



KAPITEL 5 / CHAPTER 5⁵ DEVICE "GLOVE" FOR REMOTE CONTROL OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-44-01-021

Вступ

Розвиток робототехніки в Україні має свою специфіку. З початком бойових дій широко застосовуються автономні мобільні роботи (АМР). Конструкція АМР складається з платформи, шасі та навісного обладнання. Вимоги до елементів конструкції АМР залежать від завдання, умов робочої зони та оперативної обстановки.

Система керування АМР може здійснити аналіз поточного стану робочого простору, генерувати стратегію досягнення визначеної мети, спланувати оптимальну траєкторію руху до об'єкту та синтезувати команди на виконавчі органи. До складу системи керування АМР входить набір датчиків, елементи штучного інтелекту, алгоритми машинного навчання та обчислень, інтерфейс, системи контролю, канали зв'язку і т.п.

Програмне забезпечення системи керування АМР містить алгоритми для інтерпретації поточного стану робочого простору, планування шляху та навігації навіть при наявності рухливих та/або нерухливих перешкод. Для уникнення зіткнення АМР використовують різноманітні методи навігації, щоб уповільнити, зупинити або змінити напрям руху навколо перешкоди, а потім продовжити виконання свого завдання. Це дозволяє реалізувати автономний «безаварійний» рух в межах робочого простору навіть при відсутності зорового контролю з боку оператора.

5.1 Пристрої дистанційного керування

Можливості використання АМР значно розширюються завдяки дистанційному керуванню. Ця технологія вже знаходить застосування в різних

⁵Authors: Koshovyi Mykola, Ashchepkova Natalya, Klymenko Svitlana
Author's sheets: 0,89



сферах, від промисловості до медицини, досліджень та розваг.

Останнім часом створено нові конструкції пристроїв керування мобільними роботам та маніпуляторами у вигляді екзоскелетонів, джойстиків, пультів, рукавичок і т.п. Такі пристрої належать до окремого класу носимих людино-машиних інтерфейсів (W-HMI). Розробка таких пристроїв обумовлена розширенням застосування дистанційного керування рухомими об'єктами. «Розумна» рукавичка оснащена датчиками, мікроконтролерами та електронними елементами може використовуватись як пульт дистанційного керування.

В статті [1] зазначена доцільність використання такої електронної рукавички для людей з обмеженими можливостями. Запропонована в [1] рукавичка оснащена датчиком вигину на кожному пальці. При згинаннях пальців правої руки система керування генерує команди для мобільного робота. Для руху вздовж заданої траєкторії потрібні команди «стоп», «вперед», «назад», «вперед вліво» и «вперед вправо». Команди від електронної рукавички передаються мобільному роботу по безпроводному каналу зв'язку. В робочому просторі без перешкод та бар'єрів максимальна відстань від електронної рукавички до мобільного робота 200 м. Використання датчиків вигину при розробці електронної рукавички дозволяє досягти простої конструкції та забезпечити легке інтуїтивне керування. Недоліком запропонованого пристрою є використання п'яти пальців для формування п'ятох керуючих команд. Розробка спеціального методу керування за допомогою жестів дозволило б зменшити кількість використаних датчиків вигину, зменшити габарити та вартість пристрою керування у вигляді рукавички.

В [2] представлено НМІ для керування автономним мобільним роботом з маніпулятором. НМІ реалізовано у вигляді двох рукавичок для одночасного керування за допомогою жестів рухливою платформою та маніпулятором з 5 ротаційними кінематичними парами. Аналіз представлених результатів доводить доцільність використання контролерів двох рукавичок для керування АМР із маніпулятором. Представлені методи динамічного керування жестами є найважливішим середовищем взаємодії людини і робота (HRI).



У статті [3] представлено людино-машинний інтерфейс «розумних рукавичок» на основі масиву тензодатчиків з гідрогелів, що проводять. «Розумна рукавичка» була сконструйована з використанням 3D структурного дизайну в поєднанні з матрицею датчиків. «Розумна рукавичка» на основі гідрогелевої гнучких сенсорних ґрат показала великі перспективи застосування в області людино-машинної взаємодії робота та віртуальної реальності (VR). Поєднуючись із системою обробки сигналів, «розумна рукавичка» може реалізувати просторове управління рухом безпілотного літального апарату (БПЛА) або автономного мобільного роботу (AMP).

В статті [4] запропоновано використання рукавички для керування рукою для збирання сміття. Рухливість кожного пальця схвату забезпечується п'ятьма сервоприводами. Завдяки датчикам вигину згинання пальців оператора обумовлює зміну опору у електричних ланцюгах та формує команди на серводвигуни. Візуальний контроль за виявленням об'єкту та переміщеннями схвату маніпулятора здійснюється за допомогою відеоспостереження. Таким чином, реалізується дистанційне керування процесом збору та розміщення сміття. Використання датчиків вигину спрощує конструкцію рукавички. Наявність п'яти сервопроводів для кожного пальця схвату доцільно було б застосувати для маніпуляцій з деталями складної геометричної форми, крихкими або вибухонебезпечними об'єктами. Доцільність застосування саме такої конструкції схвату для автоматизації збору сміття авторами [4] не доведена. Ускладнена конструкція схвату та опрацювання зображень обтяжує алгоритми керування та збільшує вартість впровадження запропонованої рукавички.

Дистанційне керування застосовується при створенні гнучких виробничих систем з великою кількістю технологічного та допоміжного обладнання. У статті [5] проаналізовано які системи HRC гарантують безпечну взаємодію людей та роботів у виробничому середовищі. Пропонується інженерне рішення – сенсорна рукавичка. Сенсорна рукавичка була побудована як механотронний пристрій і керувалася алгоритмом, який був спроектований та розроблений для обчислення даних та створення тривимірного рендерингу рукавички під час її руху.



Отримане зображення дозволило роботу розпізнати руку робітника під час спільної діяльності. Були проведені випробування для визначення точності, динамічного діапазону та практичності системи. Результати показали, що сенсорна рукавичка є інноваційним недорогим рішенням для безпечної співпраці людей та роботів.

У статті [6] представлено рукавичку, яка дозволяє оператору керувати роботом-маніпулятором шляхом зчитування руху руки та пальців людини. За допомогою прикріплених до рукавички двох датчиків вигину та гіроскопа виконується розпізнавання рухів руки та згинання пальців. Використання гіроскопа та датчиків вигину забезпечує керування роботом-маніпулятором з високим ступенем точності та повторюваності.

В [7] представлено результати дослідження рукавички для дистанційного керування схватом з двома пальцями. Конструкція створена з використанням Arduino Uno та серводвигунів. Автори в [7] обговорюють комерційні перспективи впровадження таких W-НМІ. Враховуючи обмеженість технічних характеристик Arduino Uno, економічна обґрунтованість впровадження запропонованої розробки у складі ГВС викликає сумніви.

В статті [8] запропоновано гнучку рукавичку даних на основі мультиплексованого гнучкого волоконно-оптичного датчика з просторовим поділом. Волокно демонструє високу стабільність оптичної передачі та хороші характеристики спрацьовування при деформації. Представлена рукавичка даних точно розпізнає та відстежує жести оператора, а потім передає команду маніпулятору для виконання такого ж жесту. Запропоновану систему дистанційного керування можна застосовувати для копіювання механічним захватом жестів та рухів кісті людини при маніпуляціях з вибухонебезпечними об'єктами.

Взаємодія дайвера та спеціального робота – водолаза – приклад дистанційного керування в екстремальних умовах. Поданий у статтях [9, 10] метод дистанційного керування використовує типові жести дайвера, які передаються роботу за допомогою рукавички та акустичного зв'язку. У статті [9]



представлено технологічне рішення, яке включає пряме захоплення руху пальців і кисті за допомогою розумної рукавички для дайвінгу з вбудованими датчиками розтягування і інерційним вимірювальним блоком. У статті [10] наведено результати натурних випробувань з демонстрацією можливості дистанційного керування роботом за допомогою типових жестів дайвера. Командні жести дайвера розпізнаються рукавичкою, що носиться, і передаються через акустичні модеми (і Інтернет для віддаленого підключення). Дайвер зміг дати команду роботу рухатися у шести напрямках із затримкою не більше 6 з між початком жесту та початком дії робота.

