відчуття у роботизованій хірургії.

Відомо, що передачу сили від інструмента до сенсора можна описувати законом Гука, який моделює поведінку пружних матеріалів:

$$F = k * x \quad (2.1)$$

де F — сила натискання (Н), k — коефіцієнт жорсткості (Н/м), x — деформація (м).

Вищенаведене рівняння може використовуватися для опису певної простої взаємодії між давачем і поверхнею чи тканиною в точках такого контакту [36].

Для п'єзоелектричних давачів електричний заряд (потенціал), що генерується під дією механічної сили, можна визначати за формулою:

$$Q = d * F \quad (2.2)$$

де Q — електричний заряд (Кл), d — п'єзоелектричний коефіцієнт (м/В), F — сила (Н) [37].

У більш ускладнених випадках, коли необхідно врахувати залежності сили від часу, застосуємо рівняння гармонічних коливань:

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = F(t) \quad (2.3)$$

де m — маса елемента (кг), c — коефіцієнт демпфування (Н·с/м), $F(t)$ — зовнішня сила (Н). Таке рівняння дозволяє враховувати динамічний рух та демпфування (або згасання) у виконуючих механізмах [38].

Важливою складовою частиною тактильного зворотного зв'язку є паттерн, що описує текстурні характеристики певного типу тканин. При цьому застосуємо спектральний аналіз, який перетворює сигнал сенсора у часовій області в частотну область. За основу можна взяти швидке перетворення Фур'є (FFT):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.4)$$

де $X(f)$ — спектр сигналу, $x(t)$ — часовий сигнал, f — частота (Гц). Вищеописана модель дозволить виявляти певні специфічні (нетипові) частоти, що відповідатимуть паттернам текстурних властивостей тканини,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (2.5)$$

наприклад, їхній шорсткості чи нерівності [39].

При порівнянні текстури застосуємо нормалізований перехресний коефіцієнт автокореляційної функції:

$$P_{x\ y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \quad (2.5)$$

де x_i, p_i — сигнали, $\bar{x}, \bar{p}$ — середні значення сигналів. Такий показник допомогатиме ідентифіковувати ступінь подібності між різними текстурами, забезпечуючи певну оптимальну адаптивність системи [40].

Багатосенсорні системи можна синтезувати на принципах суперпозиції сигналів, що дозволить об'єднувати дані від великої кількості сенсорів у єдиний зворотній зв'язок:

$$P_{x\ y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \quad (2.6)$$

де P — корисний сигнал, x_i, p_i — сигнал від окремого сенсора, n — кількість сенсорів. Даний підхід буде ефективним при створенні тривимірної (об'ємної) карти текстури тканин [41].

Для оптимізації обробки сигналів при імітації тактильного зворотного зв'язку, можна використовувати адаптивні алгоритми. Одним із найпоширеніших є рекурсивно-адаптивний фільтр Калмана, що дозволяє мінімізувати шум у даних на певних кроках передбачення:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K_k(z_k - X\hat{x}_{k-1}) \quad (2.7)$$

x

де $\hat{x}_k$ — оцінка стану, K_k — коефіцієнт Калмана, z_k — вимірюваний сигнал, X — матриця спостереження [42].

Для передбачення поведінки поверхні тканини і адаптування параметрів системи до різноманітних умов, застосуємо регресійну модель:

$$p = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon \quad (2.8)$$

де p — прогнозований сигнал, x — вхідний параметр, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ — коефіцієнти моделі, ε — похибка.

Аналіз відомих роботизованих систем для хірургії, зокрема системи Da Vinci Surgical System, показав, що дана система використовує рівняння гармонічних коливань для управління «руками»-маніпуляторами. У системі HaptiTouch інтегровано спектральний аналіз отримуваних сигналів для прецизійного відтворення текстури тканин. У системах Senhance Surgical System розробники застосували розв'язки рівняння Лагранжа для адаптування рухів маніпуляторів залежно від певних характеристик тканин [43, 44, 45].

Математичний апарат імітації тактильного зворотнього зв'язку забезпечує створення та впровадження спектрального аналізу, рівнянь Лагранжа, фільтрів Калмана та інших моделей, і дозволяє досягати досить високих прецизій та ефективностей роботизованих хірургічних систем.

2.4. Аналіз технічних рішень при розробці тактильного зворотнього зв'язку

На сьогодні, вирішення задач для імітації тактильного зворотнього зв'язку у роботизованих хірургічних систем (РХС) можуть продемонструвати досить високий рівень удосконалення медичних оперативних втручань. Зате, такі технології володітимуть значними перевагами, та і матимуть суттєві обмеження, що впливатимуть на їх ефективність, ціну та ширину поширення.

Підвищена точність хірургічних втручань це інтеграція тактильного зворотнього зв'язку що дозволить хірургам контролювати силу натискування та оцінювати в режимі реального часу жорсткість тканин та їх текстуру. Наприклад, у системах HaptiTouch було реалізовано досить точну передачу тактильних відчуттів завдяки чутливим п'єзоелектричним сенсорам-давачам. Це дозволило зменшити ризики пошкодження і розриву м'яких структур (судин чи нервових волокон) [46].

Швидка адаптація до різних типів тканин — передбачає застосування алгоритмів AI-навчання, та дозволить автоматично переналаштовувати певні

параметри роботи залежно від фізіологічних характеристик тканин. Відомі регресійні моделі передбачення що використовуються для оптимізування ідентифікації сили чи тиску, забезпечують таргетований підхід до кожного окремого пацієнта [47].

Поліпшення навчального процесу - симулятори з імітацією тактильного зворотнього зв'язку, наприклад, VR Surgical Training Systems, забезпечуватимуть досить реалістичні умови для навчання хірургів-практикантів. Це сприятиме швидкому засвоєнню техніки і мінімізації ризику у реальних операціях.

Розширення функціональності – роботизовані системи, наприклад Senhance Surgical System, базуються на використанні сенсорних масивів для формування об'ємних карт тканин. Це дозволить підвищити якість діагностування та дозволить виконати досить складні операції з мінімальним оперативним втручанням [48].

При аналізі вищенаведених систем, сформульовані недоліки та обмеження. Серед основних виділяють високу вартість. Однією із головних обмежень є ціна самої систем, її монтаж, так і подальшого сервісного обслуговування. Така система як Da Vinci, вартує коштує кілька мільйонів доларів, а щорічне обслуговування може становити сотні тисяч доларів. Це робить складним доступ до технологій в лікарнях із обмеженим бюджетом [49].

Б. Затримки в передачі сигналів

Хоча сучасні системи використовують високошвидкісні обчислювальні платформи, затримки у передачі тактильних сигналів залишаються проблемою. Вони можуть призводити до неточності у виконанні маніпуляцій, особливо в телемедицині операціях.

Іншою завадою, можна вважати обмежену довговічність сенсорів-давачів. Певні сенсори (резистивні чи магнітострикційні), мають обмежену невелику тривалість експлуатації, що збільшує витрати на заміну та подальше сервісне обслуговування [50].

Також слід виділити відсутність універсальності. Велика кількість сучасних РХС розробляються для певних конкретних хірургічних типів і задач, що не може бути досить легко адаптованим для інших типів операцій.

Виділимо низьку інтеграція з іншими системами. Труднощі поєднування та інтеграції з іншими діагно-аналітичними платформами обмежують можливу функціональність РХС. Недостатня взаємодія з МРТ чи КТ буде знижувати ефективність операцій проведення операцій.

Встановлено, що перспективами до вдосконалення може бути зниження вартості. Розробка дешевих сенсорів-давачів і модульна конструкція дозволить значно зменшити вартість РХС. При цьому, використання гнучких п'єзоелектричних матеріалів може зменшувати ціну витрат при виготовленні [51].

Інтеграція зі штучним інтелектом дозволить адаптивно управляти та аналізувати сигнали для забезпечення більш точнішої передачі та імітації тактильних відчуттів. Алгоритми глибокого навчання використовуються для прогнозування поведінки тканин у реальному часі.

Розроблення універсальних платформ дасть змогу створити універсальні РХС, котрі зможуть адаптуватися до різних типів і видів операцій, що значно підвищить їх функціонал.

Збільшення прецизійності передачі сигналів дасть змогу інтегрувати нові протоколи передачі даних і вдосконалити числові платформи для зменшення затримки й підвищення точності передачі таких тактильних сигналів.

Покращення енергоспоживання для сенсорів нового покоління, що працюють на засадах енергоефективності, зменшить витрачання енергії та підвищення довговічності РХС.

Проаналізувавши способи розв'язування таких проблем видно, що тактильний зворотний зв'язок у роботизованій хірургії має досить хороший потенціал щодо вдосконалення. Перспективними для розвитку є зменшення ціни і витрат, впровадження AI та створення універсалізованих базових платформ, що здатні досить різко підвищити ефективність та доступність таких технологій.

2.5. Оптимізація тактильного зворотного зв'язку за допомогою програмування

Тактильний зворотний зв'язок із використанням п'єзодавачів є одним із основних компонентів сучасних РХС. Для забезпечення досить високої точності та мінімальних затримок, застосуємо певні спеціальні алгоритми фільтрації, адаптації і аналізу цифрових сигналів. Програмування у середовищі Python забезпечить досить потужний ToolBox для цифрового опрацювання та подальшої обробки даних і реалізації та розв'язку функцій оптимізації.

Фільтрація шуму є первинним етапом ЦОС-обробки сигналів, отриманих від п'єзодавачів. Для цього використаємо фільтр низьких частот, що дозволить видалити високочастотні шуми та завади, і зберегти основну частину сигналу.

```
from scipy.signal import butter, filtfilt
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Налаштування фільтра
def lowpass_filter(data, cutoff, fs, order=5):
    nyquist = 0.5 * fs
    normal_cutoff = cutoff / nyquist
    b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low', analog=False)
    return filtfilt(b, a, data)

# Сигнал від п'єзодатчика
fs = 1000
t = np.linspace(0, 1, fs, endpoint=False)
signal = np.sin(2 * np.pi * 50 * t) + 0.5 * np.random.normal(size=t.shape)

# Фільтрація сигналу
filtered_signal = lowpass_filter(signal, cutoff=60, fs=fs)

# Візуалізація
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(t, signal, label="Noisy Signal", alpha=0.7)
plt.plot(t, filtered_signal, label="Filtered Signal", linewidth=2)
plt.xlabel("Time (s)")
plt.ylabel("Amplitude")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Лістинг 1. ЦОС-обробка сигналів ФНЧ

Оптимізація передачі сигналу із п'єзодавача включатиме алгоритми компенсації затримок (затримки). Одним із таких підходів є застосування інтерполяція, яка дозволить підвищити точність обробки даних.

```
from scipy.interpolate import interp1d

# Початкові дані
original_time = np.linspace(0, 1, fs // 2, endpoint=False)
signal = np.sin(2 * np.pi * 10 * original_time)
# Інтерполяція для компенсації затримок
interp_func = interp1d(original_time, signal, kind='cubic')
new_time = np.linspace(0, 1, fs, endpoint=False)
interpolated_signal = interp_func(new_time)
# Візуалізація
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(original_time, signal, 'o', label="Original Signal", alpha=0.7)
plt.plot(new_time, interpolated_signal, '-', label="Interpolated Signal",
linewidth=2)
plt.xlabel("Time (s)")
plt.ylabel("Amplitude")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Лістинг 2. Приклад застосування інтерполяції, для підвищення точності обробки даних

Для прогнозування сили натиску п'єзодвача використаємо поліноміальну регресію. Це дозволить змодельовати досить складні залежності між сигналом і фізичними властивостями структури тканин.

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.pipeline import make_pipeline
import matplotlib.pyplot as plt
# Генерація даних
np.random.seed(42)
X = np.random.rand(100, 1) * 10
y = 2.5 * X**2 - 1.2 * X + np.random.normal(scale=5, size=(100, 1))
# Поліноміальна регресія
degree = 2
model = make_pipeline(PolynomialFeatures(degree), LinearRegression())
model.fit(X, y)
# Передбачення
y_pred = model.predict(X)
# Візуалізація
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.scatter(X, y, label="Measured Data", alpha=0.7)
plt.plot(np.sort(X, axis=0), model.predict(np.sort(X, axis=0)), color='r',
label=f"Degree {degree} Polynomial Fit")
plt.xlabel("Voltage (mV)")
plt.ylabel("Force (N)")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Лістинг 3. Реалізація поліноміальної регресії у середовищі Python.