Дистанційне керування широко застосовується у медичних робототехнічних системах. В статті [11] запропонована конструкція протезу руки з використанням flex-sensor Arduino UNO. Ідея полягає в тому, щоб розробити роботизовану руку, яка має низьку вартість, проста у використанні та легка за вагою, що допомагає людям з ампутованими кінцівками легко використовувати її у повсякденному житті. Ефективність запропонованого контролю перевіряється та валідується за допомогою моделювання.

У статті [12] запропонована недорога рукавичка даних на основі еластичного оптоволоконного датчика з функцією самокалібрування. Волокно має гарну гнучкість і високу стабільність при розтягуванні, згинанні та деформації вдавлювання. Наведено результати тестування під час розпізнавання керування маніпулятором для копіювання жесту. Рукавичка демонструє гарний відгук, чутливість та стабільність при передачі даних. Представлений пристрій дистанційного керування має широкий потенціал розвитку в галузі телемедицини.

У статті [13] пропонується гнучка рукавичка передачі даних з функцією самокалібрування на основі мультиплексованого гнучкого волоконно-оптичного датчика з просторовим поділом. Волокна силіконового каучуку демонструє чудову гнучкість та високу стабільність при розтягуванні, згинанні та деформації кручення. При розпізнаванні сигналів рукавичка забезпечує ефективне збирання та обробку інформації в режимі реального часу. Запропонований пристрій



дистанційного керування - недорогий, із швидкою реакцією та надійною структурою. Запропоновану рукавичку даних доцільно застосовувати при розпізнаванні мови жестів, телемедицини та взаємодії людини з роботами.

Аналіз літератури дозволяє стверджувати, що розробка рукавички для дистанційного керування АМР є актуальним науково-прикладним завданням. Впровадження цього пристрою дозволить успішно виконувати транспортні операції та зберегти функціональність АМР, незважаючи на часткову втрату зв'язку, апріорну невизначеність та екстремальні умови робочого простору.

Метою дослідження є розробка пристрою дистанційного керування АМР у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку. Це дасть можливість забезпечити безпеку людини-оператора, покращити ефективність та живучість мобільних роботів при експлуатації їх в екстремальних умовах. Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

–сконструювати пристрій керування у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку,

–виготовити діючу модель пристрою дистанційного керування у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку,

–провести експериментальні дослідження руху моделі АМР із застосуванням пристрою дистанційного керування у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку.

5.2. Об'єкт керування

5.2.1 Конструкція автономного мобільного робота

Розширення сфери застосування та ускладнення завдань для сучасних АМР обумовлює наявність елементів конструкції, рухомих відносно платформи робота. Для виконання технологічних операцій мобільний робот оснащено навісним обладнанням: маніпулятор, ківш, бур, антена і т.п. [14] (рисунок 1).

При експлуатації АМР ці елементи рухаються відносно платформи, змінюючи геометрію мас системи. Однак, при виконанні технологічних операцій



можна відокремити наступні режими руху [15]:

- рух АМР вздовж заданої траєкторії із «зачекованим» маніпулятором,
- виконання навісним обладнанням технологічних операцій при нерухливій платформі,
- виконання навісним обладнанням технологічних операцій при рухливій платформі,
- рух АМР вздовж заданої траєкторії із маніпулятором, який утримує об'єкт.

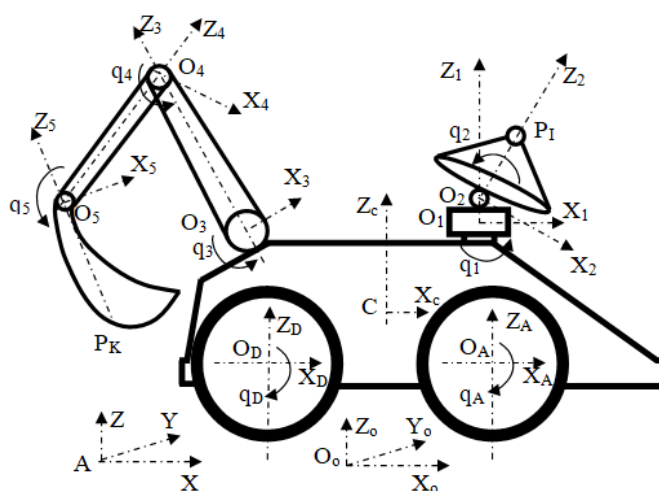


Рисунок 1 - Схема конструкції автономного мобільного робота з навісним обладнанням [14].

Джерело: [14]

При переміщенні АМР змінюваної конфігурації по заданому маршруту система керування має забезпечити мінімальне відхилення центру мас платформи від заданої траєкторії. При цьому керуючі моменти направлені вздовж осей системи координат, зв'язаної з платформою АМР.

4.2.2 Модель автономного мобільного роботу

При створення діючої моделі пристрою керування (рукавички) та виконання експериментальних досліджень розглянуто повнопривідну чотирьохколісну платформу АМР без навісного обладнання.

Для опрацювання методу дистанційного керування за допомогою жестів в



межах інжинірингової школи ГО «Ноосфера» була створена експериментальна модель мобільного робота з довжиною платформи 30 см (рисунок 2).

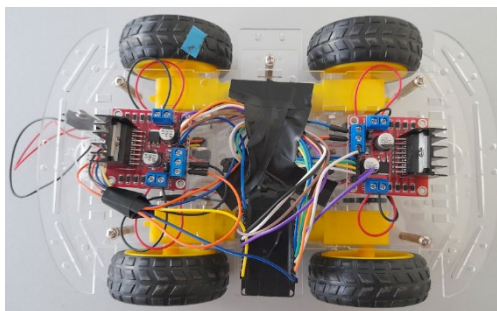


Рисунок 2 - Модель платформи автономного мобільного робота.

Авторська розробка

Систему керування моделі повнопривідного мобільного робота (рисунок 2) створено на базі мікроконтролера ESP 32 Devkit v1 [16]. При складанні системи керування повнопривідного чотирьохколісного шасі використано чотири мотор – редуктори з колесами [17]. Ці мотори мають високий коефіцієнт корисної дії, що дозволяє економно використовувати заряд акумулятора.

4.3 Електричні елементи

Для створення пристрою керування застосовано модуль DevKit V1 30-pin (рисунок 3) побудований на мікромодулі ESP-WROOM-32 виробництва компанії Espressif [16].



Рисунок 3 - Модуль DevKit V1 з ESP-32

Джерело: [16]

ESP-WROOM-32 виконаний на базі двоядерного чіпсету ESP32, із змінною тактовою частотою від 80 МГц до 240 МГц з можливістю індивідуального управління і живлення. Модуль DevKit V1 виконано в мініатюрному корпусі 25,5



мм × 18 мм та призначено для створення автономних електронних пристроїв. Вибір саме цього модуля обумовлений наявністю вбудованої Flash пам'яті, РСВ антени і можливістю передачі команд по трьом незалежним каналам керування. Модуль підтримує протоколи стандартів WiFi 802.11n і BT4.2. Даний функціонал забезпечуються через інтерфейси SPI/SDIO або I2C/UART. Основні технічні характеристики модулю DevKit V1 з ESP-32 наведено у таблиці 1 [16].

Таблиця 1 - Основні технічні характеристики модулю DevKit V1 з ESP-32

Характеристика	Значення
USB-UART конвертер:	CP2102
Напруга живлення:	5В
Максимальний струм стабілізатора напруги:	800мА
Wi-Fi Стандарти:	FCC/CE/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
Протоколи:	802.11 b/g/n/d/e/i/k/r (802.11n до 150 Мбіт/с)
Bluetooth протоколи:	Bluetooth v4.2 BR/EDR і BLE specification
Радіо NZIF	<ul style="list-style-type: none"> • приймач з чутливістю: -98 dBm • передавач: Class-1, class-2 і class-3 AFH • аудіо: CVSD і SBC
Частотний діапазон:	2.4 ~ 2.5 ГГц
Апаратні засоби та інтерфейси:	SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR
Генератор	кварцовий з частотою 26 МГц і 32 кГц
Живлення мікромодуля:	2.2 ~ 3.6 В
Робочий струм, середній:	80 мА
Робочий струм піковий:	500 мА
Діапазон робочих температур:	-40° С... + 85° С
Програмне забезпечення:	
Режими:	Wi-Fi Station / softAP / SoftAP + station / P2P
Захист:	WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS
Шифрування:	AES / RSA / ECC / SHA
Оновлення ПО:	UART Download / OTA (по мережі) / download and write firmware via host
Розробка програм:	Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
Мережеві протоколи:	IPv4, IPv6, SSL, TCP / UDP / HTTP / FTP / MQTT

Джерело: [16]



Для інтерпретації керуючих команд у запропонованому пристрої керування застосовано датчики вигину (flex sensor 2.2'') (рисунок 4).



Рисунок 4 - Датчик вигину (flex sensor 2.2'')

Джерело: [18]

Датчик вигину це змінний резистор, у якого величина опору прямо пропорційна куту вигину [18]. Технічні характеристики застосованих датчиків вигину наведено у таблиці 2 [18].

Таблиця 2 - Технічні характеристики датчиків вигину

Характеристика	Значення
Опір у початковому положенні	10 кОм ($\pm 30\%$)
Опір при згині на 90°	14 кОм ($\pm 30\%$)
Опір при згині на 180°	22 кОм ($\pm 30\%$)
Номінальна потужність	0,5 Вт
Пікова потужність	1 Вт
Максимальна кількість згинів	10^6 разів
Робоча температура	$-35^\circ\text{C} \dots 80^\circ\text{C}$

Джерело: [18]

5.4 Пристрій «Рукавичка» для дистанційного керування мобільним роботом

5.4.1 Конструкція рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Рукавичка для дистанційного керування забезпечує взаємодію між оператором та АМР. Запропонована схема конструкції рукавички передбачає наявність трьох вбудованих датчиків руху, мікроконтролеру та джерела



живлення (рисунок 5).

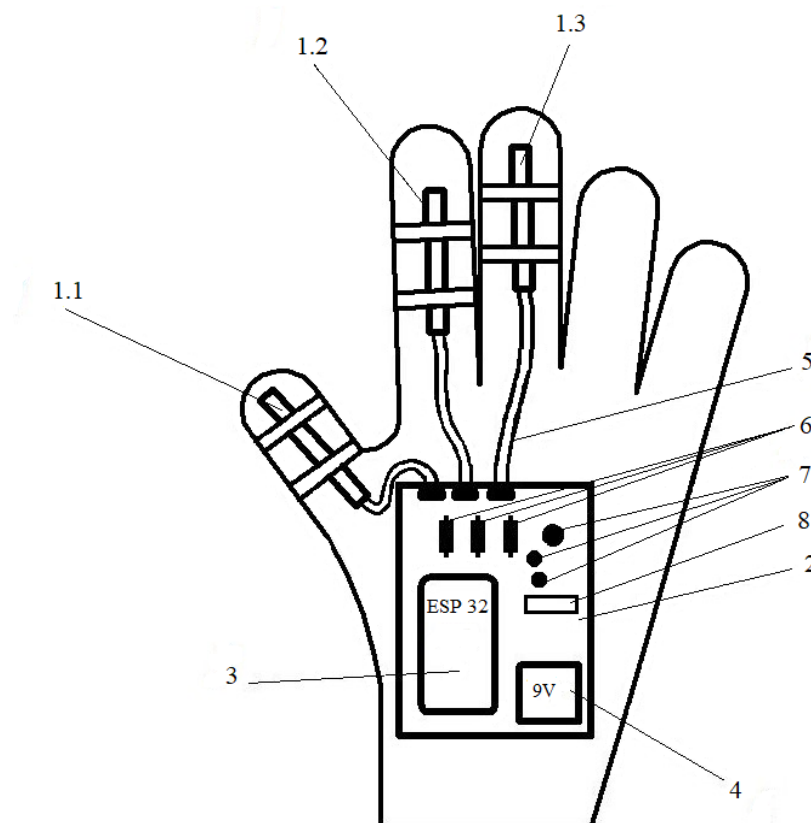


Рисунок 5 - Схема пристрою керування «рукавичка»: 1.1, 1.2, 1.3 – датчик вигину (flex sensor 2.2''), 2 – друкована плата, 3 – мікроконтролер ESP32 Devkit v1, 4 – акумулятор «Крона 9V» (6F22), 5 – провідник, 6 – резистори, 7 – конденсатори, 8 – тактовий генератор.

Авторська розробка

У запропонованій конструкції датчики вигину розташовані на вказівному, середньому та великому пальцях рукавички (рисунок 5). У подальшому буде розроблено метод керування АМР за допомогою жестів.

5.4.2 Схема електрична принципова рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Керуючі команди формуються за допомогою жестів. При вигині пальців flex-sensor змінюють опір відповідної гілки електричного ланцюга. Схема електрична принципова пристрою керування у вигляді рукавички наведена на рисунок 6.

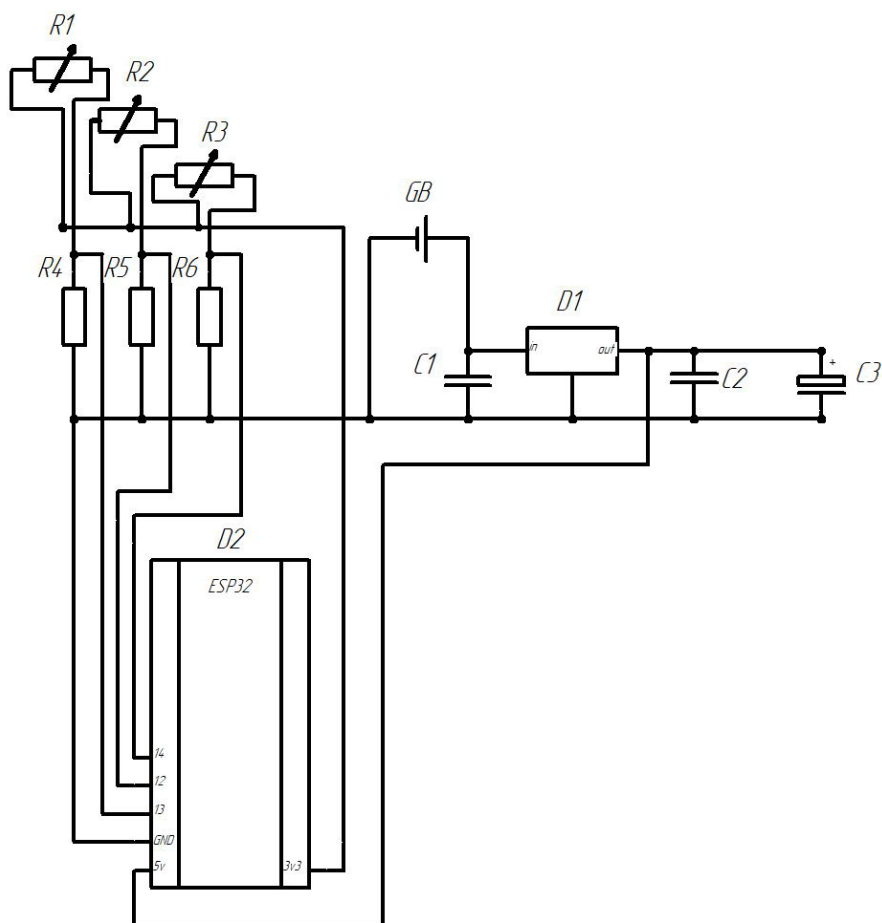


Рисунок 6 - Схема електрична принципова пристрою керування у вигляді рукавички.

Авторська розробка

Електрична схема пристрою керування містить блоки резисторів та конденсаторів. Джерелом живлення є акумулятор «Крона 9V» (6F22).

5.4.3 Друкована плата рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Згідно з електричною схемою пристрою керування розроблена друкована плата, яка забезпечує з'єднання електричних елементів на рукавичці (рисунок 7).

Друкована плата пришивається до рукавички або кріпиться за допомогою клею. Використання друкованої плати зменшує кількість кабелів і підвищує надійність електричних з'єднань у пристрої керування. Компактне розміщення електричних елементів сприяє зручності використання рукавички. Крім того,



закріплення датчиків вигину та друкованої плати до рукавички покращують функціональність та естетичний вигляд пристрою керування.