PXC Da Vinci Surgical System використовує алгоритми щодо адаптування сили натискання до типу тканин, котрі базуються на методах фільтрації та рекурсивно-адаптивного прогнозування [46]. У системах HaptiTouch реалізовано компенсування затримки за допомогою інтерполяційних алгоритмів [47]. PXC Senhance Surgical System використовує поліноміальні моделі для прецизійного передбачування сили натискання [48].

Середовище Python в поєднанні із бібліотеками (NumPy, SciPy та TensorFlow), дозволить досить швидко реалізувати вирішення для ЦОС-обробки та аналізу сигналів. Інтегрування та поєднування таких алгоритмів із п'єзодавачами дозволить покращити точність, прецизійність та, в свою чергу, зменшити затримки і збільшити адаптацію до досить різних умов роботи в операційному середовищі.

2.6. Висновок до розділу 2

Проведений аналіз підкреслює важливість цих систем для підвищення точності, надійності та ефективності хірургічних втручань. Особлива увага була приділена фізичним принципам, на яких базується робота сучасних сенсорів. Математичне моделювання є ключовою складовою систем тактильного зворотного зв'язку. Використання таких моделей Гука, перетворення Фур'є, рівняння Лагранжа, а також алгоритмів машинного навчання, дозволяє точно описувати фізичні процеси в сенсорах і виконавчих механізмах. Завдяки сучасним програмним інструментам, таким як Python і його бібліотеки (NumPy, SciPy, TensorFlow), створення математичних моделей стає доступнішим і ефективнішим. Інтеграція математичних моделей, сучасних технічних рішень і ПЗ стає перспективним для вдосконалення хірургії. Це дозволяє зробити PXC платформи доступнішими та ефективними в клінічній практиці.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИН

3.1 Принципи роботи п'єзодавачів

П'єзоелектричний ефект є фундаментальним явищем, що лежить в основі роботи п'єзодатчиків. Він полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні певних матеріалів під дією механічної деформації (прямий п'єзоефект) або, навпаки, у виникненні механічної деформації під впливом електричного поля (зворотний п'єзоефект)

Прямий п'єзоефект описується рівнянням:

$$D = d \cdot T \quad (3.1)$$

де:

D — електрична індукція (Кл/м²),

d — п'єзоелектричний модуль (м/В або Кл/Н),

T — механічна напружка (Н/м²).

Це рівняння показує, що електрична індукція D пропорційна механічній напрузі T , прикладеній до матеріалу.

Зворотний п'єзоефект описується рівнянням:

$$S = d \cdot E \quad (3.1)$$

де:

S — механічна деформація (безрозмірна величина),

E — електричне поле (В/м).

Це рівняння вказує, що механічна деформація S пропорційна електричному полю E , прикладеному до матеріалу.

П'єзоелектричні властивості притаманні матеріалам, які не мають центру симетрії у своїй кристалічній структурі. До таких матеріалів належать:

- ✓ Природні кристали – кварц (SiO), турмалін, сегнетова сіль.
- ✓ Синтетичні кристали – титанат барію (BaTiO), титанат свинцю (PbTiO).

✓ Полімери – полівініліденфторид (PVDF).

Кожен з цих матеріалів має свої унікальні п'єзоелектричні характеристики, що визначають їх застосування в різних пристроях. П'єзодатчики широко використовуються в різних галузях техніки та науки для вимірювання. Завдяки високій чутливості та швидкому відгуку, п'єзодатчики є незамінними в багатьох вимірювальних системах.

Переваги п'єзодатчиків включають високу чутливість (здатність виявляти малі зміни механічних параметрів), широкий діапазон робочих частот (від статичних до високочастотних сигналів), малі розміри та масу (що дозволяє використовувати їх у компактних пристроях).

Проте виділимо і обмеження: залежність від температури (зміни температури можуть впливати на точність вимірювань), відсутність постійного відгуку (п'єзодатчики не підходять для вимірювання статичних або повільно змінюваних сигналів).

3.2. Схемотехнічне підключення п'єзодавачів для створення тактильних відчуттів

Підсилювачі є ключовими елементами в обробці сигналів від п'єзодатчиків. Вони забезпечують підвищення амплітуди сигналу до рівня, придатного для подальшої обробки або аналізу. Основні типи підсилювачів, що використовуються з п'єзодатчиками, включають:

- 1) Операційні підсилювачі (ОП) – забезпечують високу вхідну імпедансію та низький рівень шуму, що робить їх придатними для роботи з п'єзодатчиками. ОП можуть бути використані в різних конфігураціях, таких як інвертуючий або неінвертуючий підсилювач, залежно від вимог системи.
- 2) Підсилювачі заряду – оскільки п'єзодатчики генерують заряд у відповідь на механічну деформацію, підсилювачі заряду перетворюють цей заряд у пропорційну напругу. Вони особливо

корисні в застосуваннях, де необхідно вимірювати динамічні зміни механічних величин.

- 3) Підсилювачі постійного струму (ППС) – призначені для підсилення сигналів, що повільно змінюються в часі, тобто сигналів, еквівалентна частота яких наближається до нуля. ППС повинні мати амплітудно-частотну характеристику, яка забезпечує підсилення сигналів у широкому діапазоні частот, включаючи нульову частоту.

Фільтри використовуються для видалення небажаних частотних компонентів із сигналу п'єзодатчика, покращуючи співвідношення сигнал/шум.

Основні типи фільтрів, що застосовуються:

- I) Низькочастотні фільтри (НЧФ) – пропускають низькочастотні компоненти сигналу та пригнічують високочастотні шуми. Використовуються для згладжування сигналу та видалення високочастотних перешкод.
- II) Високочастотні фільтри (ВЧФ) – пропускають високочастотні компоненти та пригнічують низькочастотні. Застосовуються для видалення низькочастотних перешкод, таких як дрейф базової лінії.
- III) Смугові фільтри – пропускають сигнали в певному діапазоні частот і пригнічують частоти поза цим діапазоном. Корисні для виділення специфічних частотних компонентів сигналу.

Генератори прямокутних імпульсів використовуються для тестування та калібрування п'єзодатчиків, а також у схемах, де необхідно перетворити аналоговий сигнал у цифровий. Вони генерують імпульси з визначеною амплітудою, частотою та тривалістю. Основні параметри генераторів:

- A) Частота повторення імпульсів – визначає, скільки імпульсів генерується за одиницю часу.
- Б) Ширина імпульсу.
- В) Робочий цикл – відношення тривалості імпульсу до періоду повторення, виражене у відсотках.

При розробці схем з п'єзодатчиками важливо враховувати наступні аспекти: імпедансне узгодження, екранування та заземлення, температурну стабільність.

3.3. Експериментальне дослідження п'єзодавачів при імітації тактильних відчуттів

В роботі використано генератор прямокутних імпульсів із п'єзодатчиком у колі зворотного зв'язку є пристроєм, що генерує стабільні прямокутні імпульси (рис.3.1.), використовуючи п'єзоелектричний датчик як елемент зворотного зв'язку.

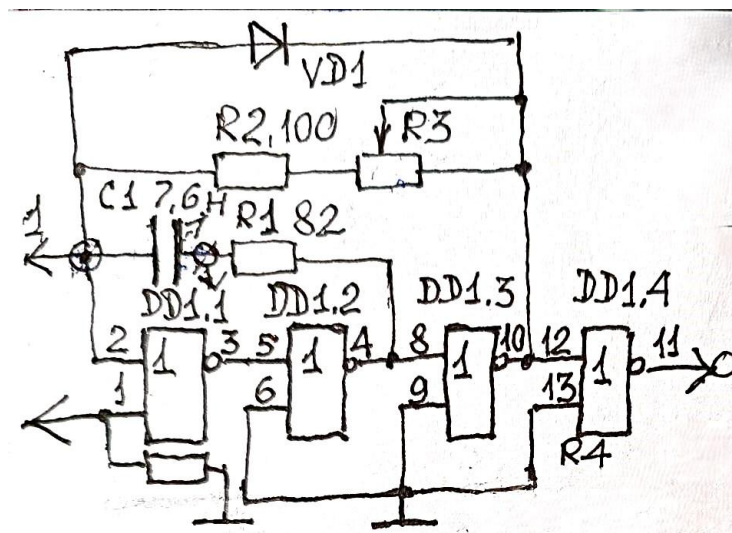


Рис.3.1 Генератор прямокутних імпульсів

Такі генератори знаходять застосування в різних галузях, включаючи вимірювальні прилади, системи синхронізації та інші електронні пристрої. П'єзодатчик, розташований у колі зворотного зв'язку генератора, реагує на механічні коливання або зміни тиску, генеруючи електричний сигнал. Цей сигнал повертається до вхідного кола генератора, впливаючи на його роботу та забезпечуючи генерацію прямокутних імпульсів із певними характеристиками.

Перевагами [52,53] використання п'єзодатчика в зворотному зв'язку є висока чутливість, широкий частотний діапазон, стабільність.

На основі такої схеми створено макет (рис.3.2.)

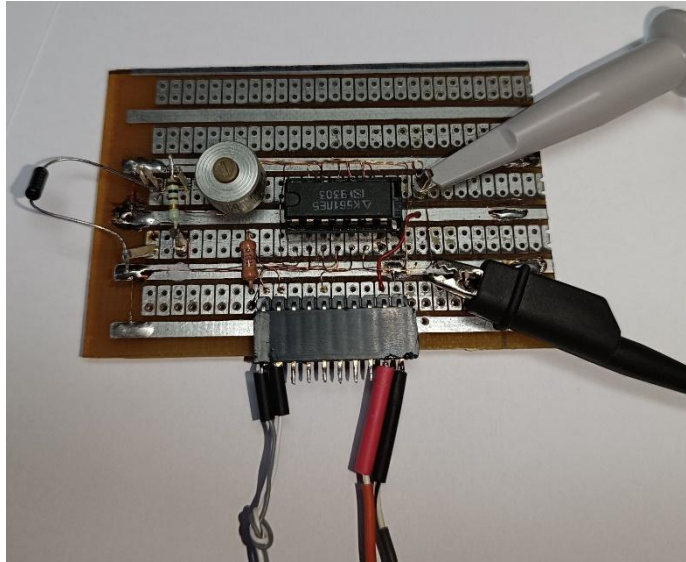


Рис. 3.2. Робочий макет генератора прямокутних імпульсів

Та приєднано п'єзодавач DAT28 (рис.3.3), з такими параметрами:



Рис. 3.3. Загальний вигляд п'єзодатчика типу DAT28

- Діаметр (зовніш.): 27 мм
- Товщина: 0.35 мм
- Імеданс: <300 Ом
- Резонансна частота: 3500 Гц (+/- 500 Гц)
- Ємність: 27 nF (+-20%)
- Температурний діапазон: -30 ~ +70 °C

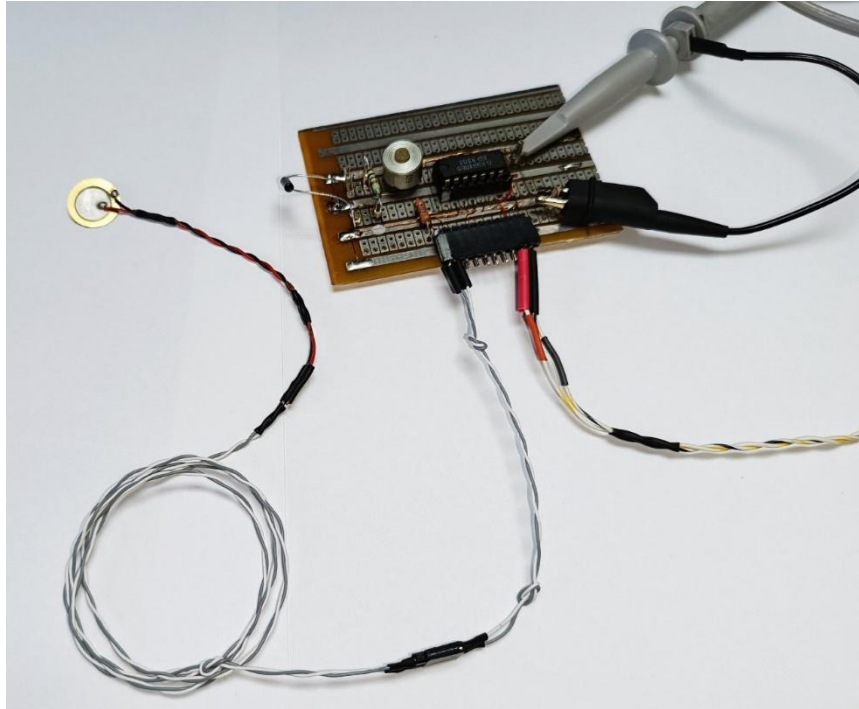


Рис.3.4. Загальний вигляд макету з приєднаним датчиком

Контроль та імітація натискання руки здійснювалась [55-57] за допомогою каліброваних тягарців (мірних ваг) та ваги з точністю вимірювання 0,1 г.