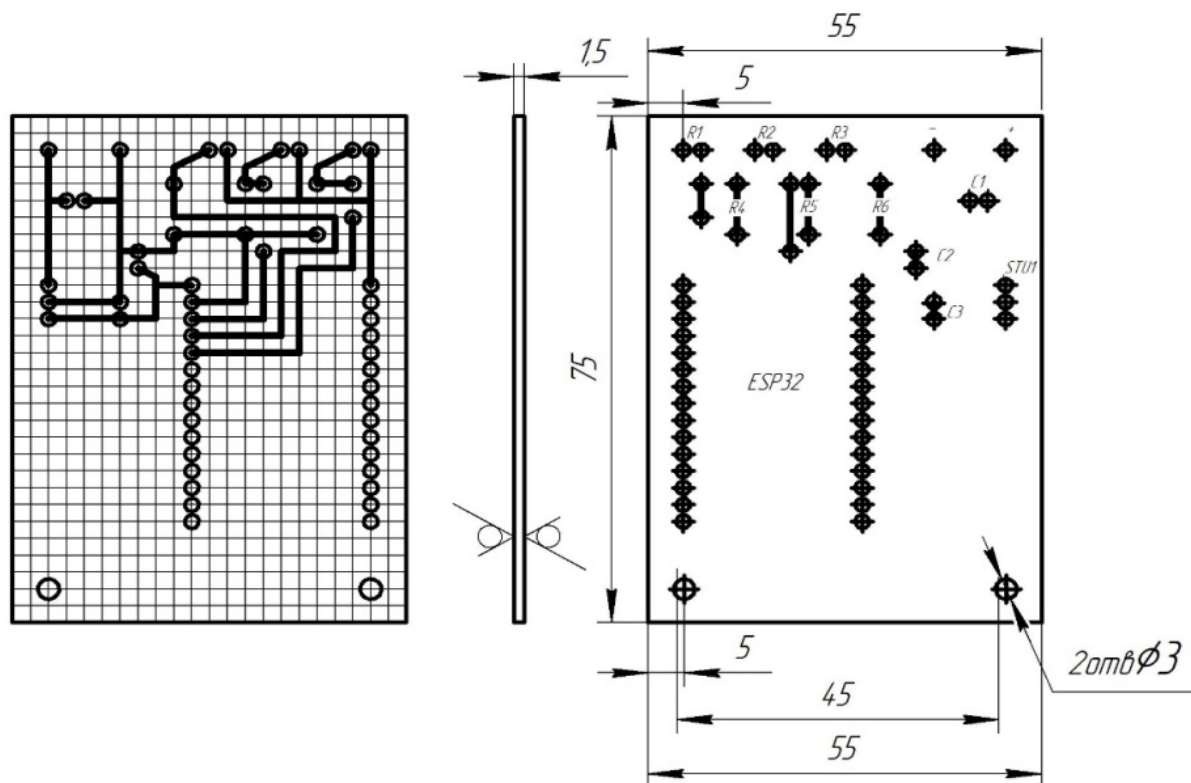


Рисунок 7 - Конструкція друкованої плати для пристрою керування у вигляді рукавички.

Авторська розробка

5.4.4 Експериментальний зразок рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Для створення експериментального зразку використано рукавичку для електромонтажних робіт, яка забезпечує захист від ураження струмом. Датчики вигину прикріплені за допомогою текстильних стрічок. Друкована плата зафіксована клеєм на тильному боці долоні. Зовнішній вигляд експериментального зразку пристрою керування у вигляді рукавички наведено на рисунку 8.

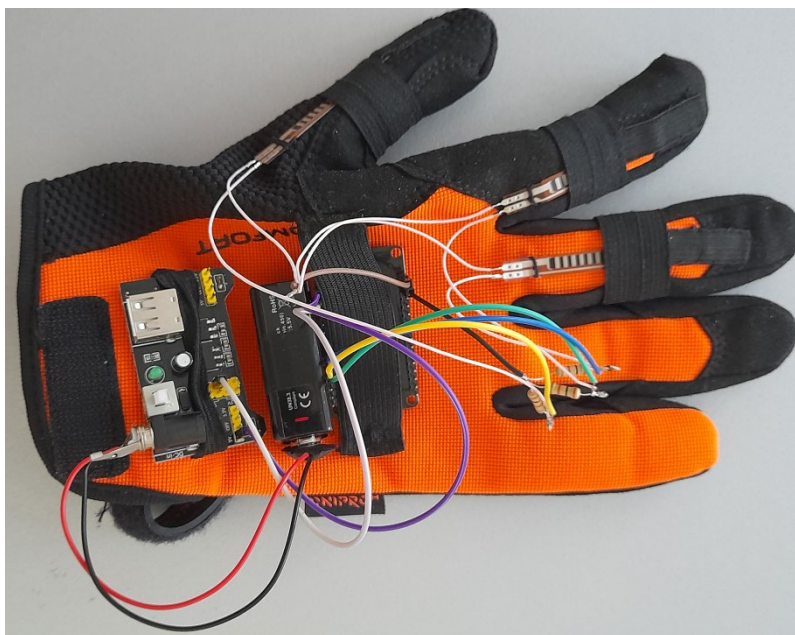


Рисунок 8 - Конструкція експериментального зразку пристрою керування «рукавичка» із забезпеченням декількох каналів зв'язку. Авторська розробка

Пристрій керування вийшов компактний, ергономічний і зручний у використанні.

5.5. Результати дослідження рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Дослідження керуваності моделі АМР проводились на прямолінійній траєкторії та при здійсненні кутових маневрів на 90° та 180° . Керування моделлю здійснювалось за програмою та у дистанційному режимі з використанням рукавички (із застосуванням різних каналів зв'язку). Для забезпечення передачі команд від рукавички до двигунів моделі АМР по черзі використовувались три незалежних канали зв'язку: Wi-Fi, Bluetooth та радіо. Для кожного режиму руху було проведено по 100 експериментів. Результати дослідження середньої похибки позиціонування АМР наведено у таблиці 3.



Таблиця 3 - Середня похибка позиціонування моделі автономного мобільного роботу

Траєкторія		Програмне керування	Дистанційне керування			3
			використанням			
			Wi-Fi	Bluetooth	Радіо	
Лінійна	3 м	0,084 м	0,061 м	0,032 м	0,093 м	
	6 м	0,218 м	0,230 м	0,022 м	0,228 м	
Кутовий маневр	90°	0,017 м	0,020 м	0,013 м	0,018 м	
	180°	0,018 м	0,022 м	0,013 м	0,020 м	

Авторська розробка

Відносна похибка при русі моделі АМР вздовж прямолінійної траєкторії визначалась за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta l_{\text{сер}}}{l} \cdot 100\%,$$

де $\Delta l_{\text{сер}}$ – середня похибка позиціонування моделі АМР, l – довжина шляху моделі АМР.

Відносна похибка при кутових маневрах моделі АМР визначалась за формулою:

$$\delta = \frac{|\Delta l_{\text{сер}} - \Delta l_{\text{пр}}|}{\Delta l_{\text{пр}}} \cdot 100\%,$$

де $\Delta l_{\text{сер}}$ – середня похибка позиціонування моделі АМР, $\Delta l_{\text{пр}}$ – середня похибка позиціонування моделі АМР при програмному керуванні. Результати дослідження відносної похибки моделі АМР наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 - Відносна похибка точності позиціонування моделі автономного мобільного роботу

Траєкторія		Програмне керування	Дистанційне керування			3
			використанням			
			Wi-Fi	Bluetooth	Радіо	
Лінійна	3 м	2,80%	2,03%	1,07%	3,10%	
	6 м	3,63%	3,83%	3,67%	3,80%	
Кутовий маневр	90°	-	17,65%	23,52%	5,88%	
	180°	-	22,22%	27,77%	11,11%	

Авторська розробка



Наведені дані доводять, що на прямолінійних ділянках руху найменша похибка досягається при дистанційному керуванні моделі АМР з використанням Bluetooth. При здійсненні кутових маневрів найменша похибка досягається при дистанційному керуванні АМР з використанням радіо.