Спочатку встановлювали певну масу 10 г (рис. 3.5) і вимірювали осцилограму зміни вихідного сигналу на генераторі прямокутних імпульсів (рис. 3.6.)



Рис.3.5 Встановлення контрольної ваги 10 гр, для імітації натиску

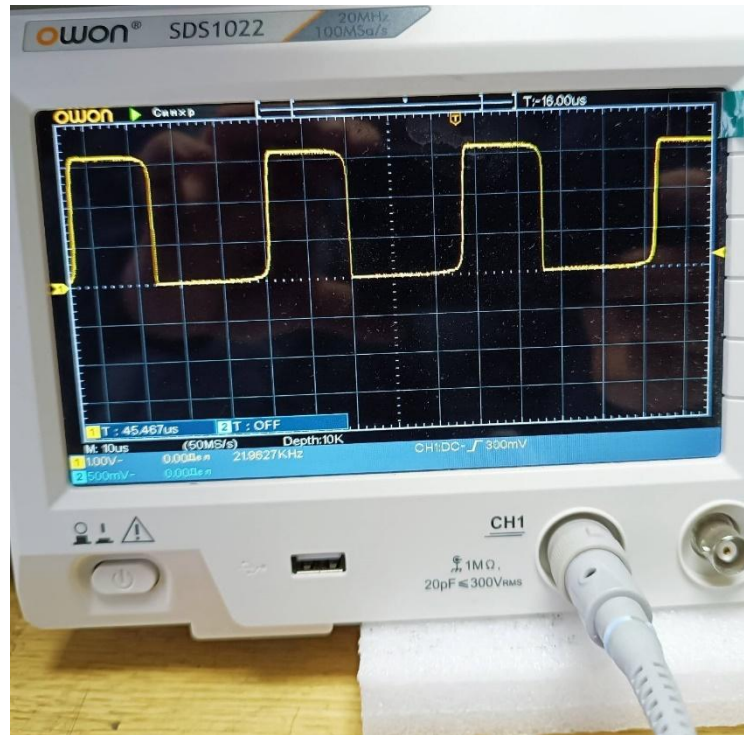


Рис.3.6. Осцилограма прямокутних імпульсів

Також проведено дослідження зміни частоти при встановленні 20 г (рис.3.7. і 3.8) та 30 г (рис.3.9 та 3.10 відповідно)



Рис.3.7. Встановлення контрольної ваги 20 гр, для імітації натиску пальця

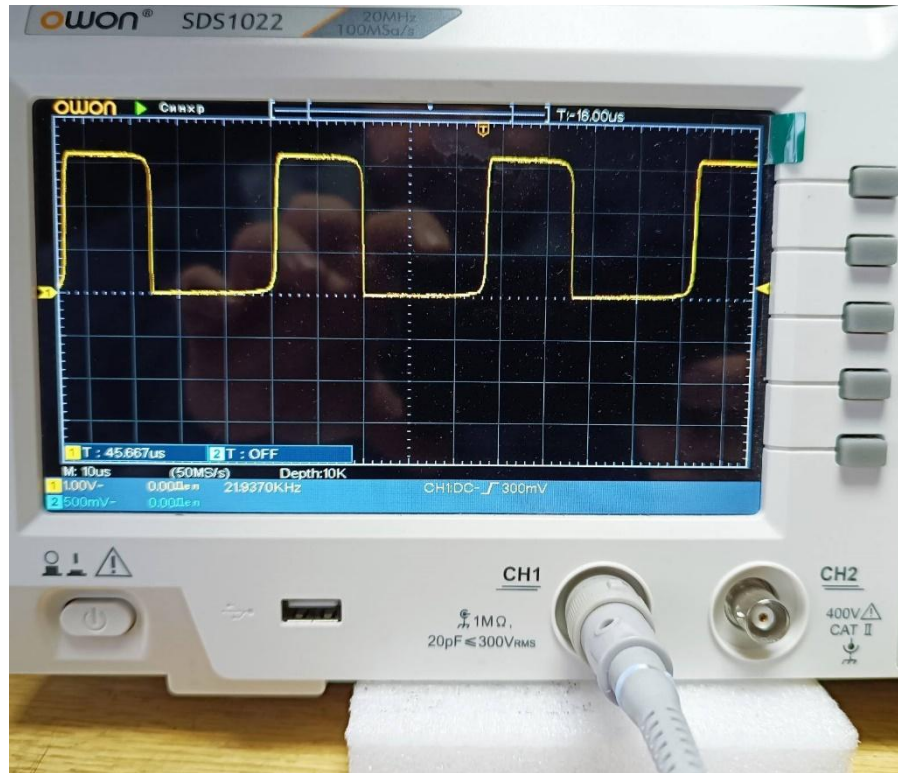


Рис.3.8. Осцилограма прямокутних імпульсів

Імітація натиску вагою 30 г:



Рис.3.9. Встановлення контрольної ваги 30 гр, для імітації натиску пальця

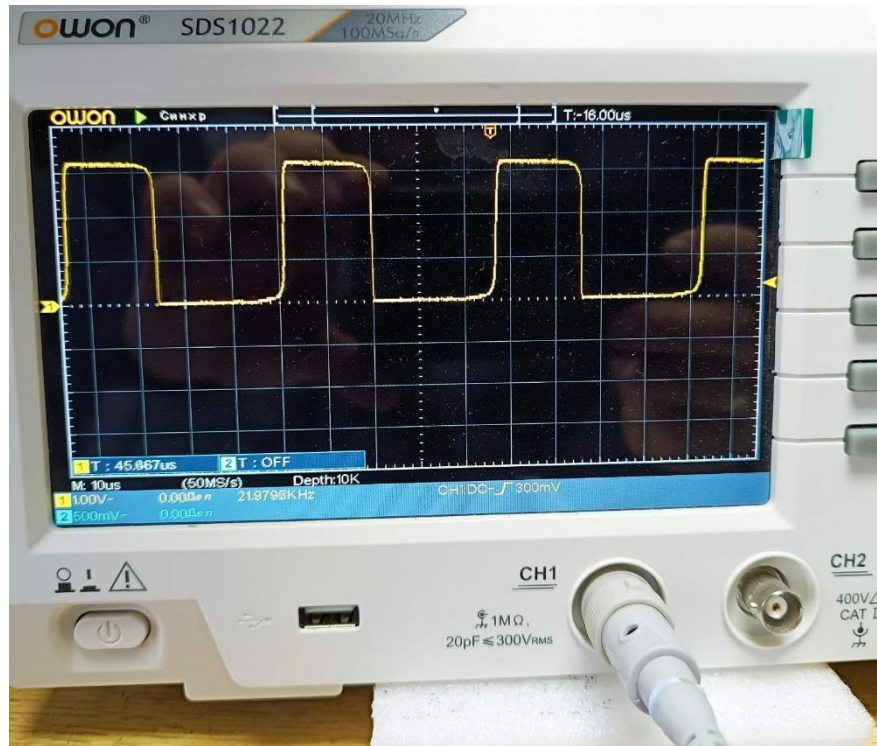


Рис.3.10. Осцилограма прямокутних імпульсів

Невеликі зміни ваги не призводять до значних змін у частоті, тому проведено дослідження натиску вагою 100 г, 200 г, 500 г, 700г, 900 г.

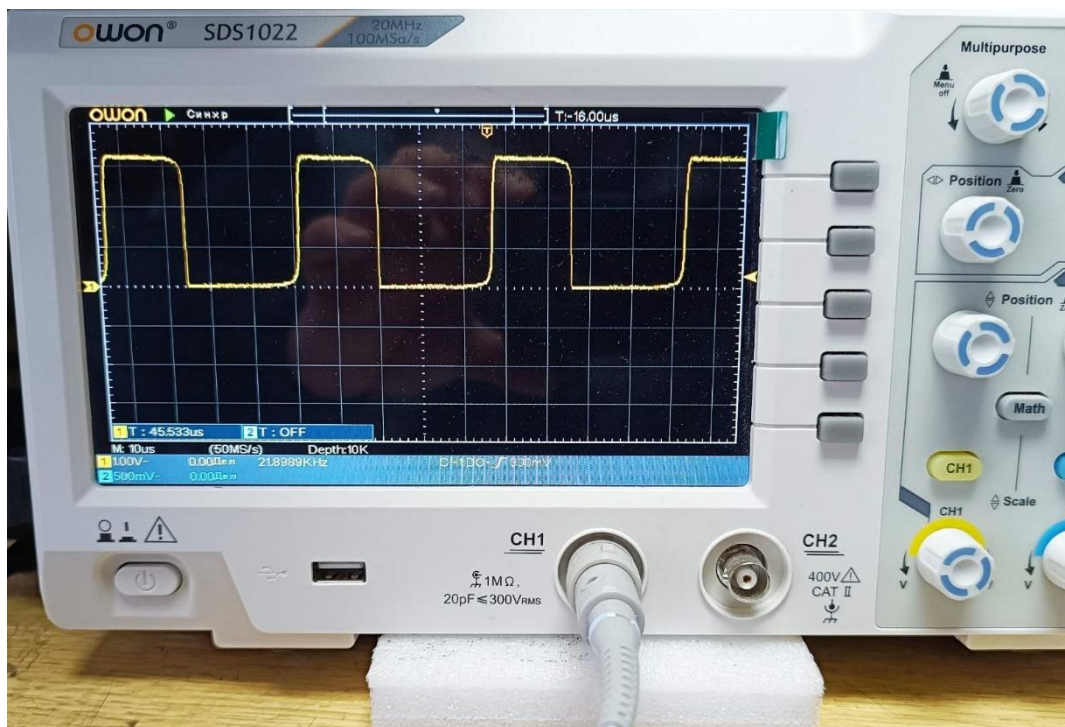


Рис.3.11. Осцилограма прямокутних імпульсів при вазі 900 г

Зведемо отримані дані у таблицю 3.1.:

Таблиця 3.1

Залежність частоти прямокутних імпульсів від ваги натиску

№ з/п	Контрольна вага, для імітації сили натиску, г	Частота прямокутних імпульсів, кГц
1	10	21,1659
2	20	21,1663
3	30	21,1670
4	40	21,1678
5	50	21,1868
6	100	21,2868
7	200	21,3948
8	300	21,4895
9	400	21,5968
10	500	21,6987
11	600	21,7940
12	700	21,8719
13	800	21,9636
14	900	22,0644

Також в роботі проведене експериментальне дослідження при прямому включенні п'єзодавачів.

Пряме підключення п'єзодатчиків до електронних схем є важливим аспектом у розробці вимірювальних та керуючих пристроїв. П'єзодатчики перетворюють механічні впливи, такі як тиск, прискорення або вібрації, у електричні сигнали завдяки прямому п'єзоелектричному ефекту

Однак, для ефективного використання цих сигналів необхідно враховувати особливості п'єзодатчиків та забезпечити правильне підключення до електронних схем.

П'єзодатчики мають високий вихідний імпеданс, що робить їх чутливими до навантаження та впливу зовнішніх електромагнітних завад [58-60]. Крім того, вони генерують змінні сигнали, амплітуда та частота яких залежать від інтенсивності та характеру механічного впливу. Тому пряме підключення п'єзодатчика до мікроконтролера або іншого електронного пристрою вимагає врахування цих факторів для забезпечення точності та надійності вимірювань.