Результати дослідження середньої швидкодії АМР наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 - Середня швидкодія моделі автономного мобільного роботу

Траєкторія		Програмне керування	Дистанційне керування з використанням		
			Wi-Fi	Bluetooth	Радіо
Лінійна	3 м	4,6 с	4,3 с	5,8 с	4,8 с
	6 м	9,1 с	8,8 с	10,4 с	9,6 с
Кутовий маневр	90°	1,2 с	1,0 с	1,6 с	1,2 с
	180°	1,8 с	1,6 с	2,0 с	1,8 с

Авторська розробка

Абсолютна похибка швидкодії при дистанційному керуванні моделі АМР визначалась за формулою:

$$\Delta t_i = |t_i - t_{\text{пр}}|,$$

де t_i – швидкодія при реалізації i -го режиму руху моделі АМР при дистанційному керуванні, $t_{\text{пр}}$ – швидкодія АМР при програмному керуванні. Результати дослідження абсолютної похибки моделі АМР наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 - Абсолютна похибка швидкодії при дистанційному керуванні моделі автономного мобільного роботу

Траєкторія		Дистанційне керування з використанням		
		Wi-Fi	Bluetooth	Радіо
Лінійна	3 м	0,3 с	1,2 с	0,8 с
	6 м	0,3 с	1,3 с	0,5 с
Кутовий маневр	90°	0,2 с	0,4 с	0 с
	180°	0,2 с	0,2 с	0 с

Авторська розробка

Відносна похибка швидкодії при дистанційному керуванні моделі АМР визначалась за формулою:



$$\delta = \frac{|t_i - t_{\text{пр}}|}{t_{\text{пр}}} \cdot 100\%,$$

де t_i – швидкодія при реалізації i -го режиму руху моделі АМР при дистанційному керуванні, $t_{\text{пр}}$ – швидкодія АМР при програмному керуванні. Результати дослідження відносної похибки моделі АМР наведено у таблиці 7.

Таблиця 7 - Відносна похибка швидкодії при дистанційному керуванні моделі автономного мобільного роботу

Траєкторія		Дистанційне керування з використанням		
		Wi-Fi	Bluetooth	Радіо
Лінійна	3 м	6,52%	26,08% с	17,39%
	6 м	3,29%	14,29%	5,49%
Кутовий маневр	90°	16,67%	33,33%	0 %
	180°	11,11%	11,11%	0 %

Авторська розробка

Наведені дані доводять, що для подолання моделлю АМР заданого шляху найменший час потрібен при дистанційному керуванні з використанням Wi-Fi. При здійсненні кутових маневрів АМР однаковий час витрачається при програмному керуванні та дистанційному керуванні з використанням радіо.

5.6 Обговорення результатів дослідження рукавички для дистанційного керування автономним мобільним роботом

Представлено результати дослідження дистанційного керування АМР з використанням рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку. Розроблено конструкцію, схему електричну принципову та друковану плату для пристрою дистанційного керування у вигляді рукавички (рисунок 5 – 7). Виготовлено експериментальний зразок пристрою дистанційного керування АМР у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку (рисунок 8). Наявність декількох каналів зв'язку при реалізації дистанційного керування дозволить забезпечити безпеку людини-оператора, покращити ефективність та



живучість мобільних роботів при експлуатації їх в екстремальних умовах.

Об'єктом дистанційного керування із застосуванням рукавички обрано повнопривідну чотирьохколісну модель АМР (рисунок 2).

Для дослідження ефективності застосування різних каналів керування проведено аналіз переміщення моделі АМР на прямолінійній траєкторії та при здійсненні кутових маневрів на 90° та 180° . Здійснено по 100 експериментів для кожного режиму руху. Застосовано програмне та дистанційне керування моделлю АМР. Дистанційне керування реалізовано із використанням запропонованого пристрою керування у вигляді рукавички із застосуванням різних каналів зв'язку. Передача команд від рукавички до двигунів моделі АМР здійснювалась по черзі за трьома незалежними каналами зв'язку: Wi-Fi, Bluetooth та радіо. Результати дослідження похибки позиціювання АМР при дистанційному керуванні наведено у таблицях 3 – 4. Результати дослідження швидкодії АМР при дистанційному керуванні наведено у таблицях 5– 7.

Наведені дані доводять, що при дистанційному керуванні АМР найменша похибка досягається:

- на прямолінійних ділянках руху – з використанням Bluetooth,
- при здійсненні кутових маневрів – з використанням радіо.

Для подолання моделлю АМР заданого шляху найменший час потрібен при дистанційному керуванні з використанням Wi-Fi. Слід зазначити, що при здійсненні кутових маневрів АМР однаковий час витрачається при програмному керуванні та дистанційному керуванні з використанням радіо.

Висновки

1. Розроблено конструкцію, схему електричну принципову та друковану плату пристрою керування у вигляді рукавички. Запропонована конструкція рукавички реалізує дистанційне керування моделі АМР за трьома каналами зв'язку: Wi-Fi, Bluetooth та радіо. Формування сигналів для приводів робота проводиться на основі визначення кутів вигину пальців оператора із



використанням датчиків вигину (рисунок 4).

2. Виготовлено діючу модель пристрою дистанційного керування у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку (рисунок 8). Маса і габарити пристрою керування у вигляді рукавички не обмежують рухливість кисті оператора. Представлена конструкція пристрою керування дозволяє реалізувати інтуїтивне управління АМР і зменшити час навчання оператора.

3. Проведено експериментальні дослідження руху АМР із застосуванням пристрою дистанційного керування у вигляді рукавички із забезпеченням декількох каналів зв'язку. Досліджено переміщення моделі АМР на прямолінійній траєкторії та при здійсненні кутових маневрів на 90° та 180° . Здійснено по 100 експериментів для кожного режиму руху. Проведено аналіз руху моделі АМР з програмним та дистанційним керуванням. Дистанційне керування реалізовано із використанням запропонованого пристрою керування у вигляді рукавички із застосуванням Wi-Fi, Bluetooth та радіо зв'язку.

Недоліком запропонованого пристрою керування є те, що оптимальність синтезованої траєкторії руху АМР залежить від професійної підготовки оператора.

Для подальшого впровадження запропонованого пристрою керування у вигляді рукавички необхідно розробити спеціальну систему команд за допомогою жестів.

Для ефективного керування діями робота у режимі реального часу оператору потрібен візуальний контроль. Доповнення системи керування елементами відеоспостереження розширює області застосування АМР та обумовлює доцільність використання запропонованого методу дистанційного керування для роботів, які працюють у шкідливих чи небезпечних для людини умовах.

Подяки

Представлені у статті результати отримані авторами під час досліджень за темами 0119U101151 «Прикладні дослідження в механіці та мехатроніці»,



0121U108950 «Розробка вимірювальних перетворювачів з цифровим виходом»,
0122U001287 «Математичні методи та алгоритми обробки даних в системах
автоматизованого управління та захисту інформації».



Verweise / References

Chapter 1.

1. Волошин В. С., Ткаленко І. Методика оцінки взаємодії металургійних відходів при їх рециклінгу. *Вчені записки Таврійського університету ім. В. І. Вернадського*. Т.36(75), № 4, Ч.1, 2025. С.191-199.
2. Brown T. E., LeMay H. E., Bursten B. E., Murphy C., Woodward P., Stoltzfus M. W., Lufaso M.W. Chemistry: The Central Science. *Pearson Education*, 14, ed, Hoboken, NJ, 2018, pp. 812-815.
3. Atkins P. W., de Paula J., Atkins' Physical Chemistry. *Oxford University Press*, 11-th, Oxford, UK, 2018, - pp. 142-145.
4. Miracle D. B., Senkov O. N. A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia, Elsevier*, 2017, Oxford, UK, - pp. 448-511.
5. Widom B., Statistical Mechanics: A Concise Introduction for Chemists. *Cambridge University Press*, 2002, Cambridge, UK, - pp. 78-82.
6. Levine I. N. Physical Chemistry. McGraw-Hill Education, 6-th, NY, 2009, pp. 156-160.
7. Kondepudi D., Prigogine I. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures, Wiley, Chichester, UK, 2015, pp. 345-350.
8. Briand, F., et al. Recycling of Iron-Bearing Residues in Integrated Steel Plants: Thermodynamic and Process Aspects. *Metallurgical Research & Technology*, 118(3), 2021, - pp. 1–12.
9. Kivelä, M., Arenas, A., Barthélemy, M., Gleeson, J. P., Moreno, Y., Porter, M. A., Multilayer networks. *Journal of Complex Networks*, Vol. 2, No. 3, 2014. pp. 203–271,
10. Dehmer, M., Mowshowitz, A., A history of graph entropy measures. *Information Sciences*, Vol. 181, Iss. 1, pp. 57–78, 2011.
11. Jaynes, E. T., Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*, Vol. 106, No. 4, 1957. pp. 620–630,
12. Kindermann, R., Snell, J. L., Markov Random Fields and Their Applications.



American Mathematical Society (Contemporary Mathematics), Providence (RI), 1980, 142 p.

13. Newman, M. E. J., *Networks: An Introduction*, Oxford University Press, Oxford, 2010, 784 p.
14. Vitikka O., Iljana M., Heikkilä A., Tkalenko I., Koriuchev N., Shehovsov D., Malkki A., Fabritius T. Suitability of Auger Pressing Briquettes for Blast Furnace Use Based on Laboratory Tests. *Minerals*. MDPI; 2022. Basel, Switzerland. № 868.
15. Illia Tkalenko, Oleksii Kovtun, Nikita Koriuchev, Leonid Platonov , and Daniel Shehovsov. Recovery of Zn from Auger Press Briquettes Made from Steelmaking Sludge. *European Journal of Engineering and Technology Research* Vol 8 2023. pp. 79-85.
16. Vitikka O., M. Iljana M., Heikkilä F., Tkalenko I., Kovtun J., Koriuchev N., Shehovsov D., Fabritius T. Effect of Biocarbon Addition on Metallurgical Properties of Mill Scale-Based Auger Pressing Briquettes. *ISIJ International. The Iron and Steel Institute of Japan*; Vol. 64, No. 6, 2024. pp. 964–977.
17. Laura Lohmeier, Ralf Wollenberg, and Hans-Werner Schröder. Investigation into the Hot Briquetting of Fine-Grained Residual Materials from Iron and Steel Production. *Steel research int.* 2020, 91 pp. 79-94.
18. Jalkanen, H., & Mattila, O. Sintering and Briquetting of Iron Ore Fines and Metallurgical Wastes. Helsinki: *VTT Technical Research Centre of Finland*, 2019. — pp. 54–63.
19. Mombelli D., Gonçalves D. L., Mapelli C., Barella S., Gruttadauria A., et al. Processing and Characterization of Self-Reducing Briquettes Made of Jarosite and Blast Furnace Sludges. *Journal of Sustainable Metallurgy*. Springer Nature, Vol. 7, 2021 - pp. 1603–1626.
20. Bagatini M. C., Fernandes T., Silva R., Galvão D. F., Flores I. V. et al. Mill scale and flue dust briquettes as alternative burden to low-height blast furnaces. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier; 2020. Vol. 276.



21. Andersson A., Gullberg A., Kullerstedt A., Ahmed H., Sundqvist-Ökvist L., Samuelsson C. Upgrading of Blast Furnace Sludge and Recycling of the Low-Zinc Fraction via Cold-bonded Briquettes. *Journal of Sustainable Metallurgy*. Vol. 5, 2019. - pp. 350–361.
22. Lohmeier L., Thaler C., Harris C., Wollenberg R., Schröder H.-W. Briquetting of Fine-Grained Residues from Iron and Steel Production Using Organic and Inorganic Binders. *Steel Research International* (Wiley-VCH), 2020. - pp. 1–10.

Chapter 2.

1. Ibrahim A. R., Zak, M. M., & Tager A. G. (2023). Analyzing the food safety management programs (HACCP /ISO 22000) implemented in hotels. *International Journal of Tourism and Hospitality Management*, 6(1), 168–185. <https://doi.org/10.21608/ijthm.2023.300851>
2. Payao A. A., & Payao R. B. (2025). Evaluating the implementation of HACCP systems in food establishments in Lapu-Lapu City, Cebu: Pathways to ISO 22000:2005 certification. *Journal of Humanities, Social Sciences and Business*, 4(1), 216–238. <https://doi.org/10.55047/jhssb.v4i1.1572>
3. Kim Y. H., Barber N., & Kim D. K. (2023). Sustainability research in the hotel industry: Past, present, and future. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 32(5), 576–620. <https://doi.org/10.1080/19368623.2022.2144567> (Note: Includes discussion on food safety integration)
4. Arvanitoyannis I. S., & Varzakas T. H. (2021). HACCP and ISO 22000: Application to foods of animal origin. *Food Control*, 120, Article 107456. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107456>
5. Wallace C. A., & Mortimore S. E. (2022). *HACCP: A practical approach* (3rd ed.). Springer. (Chapter on integration with quality management in hospitality)
6. Trafialek J., & Kolanowski W. (2021). Implementation of HACCP and ISO 22000 in the hospitality industry: Case studies from Europe. *Food Control*, 122, Article 107789. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107789>



7. Herath D., & Henson S. (2020). Barriers to the adoption of HACCP in the hospitality sector: Evidence from Canada. *International Journal of Hospitality Management*, 89, Article 102567. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102567>
8. Psomas E. L., & Kafetzopoulos D. P. (2021). Performance outcomes of ISO 22000 and HACCP integration in the food service industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(13-14), 1567–1585. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1784721>
9. Al-Ali M., & Al-Hashimi A. (2023). Food safety management in hotels: The role of ISO 22000 and HACCP. *Journal of Foodservice Business Research*, 26(2), 145–162. <https://doi.org/10.1080/15378020.2022.2156789>
10. Mensah I., & Julien D. (2022). Integrated management systems in the hospitality industry: Combining ISO 9001, ISO 14001, and ISO 22000. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 34(5), 1890–1910. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-09-2021-1123>
11. Karaman A. D., & Özçelik A. (2021). The impact of HACCP and ISO 22000 on food safety performance in restaurants. *Journal of Food Safety*, 41(3), e12845. <https://doi.org/10.1111/jfs.12845>
12. Yilmaz E., & Yildiz M. (2023). Integration of HACCP into quality management systems in Turkish hotels. *Anatolia: An International Journal of Tourism and Hospitality Research*, 34(1), 78–92. <https://doi.org/10.1080/13032917.2022.2101234>
13. Djekic I., & Smigic N. (2022). Food safety management systems in the HoReCa sector: A comparative study of HACCP and ISO 22000. *Food Control*, 135, Article 109789. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.109789>
14. Trienekens J. H., & Zuurbier P. J. P. (2021). Quality management and food safety in the hospitality chain. *Journal of Chain and Network Science*, 21(1), 45–62. <https://doi.org/10.3920/JCNS2020.0005>
15. Баль-Прилипко Л., Антоненко А., Толлок Г., Бровенко Т., Криворучко М., & Горкун А. (2024). Акредитація і перспективи впровадження системи хаппр у виробництві харчової продукції. MEASURING AND COMPUTING DEVICES



- IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, (1), 111–116.
<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-16>
16. Bolton J., & Smith R. (2023). Digitalization of HACCP and IMS in hospitality: Opportunities and challenges. *International Journal of Hospitality Management*, 108, Article 103345. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103345>
17. Kafetzopoulos D., & Gotzamani K. (2020). The effectiveness of integrated management systems (IMS) in food service organizations. *British Food Journal*, 122(11), 3456–3472. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2020-0112>
18. Антоненко А., Ратушенко А., Криворучко М., Неїленко С., Любенок О. (2025). Аудит і метрологічні засоби оцінення якості харчової продукції на виробництві. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, (1), 456–460. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-57>
19. Lee S., & Ok C. (2022). Employee training and HACCP implementation in hotels: A global perspective. *International Journal of Hospitality Management*, 100, Article 103089. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.103089>
20. Антоненко А., Толлок Г., Бровенко Т., Бірюкова О., Ратушенко А., Горкун А. (2024). Аудит і контроль якості харчових продуктів у країнах єс та світу. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, (4), 18–22. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-48>
21. Azan M. A., & Al-Mamun A. (2023). Food safety culture and HACCP adoption in the restaurant industry. *Journal of Food Protection*, 86(4), 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100012>
22. Silva M. M., & Martins J. (2021). Barriers and enablers to HACCP integration in small hospitality businesses. *Food Control*, 130, Article 108345. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108345>
23. Gagic S., & Tesanovic D. (2024). Sustainable food safety management in hospitality: The role of ISO 22000 and HACCP. *Sustainability*, 16(5), 1987. <https://doi.org/10.3390/su16051987>



Chapter 3.