Існує декілька підходів до підключення п'єзодатчиків до електронних схем:

Підключення через підсилювач заряду: оскільки п'єзодатчики генерують електричний заряд у відповідь на механічний вплив, підсилювач заряду перетворює цей заряд у пропорційну напругу. Це забезпечує стабільний сигнал, менш чутливий до впливу навколишнього середовища.

Підключення через операційний підсилювач: використання операційного підсилювача з високим вхідним імпедансом дозволяє мінімізувати вплив навантаження на п'єзодатчик та підсилити сигнал до рівня, придатного для подальшої обробки [61].

Пряме підключення до мікроконтролера: у деяких випадках п'єзодатчик можна підключити безпосередньо до аналогового входу мікроконтролера. Однак, через високий вихідний імпеданс датчика та можливі завади, рекомендується використовувати буферний підсилювач для покращення якості сигналу.

Розглянемо схему, де п'єзодатчик підключений до неінвертуючого входу операційного підсилювача. Вихід підсилювача підключений до аналогового входу мікроконтролера для подальшої обробки сигналу.

П'єзодатчик: перетворює механічний вплив у електричний сигнал.

Операційний підсилювач: підсилює сигнал від п'єзодатчика.

Резистор зворотного зв'язку: визначає коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Мікроконтролер: обробляє підсилений сигнал для подальшого використання.

На рисунку 3.12 показано при прямому включенні п'єзодавача осцилограму отриману на осцилографі OWON SDS1022

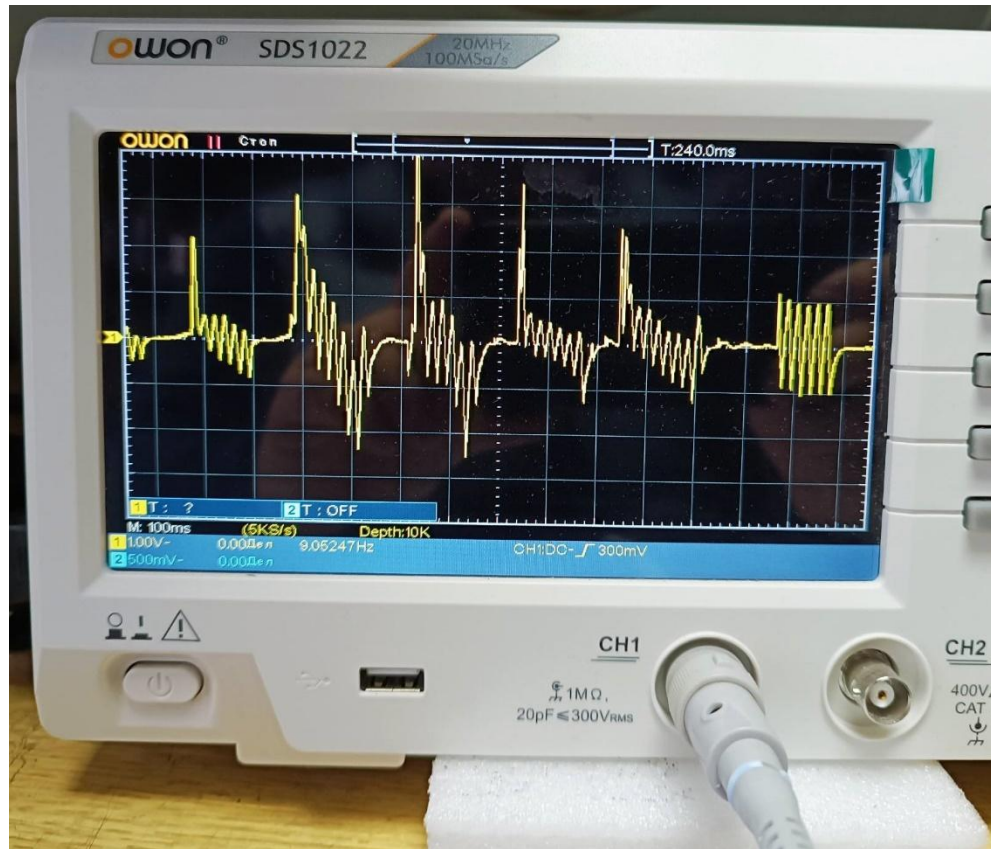


Рис.3.12. Осцилограма імпульсів при імітації натискання на п'єзодавач пальцем середньостатистичної людини

Пряме підключення п'єзодатчиків до електронних схем можливе за умови врахування їхніх особливостей та застосування відповідних схемотехнічних рішень. Використання підсилювачів та правильне екранування забезпечують отримання якісного сигналу для подальшої обробки, що є критично важливим у вимірювальних та керуючих системах [62-65].

3.4. Висновки до розділу 3

Розділ, присвячений підключенню п'єзодатчиків, обробці їх сигналів та генераторам прямокутних імпульсів із використанням п'єзодатчиків у колі зворотного зв'язку, розкриває ключові аспекти схемотехнічних рішень, що лежать в основі ефективного використання таких систем.

П'єзодатчики завдяки своєму п'єзоелектричному ефекту дозволяють перетворювати механічні впливи на електричний сигнал із високою чутливістю та швидкодією. У дослідженні було виявлено, що: пряме підключення

п'єзодатчиків до електронних схем можливе за умови врахування особливостей, таких як високий вихідний імпеданс та чутливість до зовнішніх перешкод.

Для покращення якості сигналів рекомендовано застосовувати підсилювачі заряду та операційні підсилювачі з високим вхідним опором, що дозволяє уникати втрат сигналу й мінімізувати вплив навантаження.

Генератор прямокутних імпульсів із п'єзодатчиком як елементом зворотного зв'язку забезпечує стабільну генерацію імпульсів із визначеними характеристиками. Основні переваги такої системи: висока стабільність вихідного сигналу за рахунок зворотного зв'язку; широкий діапазон частот, який залежить від механічного впливу на п'єзодатчик; можливість калібрування системи для відтворення точних тактильних впливів.

Проведені експерименти з макетом генератора прямокутних імпульсів із використанням п'єзодатчика типу DAT28 дозволили отримати осцилограми імпульсів при різних значеннях контрольної ваги. Отримані результати продемонстрували лінійну залежність частоти імпульсів від сили натискання. Зведення даних у таблицю дозволило провести аналіз роботи системи та показало високу стабільність генерації сигналів навіть при збільшенні навантаження.

На основі розробленої схеми генератора вдалося створити робочий макет, який успішно імітував натискання за допомогою каліброваних тягарців. Пряме підключення п'єзодатчиків, що проводилось у дослідженні, дозволило отримати якісні результати, які підлягали обробці й аналізу.

Під час дослідження були визначені основні переваги застосування п'єзодатчиків у зворотному зв'язку: висока чутливість до найменших механічних змін, стабільність сигналу завдяки використанню підсилювачів і генераторів, Широкий частотний діапазон і швидкодія системи.

Таким чином, показана ефективність п'єзодатчиків для імітації тактильного зворотного зв'язку, їх надійність і можливість застосування у сучасних вимірювальних та автоматизованих системах.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Охорона праці є невід'ємною складовою будь-якого виробничого процесу і спрямована на забезпечення безпечних та здорових умов праці для працівників. Вона включає систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних, реабілітаційних та інших заходів. Метою охорони праці є запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням та аваріям на виробництві.

В Україні охорона праці регулюється низкою законодавчих актів, зокрема:

- 1) Кодексом законів про працю України;
- 2) Законом України "Про охорону праці";
- 3) Державними стандартами та нормативними актами з охорони праці.
- 4) Законодавство встановлює обов'язки роботодавців щодо створення безпечних умов праці та забезпечення соціального захисту працівників.

До основних принципів охорони праці можна віднесемо пріоритет життя та здоров'я працівників над результатом певної виробничої діяльності.

Комплексний підхід до вирішення завдань охорони праці може включати певні організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні та спеціальні соціальні заходи. Запобіжний характер при охорони праці, може бути спрямований на попередження небезпечних ситуацій.

Розглянемо відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці. За участі працівників в управлінні охороною праці, організація процесу охорони праці на певному підприємстві буде включати:

1. Службу охорони праці: кожне підприємство, незалежно від форми власності та виду його діяльності, має мати службу охорони праці або

призначено відповідального фахівця. До основних завдань як відносяться до служби можна віднести розробку і впровадження заходів з охорони праці, контроль за дотриманням нормативно-правових актів з охорони праці, проведення інструктажів та навчальних лекцій для працівників та можливе розслідування нещасних випадків та/ або розроблення заходів стосовно їх запобігання та протидії.

2. Навчальний процес та інструктування з охорони праці - роботодавець повинен забезпечувати навчання працівників по питаннях охорони праці, що включатиме вступний інструктаж (буде проводиться при прийнятті на роботу), первинний інструктаж на робочому місці (проводиться перед початком роботи), повторний інструктаж (може проводитися періодично і буде залежати від умов праці), позаплановий інструктаж (виникає у разі змін у поточному технологічному процесі та/або після певних нещасних випадків).

3. Медичні огляди працівників – передбачає запобігання типовим професійним захворюванням працівники що проходять періодичні обов'язкові медичні огляди. Це включає попередній мед.огляд (при прийомі на роботу), періодичний мед.огляд (в процесі виконання своїх функціональних обов'язків та трудової діяльності), позачерговий мед.огляд (призначається при необхідності або при підозрі на наявність прихованого захворювання).

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів буде включати в себе такі фактори:

1. Небезпечні виробничі фактори – це фактори, вплив яких на працівника та/ або працівників може призводити до травми або іншого раптового негативного погіршення здоров'я. До них відносять: механічні небезпечні фактори (рухомі частини певного технологічного обладнання); електричні небезпечні фактори (відкриті провідники електричного струму, певне високовольтне обладнання); теплові небезпечні фактори (гарячі поверхні обладнання, відкрите полум'я); вибухонебезпечні та пожежонебезпечні виробничі середовища.

2. До шкідливі виробничі фактори слід віднести фактори, які можуть спричинювати певні професійні захворювання при досить або систематичному впливі:

- Хімічні (токсичні) речовини;
- Фізичні фактори впливу;
- Біологічні фактори та мікроорганізми, біологічні токсичні речовини;
- Психофізіологічні фактори такі як перенапруження та можливий стрес.

До засобів колективного та індивідуального захисту відносяться засоби колективного захисту (вони спрямовуються на захист всіх наявних працівників на робочих місцях, вентиляційні приточно-витяжні системи для видалення шкідливих речовин з робочої зони), екранні та бар'єри щодо захисту від певних механічних впливів, автоматизовані системи для сигналізування та захисту.

До засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) відносять засоби що призначені для захисту окремого працівника персонально: Спецодяг та спецвзуття, Респіратори та маски різного ступеня захисту, захисні спецокуляри та спец щитки, засоби для захисту окремих частини тіла людини, такі як спецрукавиці, спец каски та спецберуші.

Роботодавеці зобов'язані забезпечувати працівників необхідними ЗІЗ та слідкувати та контролювати їх використання.

До протипожежної безпека будемо відносити організаційні заходи, що спрямовані на розробка планів евакуації, навчання персоналу у випадку дій та у разі пожежі, регулярні поточні протипожежні інструктажі.

До технічні заходів можна віднести обладнання приміщень протипожежною сигналізацією, наявність повірених і перевірених вогнегасників та інших засобів гасіння пожеж, використання і застосування негорючих матеріалів у конструкціях використовуваних будівель.

А до електробезпеки віднесемо виконання електроустановок відповідно до чинних нормативних вимог та інструкцій, регулярний прискіпливий технічний огляд та обслуговування всього наявного електрообладнання,

допуски до роботи з електроустановками лише кваліфікованого персоналу після перевірки, використання захисного заземлення та занулення корпусів обладнання, неупереджене розслідування та облік усіх нещасних випадків.

При цьому, у разі нещасного випадку на виробництві роботодавець повинен негайно організувати першу допомогу потерпілому, потім повідомити відповідні органи та службу охорони праці, також провести службове розслідування обставин і причин настання події, спланувати та розробити заходи щодо запобігання подібним випадкам у майбутньому.