1. Кухарець Б. В. Підвищення ефективності керування гідроагрегатом ГЕС: БДР. – Тернопіль, ТНТУ – 2023. 59с.
2. Рябенко О. А. "Гідроелектростанції в особливих природно-кліматичних умовах". Рівне: НУВГП, 2024. – 192 с. – ISBN: 978-966-327-595-6. – URL: ep3.nuwm.edu.ua.
3. Котова Л. О., Котов Ю. Г. Гідроенергетика: основи теорії та практики. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 254 с.
4. Бабков В. П., Коваленко В. Г. Системи автоматизації гідроелектростанцій. – Київ: Політехніка, 2018. – 312 с.
5. Гнатюк В. М. Автоматизовані системи керування на електростанціях і в мережах. – Львів: Техніка, 2020. – 278 с.
6. Гребенюк В. П., Сидоренко І. Г. "Реконструкція гідроагрегатів як засіб підвищення ефективності роботи ГЕС". Гідроенергетика України, №3, 2020. – С. 45–50.
7. Ковальчук О. В., Зайченко В. С. "Аналіз ефективності автоматичних систем управління на ГАЕС". Енергетика і автоматика, №4, 2018. – С. 27–34.
8. Мельничук Л. І., Притула І. В. "Автоматизація управління гідротурбінами в умовах змінного напору". Збірник наукових праць ВНТУ, 2019. – С. 18–23.
9. Zin M., Koval V., Tarasenko M., Sysak I. (2023) Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 109, no 1, pp. 24–31
10. Суховій І. І., Зінь М. М. Підвищення енергоефективності малих гес на базі турбін з підвідними трубо-проводами сифонного типу //Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій —. – 2020. – Т. 2. – С. 131-131.
11. В. Вовчак, О. Тесленко, О. Самченко. Мала гідроенергетика України під ред. С. Єрмілова. Інститут проблем екології та енергозбереження. у 2 томах, – К., 2018. — Т. І. Аналітичний огляд., — 181 с.



12. M. Marwala, J. Kolodziej. Computational Intelligence for Optimization of Power Systems. – 2019 DOI: [10.1109/ISGT-Asia.2019.8881774](https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2019.8881774)
13. Emil Kraft, Marianna Russo, Dogan Keles, Stochastic optimization of trading strategies in sequential electricity markets / European Journal of Operational Research Volume 308, Issue 1, 1 July 2023, Pages 400-421.
14. Мошноріз М. М., Мосежний Д. В. ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". 22 червня 2023 року, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. URL1: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18584>.
15. Мошноріз М. М., Мосежний Д. В. ВИКОРИСТАННЯ ЧАТУ GPT ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ ТЕХНІЧНОГО СПРЯМУВАННЯ. Матеріали ІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2023). Секція комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів. Вінниця, ВНТУ, 2023. С.2365-2367. URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>.
16. Мошноріз М. М., Мосежний Д. В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ГІДРОАГРЕГАТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕРНІЗОВАНИХ АВАРІЙНИХ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". 22 червня 2025 року, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. URL1: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/schedConf/presentations>.

Chapter 4.

1. Ferrag M. A., Maglaras L., Moschoyiannis S., Janicke H. (2020). Deep learning for cyber security intrusion detection: Approaches, datasets, and comparative



- study. *Journal of Information Security and Applications*, 50, 102419. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2019.102419>
2. Antonenko, A., Burachynskiy, A., Solskiy, D., Tverdokhlib, A., Mishkur, Yu., & Ziniar, D. (2024). Aspects of the application of neural networks for cryptography [АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КРИПТОГРАФІЇ]. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, (4), 394–400. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-47> [in Ukrainian].
 3. Idhammad M., Afdel K., Benhaddou D. (2020). Semi-supervised machine learning framework for network intrusion detection. *Computers & Security*, 94, 101761. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101761>
 4. Ahmad Z., Shahid Khan A., Shiang C. W., Abdullah J., Ahmad F. (2021). Network intrusion detection system: A systematic study of machine learning and deep learning approaches. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(1), e4150. <https://doi.org/10.1002/ett.4150>
 5. Antonenko, A., Pakhomov, M., Kalyta, T., & Haleta, V. (2023). The use of artificial intelligence in automated systems [Використання штучного інтелекту в автоматизованих системах]. *Bulletin of Khmelnytskyi National University (Вісник Хмельницького національного університету)*, (4), 11–20. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-11-20> [in Ukrainian].
 6. Zhang H., Huang L., Wu C. Q., Li Z. (2020). An effective deep learning approach for network traffic monitoring. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 17(4), 2251–2264. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2020.3016359>
 7. Antonenko, A. V., Buriak, M. S., Vostrikov, S. O., Balvak, A. A., Korotin, D. S., & Myronenko, R. O. (2025). Possibilities of increasing the efficiency of networks in client-server systems [МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ В СИСТЕМАХ КЛІЄНТ-СЕРВЕР]. *Taurida Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences (Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки)*, 1(4), 3–14. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.1.1> [in Ukrainian].
 8. Wang W., Zhu M., Zeng X., Ye X., Sheng Y. (2021). Malware traffic classification



- using convolutional neural network for representation learning. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 18(3), 3561–3573. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2021.3074615>
9. Lemeshko, A., Antonenko, A., Kuvik, N., & Hnadii, V. (2023). Research of network threats to ensure maximum data and infrastructure protection [Дослідження мережевих загроз для забезпечення максимального захисту даних та інфраструктури]. *Bulletin of Khmelnytskyi National University (Вісник Хмельницького національного університету)*, 1(3), 64–68. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-120-127> [in Ukrainian].
10. Nguyen T. T., Nguyen T. H., Nguyen T. N., Nguyen, T. D. (2021). Deep learning for detecting network intrusions: A survey. *Computers & Security*, 110, 102416. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102416>
11. Antonenko, A. V., Cherevyk, O. V., Vostrikov, S. O., Mishkur, Yu. V., Balvak, A. A., & Dzysiak, V. G. (2025). Optimization of network infrastructure to ensure fault tolerance [ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ]. *Taurida Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences (Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки)*, (3), 3–13 [in Ukrainian].
12. Li Y., Xu Y., Liu Z., Hou H., Zheng Y., Xin H., Huang Y. (2020). A hybrid deep learning approach for network intrusion detection. *Computers & Security*, 96, 101805. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101805>
13. Rathore S., Park J. H. (2021). A blockchain-based deep learning approach for cyber security in SDN-enabled IoT networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 180, 102995. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.102995>
14. Antonenko, A. V., Solobaev, S. G., Vostrikov, S. O., Tkachenko, O. V., Khodosov, A. O., & Ostapenko, O. S. (2025). The use of neural networks in network security forecasting [ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ПРОГНОЗУВАННІ БЕЗПЕКИ МЕРЕЖІ]. *Taurida Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences (Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки)*, (2), 3–10. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.1> [in Ukrainian].



15. Nguyen T. P., Nguyen T. N., & Nguyen T. T. (2022). Federated learning for intrusion detection in IoT networks: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(15), 13345–13360. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3145678>
16. Antonenko, A. V., Tverdokhlib, A. O., Vostrikov, S. O., Behlitsov, S. V., Herhel, O. H., & Bobkov, R. A. (2024). Optimization of wireless networks using the INET framework [ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ INET FRAMEWORK]. *Taurida Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences (Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки)*, (5), 11–24. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.2> [in Ukrainian].
17. Alkaeed M., Soliman M. M., Khan K. M., Elfouly T. M. (2022). A deep learning-based intrusion detection system for 5G and beyond networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 19(4), 4567–4581. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2022.3189456>
18. Otoum S., Liu X. (2021). Deep learning-based intrusion detection system for SDN environments. *Computers & Electrical Engineering*, 91, 107027. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107027>
19. Antonenko, A. V., Solobaev, S. G., Vostrikov, S. O., Balvak, A. A., Mishkur, Yu. V., & Prykhodko, A. P. (2024). Aspects of the use of neural networks for improving image quality [АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ]. *Taurida Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences (Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки)*, (6), 3–10. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.1> [in Ukrainian].
- Li Z., Liu J., Li X. (2023). GAN-based anomaly detection for zero-day DDoS attacks in 5G networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 72(4), 4567–4580. <https://doi.org/10.1109/TVT.2022.3214567>
20. Lemeshko, A. V., Antonenko, A. V., & Petryk, A. V. (2023). Neuromorphic systems as a tool for implementing artificial intelligence [Нейроморфні системи як інструмент реалізації штучного інтелекту]. *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences (Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки)*, 34(73)(3), 175–183.



- <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/28> [in Ukrainian].
21. Wang X., Yang L. T., Wang L., & Zhang X. (2021). A novel intrusion detection system for SDN using deep learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(8), 5678–5689. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3034567>
 22. Shram, M. M., Antonenko, A. V., Zamkovyi, O. Yu., Orliuk, Kh. V., & Dutko, P. M. (2023). Features of building a dataset based on a neural network in the field of Internet of Things for the hotel and restaurant business [Особливості побудови масиву даних на основі нейромережі у сфері інтернету речей для готельно-ресторанного бізнесу]. *Bulletin of Khmelnytskyi National University (Вісник Хмельницького національного університету)*, 1(5), 252–257 [in Ukrainian].
 23. Elsayed M. S., Le-Khac N.-A., Jurcut A. (2021). A novel approach for intrusion detection in SDN using machine learning. *IEEE Access*, 9, 124567–124580. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3109876>
 24. Zhang Y., Li P., Wang X. (2023). A transformer-based model for network traffic anomaly detection. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 18, 1234–1247. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2022.3223456>
 25. Liu H., & Lang B. (2022). Machine learning and deep learning methods for intrusion detection systems: A survey. *Applied Sciences*, 12(5), 2567. <https://doi.org/10.3390/app12052567>
 26. Ferrag M. A., Shu L., Yang X., Derhab A., Maglaras L. (2022). Security and privacy for green IoT-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges. *IEEE Access*, 10, 134–156. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3134567>
 27. Alshamrani A., Myneni S., Chowdhary A., Huang D. (2021). A survey on advanced persistent threats. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(3), 1854–1879. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3074185>
 28. Li Z., Liu J., Li X. (2023). GAN-based anomaly detection for zero-day DDoS attacks in 5G networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 72(4), 4567–4580. <https://doi.org/10.1109/TVT.2022.3214567>
 29. Nguyen T. T., Nguyen T. H., Nguyen T. N. (2023). Federated learning for intrusion



detection in 6G networks: Challenges and opportunities. *IEEE Network*, 37(2), 112–120. <https://doi.org/10.1109/MNET.002.2200456>

Chapter 5.

- 1 Basjaruddin N.C., Sutjiredjeki E., Akbar H.W.C. (2019) Developing an electronic glove based on fuzzy logic for mobile robot control. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology*. 2019; vol.36 (2), pp.1639-1645, <https://doi.org/10.3233/JIFS-18968>
- 2 Aldabbagh A., Solly E. (2023) Gesture Controlled Mobile Robot, *5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, June 2023, Istanbul, Türkiye, <https://doi.org/10.1109/HORA58378.2023>
- 3 Fang P., Zhu Y., Lu W. (2023) Smart Glove Human-Machine Interface Based on Strain Sensors Array for Control UAV, *IJEETC*, 2023 Vol.12(3), pp. 216-222, <https://doi.org/10.18178/ijeetc.12.3.216-222>
- 4 Osmanpaşaoğlu Z., Barstuğan M. (2023) Deep learning based human robot interaction with 5G communication, *Konya Journal of Engineering Sciences*, vol. 11(2), pp.423-438, <https://doi.org/10.36306/konjes.1228275>
- 5 Bright T., Adali S., Bright G. (2022) Low-Cost Sensory Glove for Human–Robot Collaboration in Advanced Manufacturing Systems, *Robotics*, vol.11(3), P.56, <https://doi.org/10.3390/robotics11030056>
- 6 Mansoor R. (2017) Controlling Articulated Robot using Flex Sensor and Gyroscope, *Al- Muhandis Journal (JMISE)*, 2017, vol.154(4), pp.67-72. https://www.researchgate.net/publication/370527671_Controlling_Articulated_Robot_using_Flex_Sensor_and_Gyroscope
- 7 Verma Y. and Rastogi V. (2020) Two Finger Gesture Imitating Animatronic Hand. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, 2020, vol. 748(1): 012004, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/748/1/012004>
- 8 Yu H., Zheng D., Liu Y., Chen S. (2023) Data Glove Based on Flexible Fiber Optic Sensor for Gesture Capture, *Journal of Physics Conference Series*, 2023,



- vol. 2464(1), №012022, [https://doi.org/ 10.1088/1742-6596/2464/1/012022](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2464/1/012022)
- 9 Walker C.R., Nad D., Orbaugh D. (2023) Diver-Robot Communication Glove Using Sensor-Based Gesture Recognition. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 2023; vol. 48 (3), I pp. 778–788, <https://doi.org/10.1109/JOE.2023.3265634>
- 10 Ferreira F., Kvasic I., Nađ Đ. (2022) Diver-Robot Communication Using Wearable Sensing: Remote Pool Experiments, *Marine Technology Society Journal*, vol. 56(5), pp.26-35, [https://doi.org/ 10.4031/MTSJ.56.5.5](https://doi.org/10.4031/MTSJ.56.5.5)
- 11 Yousuf B., Mehdi A., Khan A.S. (2018) Robust Feedback Control Design of Underactuated Robotic Hands with Selectively Lockable Switches for Amputees. *Journal of Robotics*, 2018, vol. 8, pp. 1-9, [https://doi.org/ 10.1155/2018/6835968](https://doi.org/10.1155/2018/6835968)
- 12 Yu H., Zheng D., Liu Y. (2022) Data Glove with Self-Compensation Mechanism Based on High-Sensitive Elastic Fiber-Optic Sensor, *Polymers*, 2022, vol. 15(1), №100, [https://doi.org/ 10.3390/polym15010100](https://doi.org/10.3390/polym15010100)
- 13 Yu H., Zheng D., Liu Y. (2022) Low-Cost Self-Calibration Data Glove Based on Space-Division Multiplexed Flexible Optical Fiber Sensor, *Polymers*, 2022, vol. 14(19), №3935, [https://doi.org/ 10.3390/polym14193935](https://doi.org/10.3390/polym14193935)
- 14 Ashhepkova, N. (2022) Analysis of the inertia tensor of autonomous mobile robot. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol.63. № 1–2. – P. 24 – 34. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.252712>
- 15 Ashhepkova, N. (2023) Construction of a mathematical model of the dynamics of an autonomous mobile robot of variable configuration. *Easern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol.6. № 7. – P. 30 – 44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269840>
- 16 Мікроконтролер ESP-32 DevKit V1 [https://arduino.ua/ prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32](https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32)
- 17 Мотор-редуктор з колесом, [https://diylab.com.ua/ p64047459-motor- - kolesom.html](https://diylab.com.ua/p64047459-motor-kolesom.html)
- 18 Резистивний датчик згину flex sensor 2.2", <https://diylab.com.ua/p147882681-rezistivnij-datchik-zginu.html>



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG UNTER MODERNEN
BEDINGUNGEN DER INSTABILITÄT
INNOVATIVE INGENIEURSKUNST, TECHNOLOGIE UND INDUSTRIE;
INFORMATIK, KYBERNETIK UND AUTOMATISIERUNG
*SCIENTIFIC RESEARCH IN MODERN CONDITIONS OF INSTABILITY
INNOVATIVE ENGINEERING, TECHNOLOGY AND INDUSTRY; COMPUTER SCIENCE,
CYBERNETICS AND AUTOMATION
MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»
BOOK 44. PART I*

Authors:

Voloshyn V.S. (1), Tkalenko I.A. (1), Antonenko A.V. (2), Tolok G.A. (2),
Biriukova O.V. (2), Poluda V.V. (2), Miakinchenko I.O. (2), Parubets O.V. (2),
Litovka-Demenina S.G. (2), Krasavtseva L.Y. (2), Neilenko S.M. (2), Zarakhovskiy O.Y. (2),
Gorkun A.O. (2), Moshnoriz M.M. (3), Antonenko A.V. (4), Golubenko O.I. (4),
Makoveichuk O.M. (4), Halahan N.V. (4), Lemeshko A.V. (4), Vostrikov S.O. (4),
Burachynskiy A.Y. (4), Balvak A.A. (4), Gorkun A.O. (4), Sinbol K.N. (4), Koshovyi M. (5),
Ashchepkova N. (5), Klymenko S. (5)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for publication at the international scientific symposium
«Wissenschaftliche Forschung unter modernen Bedingungen der Instabilität /
Scientific research in modern conditions of instability '2025»
(November 30, 2025)

Monograph published in the author's edition

The monograph is included in
International scientometric databases

500 copies
November, 2025

Published:
ScientificWorld-NetAkhatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org
<https://desymp.promonograph.org>