До психо-фізіологічні аспекти при організації охорони праці віднесемо забезпечення раціонального правильного режиму праці та відпочинку, профілактику настання професійного вигорання, створення сприятливого психологічного мікро- та макроклімату в колективі, проведення загальних тренінгів та поточних семінарів для управління і контролю над стресом.

Ергономіку робочого місця можна забезпечити при раціональному планування робочого простору та правильному виборі обладнання і інструментів, враховуючи майже усі антропометричних дані працівників підприємства.

Систему менеджменту безпеки та гігієни праці можна організувати на прикладі OHSAS 18001 та/або ISO 45001, при цьому слід проводити регулярний аудит і аналіз поточної ефективності заходів з охорони праці на підприємстві із залученням працівників до процесу прийняття рішень у сфері безпеки.

Тому, охорона праці є комплексною системою, котра вимагає постійної уваги та безперервного вдосконалення. Ефективна організація охорони праці на підприємстві може забезпечувати безпеку та здоров'я усіх працівників, та сприятиме збільшенню продуктивності праці, зниженню витрат виробництва пов'язаних з разовими нещасними випадками та поточними професійними хворобами чи захворюваннями, а також буде покращувати ділову репутацію підприємства.

Створення таких безпечних умов праці є загальним та спільним завданням роботодавця та усіх наявних працівників, що вимагатиме відповідальності, знання та досить активної участі обох сторін виробничого

процесу. Завдяки такому системному підходу та дотриманню усіх чинних законодавчих вимог можна досягати досить високого рівня безпеки та забезпечувати стійкий розвиток підприємства.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації (НС) — це події, що виникають раптово і призводять до порушення нормальних умов життя та діяльності людей, завдають шкоди здоров'ю, довкіллю та матеріальним цінностям. Забезпечення безпеки в таких ситуаціях є пріоритетним завданням держави, організацій та кожного громадянина.

НС класифікуються за походженням, масштабом та характером ураження. Основні види НС:

- Природного характеру:
- Геологічні: землетруси, зсуви, обвали.
- Метеорологічні: урагани, буревії, снігові замети.
- Гідрологічні: повені, цунамі.
- Біологічні: епідемії, епізоотії.

Техногенного характеру - пожежі та вибухи: на промислових об'єктах, транспорті. Аварії з викидом небезпечних речовин - хімічних, радіоактивних. Транспортні аварії - залізничні, авіаційні, морські. Енергетичні аварії - відключення електроенергії, газу. Екологічного характеру - забруднення навколишнього середовища: повітря, води, ґрунту.

В Україні питання безпеки в НС регулюються такими нормативно-правовими актами:

- Кодекс цивільного захисту України.
- Закон України "Про правовий режим надзвичайного стану".
- Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру".
- Постанови Кабінету Міністрів України щодо реагування на НС.

Ці документи визначають повноваження органів влади, обов'язки підприємств та громадян у сфері цивільного захисту.

При цьому система цивільного захисту України включає: Державну службу України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), місцеві органи влади, громадяни.

У разі виникнення НС, виділяють такі етапи управління в надзвичайних ситуаціях

- 1) Підготовка до НС - розробка планів реагування: визначення можливих загроз, розробка сценаріїв дій.
- 2) Навчання та тренування - проведення навчань для населення та спеціалізованих служб.
- 3) Забезпечення ресурсами - створення резервів матеріальних засобів, обладнання, медикаментів.
- 4) Виявлення та оцінка НС- Моніторинг обстановки: спостереження за потенційно небезпечними об'єктами та природними явищами.
- 5) Оцінка ризиків - аналіз ймовірності виникнення НС та можливих наслідків.
- 6) Реагування на НС - оповіщення населення: використання систем оповіщення для інформування про загрозу.
- 7) Евакуація - організоване виведення людей із небезпечних зон.
- 8) Рятувальні роботи - надання допомоги постраждалим, локалізація та ліквідація наслідків НС.
- 9) Відновлення після НС - реабілітація постраждалих: медична та психологічна допомога.
- 10) Відновлення інфраструктури - ремонт та реконструкція пошкоджених об'єктів.
- 11) Аналіз та вдосконалення - оцінка ефективності дій під час НС та внесення коректив до планів реагування.

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях є комплексним завданням, що вимагає злагодженої роботи державних органів, місцевої влади,

підприємств та громадян. Ефективне оповіщення, своєчасна евакуація та належна підготовка населення до дій у разі НС є ключовими елементами, що сприяють мінімізації негативних наслідків та збереженню життя і здоров'я людей.

Оповіщення населення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій є одним із основних завдань цивільного захисту. В Україні функціонує автоматизована система централізованого оповіщення (АСЦО), яка включає загальнодержавну, територіальні та місцеві підсистеми. Основу системи оповіщення складають автоматизовані системи, що забезпечують своєчасне доведення сигналів та інформації з питань цивільного захисту до органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій і населення

Сирени та гучномовці: використовуються для подачі сигналу "Увага всім!", який привертає увагу населення до подальшої інформації. Радіо та телебачення: після сигналу сирени передаються офіційні повідомлення про характер небезпеки та рекомендації щодо дій. Мобільний зв'язок та Інтернет: завдяки розвитку сучасних технологій, люди мають можливість отримувати інформацію про надзвичайні ситуації безпосередньо на свої мобільні пристрої. Спеціальні мобільні додатки та текстові повідомлення дозволяють швидко сповістити населення про загрози та надати необхідні рекомендації щодо дій

Підтримання системи оповіщення у постійній готовності, своєчасне доведення через неї мовної інформації про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій до населення, керівного і чергового складу цивільного захисту громади, потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів з масовим перебуванням людей з використанням мереж телерадіомовлення, стаціонарного, мобільного зв'язку та інших засобів є критично важливим

Евакуація населення є одним із основних способів захисту в разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій. Вона передбачає організоване виведення або вивезення людей із небезпечних зон до безпечних районів. Планування евакуаційних заходів покладається на місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування та суб'єкти господарювання

Обов'язкова евакуація населення завчасно планується та проводиться у разі виникнення загрози аварій з викидом радіоактивних та небезпечних хімічних речовин, катастрофічного затоплення місцевості, масових лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, зсувів, інших геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів, а також збройних конфліктів. Підготовка населення до дій у разі НС є важливим елементом системи цивільного захисту. Навчання проводиться за місцем роботи для працюючого населення та за місцем проживання. Психологічна підтримка в умовах надзвичайних ситуацій є важливим аспектом забезпечення безпеки та благополуччя постраждалих. Фахівці Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) надають допомогу безпосередньо на місцях ворожих ударів, евакуацій і навіть під час впізнання тіл загиблих. Психологічна підтримка особливо необхідна у ситуації, коли людина внаслідок обстрілів і руйнування будівлі чи автомобіля опинилася ізольованою.

4.3. Висновки до розділу 4

У розділі було розглянуто ключові аспекти забезпечення безпеки та здоров'я працівників, а також заходи, необхідні для ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Акцентовано увагу на важливості створення безпечних умов праці, дотриманні нормативно-правових актів та впровадженні сучасних технологій для мінімізації ризиків виробничого травматизму. Також зосереджено увагу на аналізі планів дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, підготовці персоналу до швидкого та ефективного реагування, а також на забезпеченні необхідними ресурсами для ліквідації наслідків таких подій.

Загалом, розділ підкреслює необхідність комплексного підходу до питань охорони праці та безпеки, що включає як превентивні заходи, так і готовність до дій у критичних ситуаціях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено метод тактильного зворотного зв'язку для підвищення ефективності роботизованої хірургії, що є актуальним напрямом у сучасній медицині. Відсутність тактильного зворотного зв'язку в існуючих роботизованих системах, таких як Da Vinci Surgical System, обмежує можливості хірургів у відчутті взаємодії з тканинами пацієнта, що може впливати на якість операцій.

У процесі дослідження було розроблено макет генератора прямокутних імпульсів із п'єзодатчиком у колі зворотного зв'язку. Цей макет дозволяє моделювати та аналізувати залежність частоти імпульсів від сили натискання, що імітує тактильні відчуття під час хірургічних втручань. Калібрування системи здійснювалося за допомогою еталонних тягарців масою від 10 г до 900 г, що забезпечило високу точність вимірювань.

Результати експериментів підтвердили ефективність використання п'єзодатчиків для створення тактильного зворотного зв'язку в роботизованих хірургічних системах. Зокрема, було досягнуто високу чутливість та стабільність сигналу, що є критично важливим для забезпечення безпеки та точності під час операцій та запропоновано спосіб опрацювання з використанням середовища Python.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи в існуючі роботизовані хірургічні комплекси, що підвищить їх функціональність та ефективність. Крім того, результати дослідження можуть бути використані в інших галузях, де необхідна імітація тактильних відчуттів, наприклад, у віртуальній реальності або дистанційному керуванні роботами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Surgical Robotics: Systems Applications and Visions. Springer, 2020. 412 с.
2. Advances in Tactile Feedback for Robotic Surgery // IEEE Transactions on Robotics. 2021. Vol. 37, No. 5. P. 854–867.
3. Da Vinci Surgical System Overview. Intuitive Surgical. 2023. URL: <https://www.intuitive.com> (дата звернення: 03.12.2024).
4. Future Trends in Robotics-Assisted Surgery // Journal of Robotics. 2023. Vol. 58, No. 4. P. 230–245.
5. Misra S., Ramesh K.T. Robotic Surgery: Principles and Practice. Elsevier, 2022. 387 p.
6. Chowriappa A., Bacchus J., Goldenberg M. Artificial Intelligence in Surgery. Springer Nature, 2020. 452 p.
7. Senhance Surgical System. Technical Overview. Asensus Surgical. 2023. URL: <https://www.asensus.com> (дата звернення: 03.12.2024).
8. Versius Surgical Robotic System: Technology and Applications. CMR Surgical, 2023. 112 p.
9. Kim H.J., Cho D.W. Medical Robotics and Computer-Assisted Surgery // Annals of Biomedical Engineering. 2022. Vol. 50, No. 6. P. 1238–1250.
10. Gonzalez A.M., Taylor R.H. Telemedicine and Robotic Surgery: Emerging Applications // International Journal of Surgery. 2021. Vol. 29, No. 3. P. 215–225.
11. Smith R., Bauer J. Ethical Considerations in Robotic Surgery // Journal of Medical Ethics. 2021. Vol. 47, No. 8. P. 607–613.
12. Mazor Robotics: Applications in Spinal Surgery // Clinical Orthopaedics and Related Research. 2022. Vol. 480, No. 5. P. 1350–1357.
13. CorPath GRX System: Revolutionizing Cardiology // American Journal of Cardiology. 2022. Vol. 130, No. 2. P. 250–256.
14. Klein G., Braune A. Challenges in Robotic Surgery Education // Surgical Innovation. 2021. Vol. 28, No. 4. P. 310–318.
15. Frangi A.F., Lamata P. Personalised Robotic Systems in Surgery // Nature Biomedical Engineering. 2020. Vol. 4, No. 3. P. 234–243.

- 16.Butterworth S. On the theory of filter amplification // Experimental Wireless and the Wireless Engineer. 1930. Vol. 7. P. 536–541.
- 17.Signal Processing Overview [Електронний ресурс] // SciPy Documentation. – Режим доступу: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/signal.html> (дата звернення: 03.12.2024).
- 18.Numerical Computing with Python [Електронний ресурс] // NumPy Documentation. – Режим доступу: <https://numpy.org> (дата звернення: 03.12.2024).
- 19.Machine Learning and Signal Processing [Електронний ресурс] // TensorFlow Documentation. – Режим доступу: <https://tensorflow.org> (дата звернення: 03.12.2024).
- 20.Калман Р. Е. Теорія фільтрації в реальному часі. – Київ : Наука і Техніка, 2020. – 178 с.
- 21.Михайленко А. Г., Петров В. В., Грищенко І. М. Основи математичного моделювання в біомедичній інженерії. – Київ : НТУУ "КПІ", 2020. – 256 с.
- 22.Лапшин В. І., Сидоренко Л. П. Сенсорні системи у робототехніці. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 324 с.
- 23.Воронін І. В. Роботизовані хірургічні системи з тактильним зворотним зв'язком. – Одеса : ОНУ, 2021. – 228 с.
- 24.Da Vinci Surgical System White Paper. – California : Intuitive Surgical Inc., 2023. – 32 p.
- 25.HaptiTouch Technical Overview // IEEE Transactions on Robotics. 2022. Vol. 38(3). P. 512–525.
- 26.Overview and Features [Електронний ресурс] // Senhance Surgical System. – Режим доступу: <https://www.cmrsurgical.com/senhance> (дата звернення: 03.12.2024).
- 27.Advanced Tactile Sensors. – Berlin : Springer, 2021. – 402 p.
- 28.Machine Learning in Robotic Surgery // Journal of Medical Robotics. 2022. Vol. 14(1). C. 1–15.

29. Python Libraries for Signal Processing [Електронний ресурс] // SciPy Documentation. – Режим доступу: <https://scipy.org> (дата звернення: 03.12.2024).
30. Butterworth S. Filter Design Techniques. – London : Butterworth Publications, 2022. – 154 p.
31. Воробйов С. М., Іваненко Т. О., Капустін Д. Ю. П'єзоелектричні сенсори: основи роботи та застосування. – Харків : Техніка, 2018. – 288 с.
32. Федоренко О. В., Яровий К. О., Залізняк М. М. Роботизовані системи в хірургії. – Львів : ЛНУ, 2021. – 212 с.
33. Visualization in Signal Processing [Електронний ресурс] // Matplotlib Documentation. – Режим доступу: <https://matplotlib.org> (дата звернення: 03.12.2024).
34. Piezo Film Sensors Technical Overview [Електронний ресурс] // TE Connectivity. – Режим доступу: <https://www.te.com/usa-piezo-film> (дата звернення: 03.12.2024).
35. Strain Gauges Overview [Електронний ресурс] // Vishay Precision Group. – Режим доступу: <https://www.vpgsensors.com> (дата звернення: 03.12.2024).
36. FlexiForce Sensors [Електронний ресурс] // Tekscan Product Data Sheet. – Режим доступу: <https://www.tekscan.com> (дата звернення: 03.12.2024).
37. Piezoelectric Phenomena in Biomedicine // Journal of Applied Physics. 2021. Vol. 56(12). P. 1385–1402.
38. Theory and Applications of Filters in Electronics. – New York : Academic Press, 2020. – 210 p.
39. Springer Handbook of Robotics. – Berlin : Springer, 2021. – 1350 p.
40. Python for Data Analysis [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oreilly.com> (дата звернення: 03.12.2024).
41. Enhancing Tactile Feedback // IEEE Conference Proceedings. 2022. P. 295–310.
42. Tactile Integration in Robotics // Journal of Advanced Surgery. 2023. Vol. 5(2). P. 87–102.

- 43.Scikit-learn Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scikit-learn.org> (дата звернення: 03.12.2024).
- 44.Filter Applications in Signal Processing. – London : Taylor & Francis, 2021. – 180 p.
- 45.White A. R. Signal Processing in Robotic Systems. – London : CRC Press, 2023. – 254 p.
- 46.Tactile Feedback Enhancement with Python // IEEE Robotics Magazine. 2023. Vol. 11(4). P. 365–379.
- 47.TensorFlow User Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tensorflow.org> (дата звернення: 03.12.2024).
- 48.Piezoelectric Phenomena in Engineering. – Hoboken : Wiley Press, 2022. – 198 p.
- 49.Da Vinci Surgical System Innovations. – California : Intuitive Surgical Inc., 2023. – 25 p.
- 50.Machine Learning for Robotics [Електронний ресурс]. – MIT Press, 2023. – Режим доступу: <https://mitpress.mit.edu> (дата звернення: 03.12.2024).
- 51.Робототехніка в медицині: сучасні технології : зб. наук. пр. – Київ : Наука, 2021. – 412 с.
- 52.Pavlo Tymkiv, Aleksandra Kłos-Witkowska, Zhanna Babiak, Viktor Koshelyuk, Andriy Holovko. Robotic Arm Concept for Surgery: Integrating of 3D Printing and IoT Technologies. Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2024. Vol. 3742. P.249-260. ISSN 1613-0073
53. Pavlo Tymkiv, Aleksandra Kłos-Witkowska, Oksana Bahrii-Zaiats, Serhii Kovalyk. Smart Prosthetics in Surgery: AI-Driven Tactile Feedback Using Piezoelectric Sensors. Proceedings of the 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024). Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol.3842. P.208-217. ISSN 1613-0073.

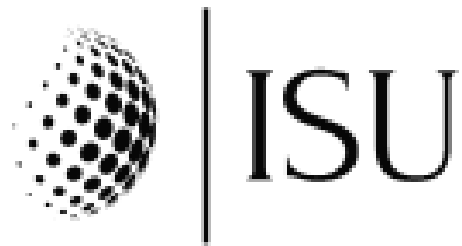
54. Sadia, B., Emgin, S. E., Sezgin, T. M., & Basdogan, C. (2021). Data-Driven Vibrotactile Rendering of Digital Buttons on Touchscreens. arXiv preprint arXiv:2103.16518.
55. Komeno, N., & Matsubara, T. (2021). Tactile Perception based on Injected Vibration in Soft Sensor. arXiv preprint arXiv:2104.09790.
56. Роботизована хірургія: загадковий прогрес у медичних технологіях [Електронний ресурс] // Dr. Symonov. – Режим доступу: <https://dr-symonov.com/blog/robotizovana-hirurgiya-zagadkovij-progres-u-medichnih-tehnologiyah>. – Дата звернення: 18.12.2024.
57. Перший досвід використання роботичної хірургічної системи "Senhance" під час холецистектомії [Електронний ресурс] / О. В. Кургайов, О. В. Кургайов, О. В. Кургайов // ResearchGate. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/375304066_The_first_experience_of_using_the_Senhance_robotic_surgical_system_during_cholecystectomy/fulltext/65463bf3ce88b87031c2fab5/The-first-experience-of-using-the-Senhance-robotic-surgical-system-during-cholecystectomy.pdf. – Дата звернення: 18.12.2024.
58. Senhance – роботична ендоскопічна хірургічна система дистанційного керування [Електронний ресурс] // Digital Laparoscopy. – Режим доступу: <https://digitallaparoscopy.com.ua/>. – Дата звернення: 18.12.2024.
59. П'єзоелектричний двигун, пристрій управління (зворотний зв'язок), пристрій обробки і індикації інформації [Електронний ресурс] // Stud.com.ua. – Режим доступу: https://stud.com.ua/166350/tehnika/pyezoelektrichniy_dvigun. – Дата звернення: 18.12.2024.
60. Verge розповідає про те, як завдяки тактильному зворотному зв'язку хірургія віртуальної реальності виглядає реальною [Електронний ресурс] // Healthy Simulation. – Режим доступу: <https://www.healthysimulation.com/uk/Verge> – Дата звернення: 18.12.2024.
61. Архітектура систем реабілітації з біологічним зворотним зв'язком [Електронний ресурс] / О. В. Кургайов // Інститут механіки ім. С. П.

Тимошенка НАН України. – Режим доступу:
https://immsp.kiev.ua/publications/articles/2022/2022_3/03_22_Kurgaev.pdf.
 – Дата звернення: 18.12.2024.

62. Pavlo Tymkiv, Yuriy Leshchyshyn. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electretinosignal. CADSM 2019, February 26 – March 2, 2019, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE
63. Тимків П.О. Синтез фільтру Калмана для опрацювання низько інтенсивного електроретиносигналу / П.О. Тимків, В.П. Забитівський, Б.І. Яворський // Міжнародний науково-технічний журнал "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – Хмельницький. – 2016. – № 1. – Обмін практичним досвідом та технологіями. – С.168-176
64. Тимків П.О. Застосування закону Вебера-Фехнера у квантовій електроретинографії / П.О. Тимків, Ю.З. Лещишин, В.П. Забитівський, Л.Б. Демчук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського: Інформаційні системи і технології. Математичне моделювання. – Кременчук. – 2015. – № 5(94). – С. 79-85.
65. Pavlo Tymkiv. Analysis of the Complexity of Algorithms for Finding the Coefficients of the Mathematical Model of Low-Intensity Electretinosignal. ADVANCED APPLIED ENERGY and INFORMATION TECHNOLOGIES 2021. Proceedings of the International Conference (Ternopil, 15-17 of December 2021.) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil Ivan Puluj National Technical Universtiy [and other.]. – Ternopil : TNTU, Zhytomyr : «Publishing house “Book-Druk”» LLC, 2021. – P.145-150.

ДАТКИ





INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY

LII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PRACTICAL CONFERENCE
**«Scientific Research in the Age of Virtual
Reality: Exploring New Frontiers»**

Collection of abstracts

December 18-20, 2024
Montreal, Canada

UDC 01.1

LII International scientific and practical conference «Scientific Research in the Age of Virtual Reality: Exploring New Frontiers» (December 18-20, 2024) Montreal, Canada. International Scientific Unity, 2024. 305 p.

ISBN 978-617-8427-42-9

DOI 10.70286/ISU-18.12.2024

The collection of abstracts presents the materials of the participants of the International scientific and practical conference «Scientific Research in the Age of Virtual Reality: Exploring New Frontiers».

The conference is included in the Academic Research Index ReserchBib International catalog of scientific conferences.

The materials of the collection are presented in the author's edition and printed in the original language. The authors of the published materials bear full responsibility for the authenticity of the given facts, proper names, geographical names, quotations, economic and statistical data, industry terminology, and other information.

The materials of the conference are publicly available under the terms of the CC BY-NC 4.0 International license.

ISBN 978-617-8427-42-9



© Authors of theses, 2024
 © International Scientific Unity, 2024
 Official site: <https://isu-conference.com/>

CONTENT

SECTION: ACCOUNTING AND TAXATION

Овод Л., Дженджик А. РОЛЬ УПРАВЛІНСЬКОГО ОБЛІКУ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА.....	13
---	----

Долішня Т.І., Василечко Ю.В. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ, ОРГАНІЗАЦІЇ ОБЛІКУ ТА ОПОДАТКУВАННЯ СУБ'ЄКТІВ МАЛОГО ПІДПРИЄМНИЦТВА.....	17
--	----

Васильчук М.А., Микитюк В.М. НАУКОВІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБЛІКУ, АНАЛІЗУ, АУДИТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ.....	21
--	----

Пушкар І.В., Графська Д.С. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ SWOT-АНАЛІЗУ ТА PIMS- АНАЛІЗУ.....	24
---	----

SECTION: AGRICULTURAL SCIENCES

Заболотний О.І. ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОЇ МІКРОБНИМИ ПРЕПАРАТАМИ НА ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУРИ.....	27
---	----

Карпенко В.В. УРАЖЕНІСТЬ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО КОРЕНЕВИМИ ГНІЛЯМИ ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ З ФУНГІЦИДНИМ ЕФЕКТОМ.....	29
---	----

SECTION: ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Колесников О.Є., Божко К.В. ПРИРОДНІ ПОРОЖНЕЧІ (URBAN VOIDS) МІСТА ХАРКОВА.....	32
---	----

Войко Н.Ю., Тимофієнко А.О. ЗАСОБИ ТА ПРИЙОМИ ЛАНДШАФТНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕКРЕАЦІЙНИХ ПРОСТОРІВ У ЛІСОВІЙ МІСЦЕВОСТІ.....	37
--	----

SECTION: ART HISTORY AND LITERATURE

Ковальчук О.О., Дубовий О.В. ТИПОЛОГІЯ БОТАНІЧНОЇ ІЛЮСТРАЦІЇ: ВЗАЄМОДІЯ МИСТЕЦТВА ТА НАУКИ У ВІДОБРАЖЕННІ ПРИРОДИ.....	43
---	----

SECTION: COMPUTER ENGINEERING

Моружко В. РЕЦЕНЗУВАННЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ: ПРОБЛЕМИ, З ЯКИМИ СТИКАЮТЬСЯ НАУКОВЦІ.....	46
--	----

Шевчук Б., Перловська А. РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ.....	48
--	----

SECTION: ECONOMY

Макух Т., Озіковський С. МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ БАНКРУТСТВА – ОСНОВА АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ.....	51
--	----

Mishchuk M., Kulguk I., Skorebogata L. ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ АДМІНІСТРУВАННЯ БІЗНЕС- ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПІДПРИЄМНИЦЬКОГО КАПІТАЛУ ЗА УМОВ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ.....	54
---	----

Павленко О.М. РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ УКРАЇНСЬКОГО АГРОСЕКТОРА.....	58
--	----

Хоманець В.А. ФІНАНСОВІ ІНСТРУМЕНТИ ТОРГОВЕЛЬНОЇ ДИПЛОМАТІЇ ДЕРЖАВ.....	61
--	----

Андрієнко М., Самітов Р. ЗБАЛАНСОВАНО СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ МОДЕЛІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА.....	65
---	----

Прокоп'єва А., Величко А. ВИКЛИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ: СТАН ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ В УКРАЇНІ В УМОВАХ КРИЗИ COVID-19 ТА ВІЙНИ.....	68
---	----

Вакуленко В.Л. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА, ЯК ОСНОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ.....	72
Дрокін С.П., Бірченко Н.О. РОЛЬ ПЕРВИННИХ ДОКУМЕНТІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДОСТОВІРНОСТІ ОБЛІКУ ВИРОБНИЧИХ ЗАПАСІВ.....	75
Ємельянова Н.В., Рижикова Н.І. ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗРОБКИ ОБЛІКОВОЇ ПОЛІТИКИ ПІДПРИЄМСТВА.....	77
Жорник А.С., Ткаченко Б.В., Бірченко Н.О. СУТНІСТЬ ОБЛІКОВО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТУ УПРАВЛІННЯ ЗАРОБІТНОЮ ПЛАТОЮ.....	79
Буга Н.Ю., Левченко Н.К. УПРАВЛІННЯ ФІНАНСОВИМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ПІДПРИЄМСТВА: ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИ.....	81
Яремко Л.А., Євещ С.І. ОСОБЛИВОСТІ КРИЗИ ЗАБОРГОВАНOSTІ КРАЇН ЄВРОЗОНИ В 2010-2014 РР.....	84
Петрова А., Дейнека М., Мельник Д. ІННОВАЦІЇ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ЗРОСТАННЯ: АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ.....	86
Авраменко Н. ДИНАМІКА ТА СТРУКТУРА ІМПОРТУ Й ЕКСПОРТУ ХІМІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ В ПЕРІОД ВІЙНИ.....	89
Костенюк Ю.Б., Лахай К.В. SWOT – АНАЛІЗ ЯК ОСНОВНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ.....	93
Яценко Г.Ю. ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК СИСТЕМИ ОСВІТИ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ТА ПІСЛЯ ВІЙНИ.....	95
SECTION: HISTORY	
Савич А.В. АНАЛІЗ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ІСТОРИЧНОГО КОНТЕКСТУ ПОДІЙ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СУЧАСНИХ ІСТОРИКІВ.....	101

SECTION: INFORMATION TECHNOLOGY & CYBERSECURITY

Кривенко О.В., Мальцева О.В. БІЗНЕС-МОДЕЛЬ СУПРОВОДУ АБІТУРІЄНТІВ ПІЛЬГОВИХ КАТЕГОРІЙ ОСВІТНІМ ЦЕНТРОМ ДВНЗ «ПРІАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ».....	105
Євланов М.В., Міщенко О.А. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ІНТУІТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗАПИТІВ НА ЗМІНИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	111
Горчаков С., Ракецький А., Патлаха О. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАДАЧІ КОШІ.....	116
Bilova T., Hryhorian I. PROJECT MANAGEMENT METHODS FOR THE DEVELOPMENT OF HOSPITAL INFORMATION SYSTEMS (HIS).....	119
Семко О., Семко В. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙЯТТЯ РІШЕНЬ В НОВІТНІХ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	122
Деркач Т., Бабанський О. ІГРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ПРОГРАМУВАННЯ У БАЗОВОМУ КУРСІ ІНФОРМАТИКИ.....	126
Тимошинин Р.Е., Лучик В.Є. АНАЛІЗ КРИПТОВАЛЮТ ТА БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ У КІБЕРЗЛОЧИНАХ: ВІДМИВАННЯ ГРОШЕЙ ТА НЕЛЕГАЛЬНІ ФІНАНСОВІ ОПЕРАЦІЇ.....	128
Баторі М.О., Лучик В.Є. ЕТИЧНЕ ХАКЕРСТВО, ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДО КІБЕРЗАГРОЗ.....	131
Микитин Г., Руда Х. МЕТОДИ ДЕТЕКЦІЇ СИНТЕТИЧНИХ АУДІОЗАПИСІВ, СТВОРЕНИХ СИСТЕМАМИ КЛОНУВАННЯ ГОЛОСУ.....	132

SECTION: INTERNATIONAL RELATIONS**Baula O.**

VECTORS OF STATE EXPORT POLICY IN THE CONTEXT OF TRANSFORMATION OF THE GLOBAL BUSINESS ENVIRONMENT.....	137
---	-----

SECTION: JURISPRUDENCE**Голуб В.К.**

ОКРЕМІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРАВА НА АЛЬТЕРНАТИВНУ (НЕВІЙСЬКОВУ) СЛУЖБУ ЯК ОДНІЄЇ З ФОРМ ВИКОНАННЯ КОНСТИТУЦІЙНОГО ОБОВ'ЯЗКУ ЩОДО ЗАХИСТУ ВІТЧИЗНИ...	142
---	-----

Москаленко Я.С., Репан М.І.

ВІДМІННІСТЬ СЕКСУАЛЬНОГО ДОМАГАННЯ ВІД СЕКСУАЛЬНОГО НАСИЛЬСТВА: ПРАВОВИЙ АНАЛІЗ.....	150
---	-----

Польова А., Волторніст С., Максименко О., Лисенко О.

ВОЛОНТЕРСЬКИЙ РУХ В УКРАЇНІ: ПРАВОВІ АСПЕКТИ ТА РОЛЬ У ГРОМАДЯНСЬКОМУ СУСПІЛЬСТВІ.....	153
---	-----

Грищенко М.В.

ADMINISTRATIVE LAW AS A MEANS OF ENSURING EQUAL OPPORTUNITIES FOR PROFESSIONAL GROWTH.....	156
---	-----

Репченок А.Ю.

ЮРИДИЧНИЙ АСПЕКТ КОРУПЦІЙНИХ ДІЙ У СИСТЕМІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я.....	160
---	-----

SECTION: MANAGEMENT**Гудима О.**

ПОДАТКОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЯК ПІДСИСТЕМА ФІНАНСОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ.....	163
---	-----

Кривець І., Мотрич Ю., Луговий О., Хреттій Д.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ІМІДЖУ КОМПАНІЇ ЯК МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ МАРКЕТИНГОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ.....	167
---	-----

Дмитришин Я., Левада А., Приємський Ю., Тараненко А.

ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ КОМПЛЕКСНОГО ТА СИСТЕМНОГО ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	169
--	-----

Scientific Research in the Age of Virtual Reality: Exploring New Frontiers

Опалат Д. УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМ РОЗВИТКОМ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ.....	172
Бессмертний А. УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА В СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	174
Грибушин Б. УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА.....	177
Майковець Т. ЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ПІДПРИЄМСТВА.....	179
Євтух С. УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	181
Кучер О. УПРАВЛІННЯ ДИВЕРСИФІКАЦІЄЮ ПІДПРИЄМСТВА.....	183
Бойко А., Пархоменко В., Касяненко О., Дудник О. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЗАЦІЄЮ.....	186
SECTION: MARKETING AND ADVERTISING	
Захаренко-Селезньова А.М. RETENTION-МАРКЕТИНГ ЗАДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УТРИМАННЯ КЛІЄНТІВ.....	189
Криворучко О., Вовняко Д. ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧОЇ ПОВЕДІНКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПЛИВУ НА ПРОСУВАННЯ КОМПАНІЇ.....	191
SECTION: MEDICINE	
Гончарова Н.М., Базилевич М.Г. МАЛОІНВАЗИВНЕ ЛІКУВАННЯ ГОСТРОГО ПАНКРЕАТИТУ ТА ЙОГО УСКЛАДНЕНЬ.....	193

Кузьміна С.О., Гаврилов А.В. КАЛЕНДАР ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЩЕПЛЕНЬ: УКРАЇНА ТА КРАЇНИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗА.....	195
Приймак Д.В., Соловйова Є.Т. ЕПІЛЕПСІЯ: НОВІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕРАПІЇ.....	198
Лосенко Н.В., Гулієва В., В'юн І.А. СУЧАСНІ ПІДХОДИ В ДІАГНОСТИЦІ ТА ЛІКУВАННІ ПОСТСТЕРНОТОМІЧНОГО МЕДІАСТЕНІТУ.....	201
Данько Ю.С., Ячменська Е.С., Несольова Л.О., Шарапидзе К.З. ПОЗИТИВНИЙ ВПЛИВ САНАЦІЇ ПІХВИ У ВАГІТНИХ ЖІНОК З КОЛЬПІТОМ, ПЕРЕД ПОЛОГАМИ.....	206
SECTION: PEDAGOGY, PHILOLOGY AND LINGUISTICS	
Korchuk T., Drachuk V., Dikal M. THE ROLE OF COMMUNICATION SKILLS IN SHAPING A SUCCESSFUL EDUCATIONAL ENVIRONMENT AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF STUDENTS.....	208
Розмовна К.А. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ.....	211
Shalova N., Lakiichuk O., Zarivna O., Khimai N. IMPORTANCE OF COMMUNICATIVE ENVIRONMENT FORMATION FOR DISTANCE LEARNING.....	214
Bezruk I.V. ENGLISH IDIOMS AS A WAY TO EXPRESS YOUR THOUGHTS.....	216
Kazantsev Yu.V. PERSONALIZED LEARNING OF FOREIGN LANGUAGES WITH AI-POWERED TECHNOLOGIES.....	218
Kashuba L.V. READINESS OF FUTURE SPECIAL TEACHERS TO FORMATION OF SOCIAL AND ECONOMIC COMPETENCE OF PERSONS WITH PSYCHOPHYSICAL DISORDERS.....	222

Навольський С. ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ТА ПРОФЕСІЙНО-ЦІННІСНІ ОРІЄНТИРИ В ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ МАРКЕТОЛОГІВ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....	225
Коняхін Ю.О. КОМПОНЕНТИ ПЕДАГОГІЧНОЇ ПРАКТИКИ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ІСТОРІЇ.....	227
Савельєва О. АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ ЯК НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА ТА ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ ЯКОСТІ.....	231
Овчиннікова І.І. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ВИКЛАДАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ В ПОЧАТКОВИХ КЛАСАХ НА ОСНОВІ ТРАВМА- ІНФОРМОВАНОГО ПІДХОДУ ЯК НАУКОВА ПРОБЛЕМА.....	233
Melnychuk S.P., Batranovska S.O. THE NEED FOR FORMATION OF HEALTHPRESERVING COMPETENCE IN MEDICAL STUDENTS.....	236
SECTION: PHILOSOPHY	
Дудник Я. ФЕНОМЕН СТРАХУ У ФІЛОСОФІЇ: ВІД СОКРАТА ДО ЕКЗИСТЕНЦІАЛІЗМУ.....	239
SECTION: PHYSICAL EDUCATION AND SPORT	
Гета А.В., Останов А.В., Косяк О.В. МОЖЛИВОСТІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ОЗДОРОВЛЕННЯ СТУДЕНТІВ.....	241
SECTION: POLITICS AND SOCIOLOGY	
Черба В., Корягіна Т., Шух О. СОЦІАЛЬНА РОБОТА З БЕЗДОМНИМИ В УКРАЇНІ (ДОСЛІДЖЕННЯ СПРІЙНЯТТЯ СУЧАСНОЮ МОЛОДДЮ ПРОБЛЕМИ БЕЗДОМНОСТІ).....	245

SECTION: PSYCHOLOGY

Боровик О., Мехнар Л. РЕЗИЛЬЄНТНІСТЬ ТА ЇЇ ПРОЯВИ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ РЯТУВАЛЬНИКІВ.....	248
Костенюк Ю.Б., Суперсон С.С. ОСОБЛИВОСТІ ЕТИКИ АЗІАТСЬКИХ КРАЇН.....	250
Галушко О.І., Ткаченко Н.В. ЕМПІРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНО- ПСИХОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДПРИЄМЦІВ.....	252

SECTION: PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

Семитківська Т.О., Шепеленко Є.О. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ АВІАЦІЇ ПОТРЕБУЄ КОМПЕТЕНТНИХ ЕКСПЕРТІВ.....	258
Донченко І.І. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ КОМУНІКАЦІЙ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ В УКРАЇНІ.....	261
Копитко М.І., Вінічук М.В. ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ ПРОЦЕСУ ДЕМОКРАТИЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ В УКРАЇНІ.....	263

SECTION: TECHNICAL SCIENCES

Кушнерова Н.І., Землянський В.А. ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛІВ ВПРАВ.....	265
Кушнерова Н.І., Бабін І.А. АЛГОРИТМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕКІПАЖІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ПРИ АКТИВІЗАЦІЇ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ.....	269
Красножон В.О., Боровікова А.О. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ КОНТРОЛЮ НАЗЕМНОГО РУХУ...	273

Кушнерова Н.І., Єрьоменко І.Д. МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВИДАЧІ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПРИ ВИРІШЕННІ ПОТЕНЦІЙНО-КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ.....	276
Макаренко Л. РОЗУМНЕ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ.....	281
Яцела С. ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВІД ІНДУКТИВНОЇ ПЕРЕНАПРУГИ: ПРИНЦИПИ, МЕТОДИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ.....	284
Кушнерова Н.І., Герасьов В.А. МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ЗСУВУ ВІТРУ НА ПОЛЬОТ ПОВІТРЯНОГО СУДНА.....	286
Джус А.П., Касаткін С.В., Думний О.В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ СВІТОВИХ ВИРОБНИКІВ В ІНТЕРВАЛАХ ЗІ ЗБІЛЬШЕНОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВИКРИВЛЕННЯ ЗА ВЕЛИКОГО ГАЗОВІСТУ.....	291
Кочкодан Я., Юрич Л., Питак Д. ВПЛИВ ВІСТУ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЮЛОЗИ НА ФІЛЬТРАЦІЮ ТА РОЗТІЧНІСТЬ ТАМПОНАЖНОГО РОЗЧИНУ.....	295
Тимків П., Жарський Н., Петров В. МЕТОД ТАКТИЛЬНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИЗОВАНОЇ ХІРУРГІЇ.....	297
SECTION: TRANSPORT AND LOGISTICS	
Дригдін О.О., Ясншєна В.В. ВПЛИВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В КОМПАНІЯХ ЕКСПРЕС- ДОСТАВОК.....	301
Дригдін О.О., Ясншєна В.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ ЕКСПРЕС-ДОСТАВОК.....	303

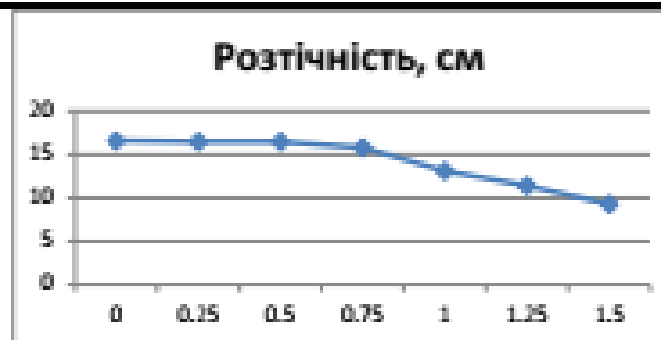


Рисунок 2 – Вплив вмісту КМЦ на розтічність тампонажного розчину

Зі збільшенням у розчині вмісту КМЦ розтічність зменшується, натомість терміни тузавіння збільшуються, досягаючи 50-60 годин. Фльтрація знижується, сягаючи мінімального значення 60,4 см³/30хв при 0,5-0,75% КМЦ. Погіршення властивостей тампонажного розчину спостерігається при збільшенні або зменшенні вмісту КМЦ.

Список використаних джерел

1. Орловський В. М. Підвищення якості цементування свердловин. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2010. № 3(36). С. 100 – 103.
2. Лігоцький М. В., Наритник І. І. Підвищення якості кріплення нафтогазових свердловин в зоні продуктивних горизонтів. Нафтова і газова промисловість. 2003. № 6. С. 23 – 25.
3. Кочкодан, Я. М., Юрч, Л. Р., Майструк, В. М. Дослідження стабілізованих цементно-бентоніто-солевих розчинів. Міжнародний науковий журнал «Грайль Науки» №44 (Жовтень, 2024) С. 328-333 <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.04.10.2024>

МЕТОД ТАКТИЛЬНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИЗОВАНОЇ ХІРУРГІЇ

Тимків Павло

к.т.н., старший викладач

Жарський Назарій

здобувач вищої освіти

Петров Віталій

Кафедра біотехнічних систем

Тернопільський національний технічний університет

імені Івана Пулюя, Україна

Тактильний зворотний зв'язок відіграє важливу роль у системах роботизованої хірургії. При цьому хірурги мають відчувати тканини під час операцій, що сприяє збільшенню точності рухів та зменшенню ризиків

пошкоджень [1]. Синтез ефективних систем тактильного зворотного зв'язку може створюватись на базі різних фізичних принципів та ефектів:

А) п'єзоелектричний ефект присутній у деяких матеріалах, що генерують електричний заряд під час деформації. Такий ефект дозволяє точно вимірювати тиск. Прикладом є датчики TE Connectivity Piezo Film Sensors, забезпечують досить високу чутливість та малі розміри.

Б) ємнісні датчики – змінюють свою ємність при контакті з поверхнею, та можуть оцінити текстуру та рельєф. Датчики Microchip CAP1298 Capacitive Touch Sensors успішно поєднуються в системах роботизованої хірургії для оцінки поверхні тканин.

В) резистивні датчики змінюють свій опір під дією механічного впливу та можуть використовуватись для вимірювання сили натискання. Датчики серії FSR 402 Force Sensing Resistors застосовуються в системах роботизованою хірургії завдяки простій конструкції та низькій вартості.

Для відтворення тактильних відчуттів можна використовувати різноманітні виконавчі механізми: від вібраційних пристроїв та гідравлічні системи, що імітують текстуру або силу опору тканин. Сучасні системи роботизованої хірургії системи, наприклад Da Vinci Surgical System [2] (див.рис.1), можуть забезпечувати високу точність маніпуляцій та достатній рівень візуалізації, але будуть мати певні обмеження.



Рисунок 1. Роботизована система Da Vinci Surgical System

Зокрема, відсутність природного тактильного зворотного зв'язку. Існують розробки системи роботизованої хірургії (HaptiTouch чи Senhance Surgical System), в яких цю проблему намагаються вирішити шляхом застосування гантичного зворотнього [3] зв'язку за допомогою вібрації та/або механічного опору.

Scientific Research in the Age of Virtual Reality: Exploring New Frontiers

Таблиця 1 Порівняльний аналіз відомих роботизованих систем для хірургії

№ п/п	Система	Основне призначення	Переваги	Недоліки
1	Da Vinci	Універсальна хірургія	Висока точність, 3D-візуалізація	Відсутність тактильного зв'язку
2	Senhance	Універсальна хірургія	Ергономіка, аналіз процедур	Обмежений функціонал
3	Vertius	Базові хірургічні операції	Доступність, модульність	Менша потужність
4	Master X	Хірургія хребта	Висока точність	Вузька спеціалізація
5	CocPath GRX	Кардіологія	Точність керування катетерами	Обмеженість застосування

Для оптимізації роботи систем тактильного зворотного зв'язку використаємо алгоритми машинного навчання, котрі дозволяють підлаштувати та адаптувати роботизовану систему до індивідуальних характеристик оператора-хірурга, та спрогнозувати їхню зміну поведінку під час операцій.

В роботі використано мову програмування Python, та бібліотеки (NumPy, SciPy, TensorFlow, див. Лістинг 1) що спростило реалізацію цих моделей та алгоритмів.

```

import matplotlib.pyplot as plt
# Генерація даних
np.random.seed(42)
X = np.random.rand(100, 1) * 10
y = 2.5 * X**2 - 1.2 * X + np.random.normal(scale=5, size=(100, 1))
# Поліноміальна регресія
degree = 2
model = make_pipeline(PolynomialFeatures(degree), LinearRegression())
model.fit(X, y)
# Передбачення
y_pred = model.predict(X)
# Візуалізація
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.scatter(X, y, label="Measured Data", alpha=0.7)
plt.plot(np.sort(X, axis=0), model.predict(np.sort(X, axis=0)), color='b', label=f"Degree {degree} Polynomial Fit")
plt.xlabel("Voltage (mV)")
plt.ylabel("Force (N)")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

```

Лістинг 1. Приклад коду у середовищі Python для опрацювання тактильних сигналів з п'єзодавачів

Створення такої системи тактильного зворотного дозволяє:

1) підвищити точність – оператори-хірурги можуть отримати певну додаткову інформацію про властивості об'єкта. Це сприяє більш точнішим рухам;

2) зменшення ризиків ускладнень;

3) краще навчання.

Проте, слід виділяти і певні недоліки:

- I) висока вартість;
- II) складність поєднання з існуючими системами;
- III) затримки та втрати інформаційних пакетів при передачі сигналів.

В майбутньому, розвиток систем тактильного зворотного зв'язку буде спрямований:

- a) Мінімізацію затримок та втрат інформаційних пакетів
- b) Максимізацію чутливості здавачів
- c) Зменшення вартості встановлення і інтеграції системи роботизованої хірургії

Висновки

Тактильний зворотний зв'язок у роботизованій хірургії є надзвичайно важливою складовою, яка значно впливає на ефективність і безпеку проведення хірургічних втручань. Завдяки можливості хірурга отримувати інформацію про фізичні властивості тканин, такі як текстура, жорсткість або сила опору, забезпечується висока точність маніпуляцій, що знижує ризик пошкоджень і ускладнень під час операцій. Синтез сучасних систем тактильного зворотного зв'язку базується на використанні давачів, таких як п'єзо-, ємнісні чи резистивні, що забезпечує можливості для адаптації систем до вимог різних операторів-хірургів.

Також, важливим є застосування алгоритмів машинного навчання та використання сучасного середовища Python. Ці технології дозволяють адаптовувати системи до індивідуальних потреб медичного закладу, прогнозувати проведення операцій з мінімальними ризиками для пацієнтів.

Список використаних джерел

1. Бізлі Р. А. Роботизована хірургія: сучасні застосування та майбутні напрями / Р. А. Бізлі // *Surgical Technology International*. – 2019. – Вип. 35. – С. 22–29.
2. Da Vinci Surgical System: Technological Innovations [Електронний ресурс] // Intuitive Surgical. – 2022. – Режим доступу: <https://www.intuitive.com/en-us/about-us/company/da-vinci-surgical-system>.
3. Сунь Ч., Ю Х. Гантний зворотний зв'язок у роботизованій хірургії: систематичний огляд / Ч. Сунь, Х. Ю // *Robotics and Autonomous Systems*. – 2023. – Т. 161. – С. 104226.

Лістинг програми в середовищі Python

```
import serial
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import time
# Налаштування послідовного з'єднання
ser = serial.Serial('COM3', 9600) # Змініть 'COM3' на відповідний порт
time.sleep(2) # Очікування встановлення з'єднання
data = []
try:
    while True:
        if ser.in_waiting > 0:
            line = ser.readline().decode('utf-8').rstrip() # Зчитування рядка з послідовного порту
            data.append(float(line)) # Перетворення на число та додавання до списку
            print(f"Значення: {line}")
except KeyboardInterrupt:
    print("Збір даних завершено.")
# Закриття послідовного з'єднання
ser.close()
# Створення DataFrame
df = pd.DataFrame(data, columns=['Значення'])
# Збереження даних у CSV
df.to_csv('piezodata.csv', index=False)
print("Дані збережено в piezodata.csv")
# Побудова графіка
plt.plot(df['Значення'])
plt.title('Дані з п'єзодатчика')
plt.xlabel('Час')
plt.ylabel('Значення')
plt.show()
```