

*Попов В. М., магістр, Рижков Д. І., магістр, Гуцул В. С., бакалавр,  
Скопич Т. О., бакалавр, Манойленко О. П., к.т.н., доцент*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

### **РОЗРОБЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ЦЕХОВИХ ПРИМІЩЕНЬ**

**Анотація.** У роботі представлено конструктивне рішення мобільного робототехнічного пристрою для моніторингу та контролю безпеки приміщень площею від 10 до 150 м<sup>2</sup>. Пристрій виявляє присутність газів (пропан, бутан) та задимленість, що вказує на ознаки можливого отруєння або пожежі, забезпечуючи швидке реагування на небезпеку. Це особливо актуально в умовах підвищених ризиків пов'язаних з діяльністю виробничих підприємств, а також в умовах військового стану. Проєкт передбачає створення роботизованого пристрою, здатного переміщатися за заданою траєкторією, здійснювати моніторинг стану приміщення та передавати інформацію оператору або відповідальній особі через систему дистанційного спостереження. Для моделювання конструкції використано програмне забезпечення Inventor, а для розробки електричних схем – Fritzing. Отримані результати включають 3D-модель конструкції та електричну схему, що враховує всі вузли пристрою. Основні характеристики: мобільність, надійність, адаптивність до умов розміщення, масштабованість і ергономічність конструкції, що забезпечують повноцінне виконання завдань із забезпечення безпеки в промислових приміщеннях.

**Ключові слова:** мобільний пристрій, пожежі на підприємстві, пересування за зазначеною траєкторією, «Оберіг Козака», дистанційна передача спостережень, Inventor, Fritzing, Arduino, електрична схема, вузли.

*Popov V. M., Ryzhkov D. I., Hutsul V. S., Skopych T. O., Manoilenko O. P.*

*Kyiv National University of Technologies and Design*

### **DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOTIC DEVICE FOR FIRE ALARM SYSTEMS IN INDUSTRIAL PREMISES**

**Abstract.** The work presents a design solution for a mobile robotic device intended for monitoring and safety control of premises ranging from 10 to 150 m<sup>2</sup>. The device detects the presence of gases (propane, butane) and smoke, which indicate possible signs of poisoning or fire, ensuring a rapid response to danger. This is especially relevant in high-risk conditions related to industrial enterprises, as well as during wartime. The project involves the creation of a robotic device capable of moving along a specified trajectory, monitoring the condition of the premises, and transmitting information to the operator or responsible personnel via a remote observation system. The design was modeled using Inventor software, and Fritzing was used for developing electrical circuits. The results obtained include a 3D model of the device and an electrical circuit that considers all components of the device. Key features include mobility, reliability, adaptability to placement conditions, scalability, and ergonomic design, which ensure the full implementation of safety tasks in industrial premises.

**Keywords:** mobile device, industrial fire prevention, trajectory-based movement, "Obih Kozaka", remote monitoring transmission, Inventor, Fritzing, Arduino, electrical circuit, components.

**Вступ.** Сучасні виклики пожежної безпеки та необхідність своєчасного реагування на пожежі спонукають до інтенсивного розвитку автоматизованих систем виявлення та гасіння вогню [1, 2]. В умовах високих вимог до пожежної безпеки та надійного моніторингу виробничих приміщень [3–5] постає потреба у впровадженні новітніх технологій для автоматизованого виявлення небезпек [6, 7], що дозволить

унікнути значних матеріальних втрат і ризиків для життя працівників. У промислових цехах, де присутні легкозаймисті матеріали, хімічні речовини та спеціалізоване обладнання, ризик виникнення пожеж значно підвищується [1, 3]. Традиційні методи виявлення загроз не завжди здатні оперативно реагувати на потенційні небезпеки, що вимагає впровадження більш ефективних та сучасних технологій. Використання тепловізійних сенсорів [8, 9] для виявлення пожежних подій у реальному часі дозволяє підвищити точність і своєчасність реагування в екстремальних умовах [1, 3]. Такі сенсори здатні виявляти навіть найменші зміни температури, що є важливим для виявлення ранніх ознак загоряння. Разом із цим роботи та платформи, засновані на сучасних мікроконтролерах та інтелектуальних алгоритмах, демонструють великий потенціал для моніторингу та реагування на пожежі в умовах, де традиційні сигналізаційні системи можуть виявитися недостатніми [1]. Технології Інтернету речей (IoT) [9–12] відкривають нові можливості для вдосконалення пожежної безпеки через інтеграцію сенсорних систем, які автоматично реагують на загрози пожежі, підвищуючи швидкість і ефективність реагування [9]. Ці технології дозволяють створювати мережі пристроїв, які працюють в реальному часі, забезпечуючи постійний моніторинг та передавання даних про загрози в систему управління [5].

Робототехнічні системи, оснащені датчиками для виявлення пропану, бутану, задимленості та підвищеної температури, забезпечують оперативне реагування на ознаки пожежі або витоку газу, що робить їх незамінними для забезпечення безпеки у виробничих умовах [3–5]. В умовах воєнних ризиків, особливо в контексті пошкодження інфраструктури та шахтових комунікацій, такі рішення стають ще актуальнішими. Зокрема, у випадку пошкодження важливих комунікацій та відсутності можливості швидкого доступу до певних зон, робототехнічні пристрої можуть виконувати функції моніторингу й гасіння пожежі в умовах, де людина не може бути безпечно присутньою.

Сучасні рішення для виявлення пожежної небезпеки в промислових умовах часто включають використання камер відеоспостереження та систем на базі Raspberry Pi, які є досить функціональними, але більш енергозатратними і громіздкими. Такий підхід потребує значних ресурсів для обробки та збереження даних, а також займає велику кількість простору для розміщення необхідних компонентів. У зв'язку з цим важливо відмітити роботи, присвячені розробці пожежно-рятувальних роботів [8, 11, 12], які, окрім виявлення небезпеки, можуть виконувати часткову локалізацію займання та гасіння полум'я. Такі роботи оснащені системами обробки зображень, датчиками та інтелектуальними алгоритмами, що дозволяє їм автономно виявляти, локалізувати та ліквідувати вогонь у складних умовах. Водночас, підприємства потребують надійних, практичних і доступних рішень, які потребують мінімальних витрат на технічне обслуговування і знижують енергоспоживання, що робить мобільні роботизовані пристрої на платформі Arduino [10, 13, 14] оптимальним вибором для моніторингу та оперативного реагування на потенційні пожежі в цехових приміщеннях [3–5]. Платформи Arduino дозволяють створювати компактні, ефективні та недорогі рішення для вирішення завдань автоматизованого моніторингу й реагування на потенційні загрози.

Отже, метою цієї роботи є розробка мобільного робототехнічного пристрою, який забезпечить автоматизований моніторинг та виявлення потенційних ознак пожежної небезпеки у промислових приміщеннях, що сприятиме підвищенню ефективності заходів пожежної безпеки, знижуючи ризики для здоров'я та життя працівників, а також зменшуючи матеріальні втрати в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

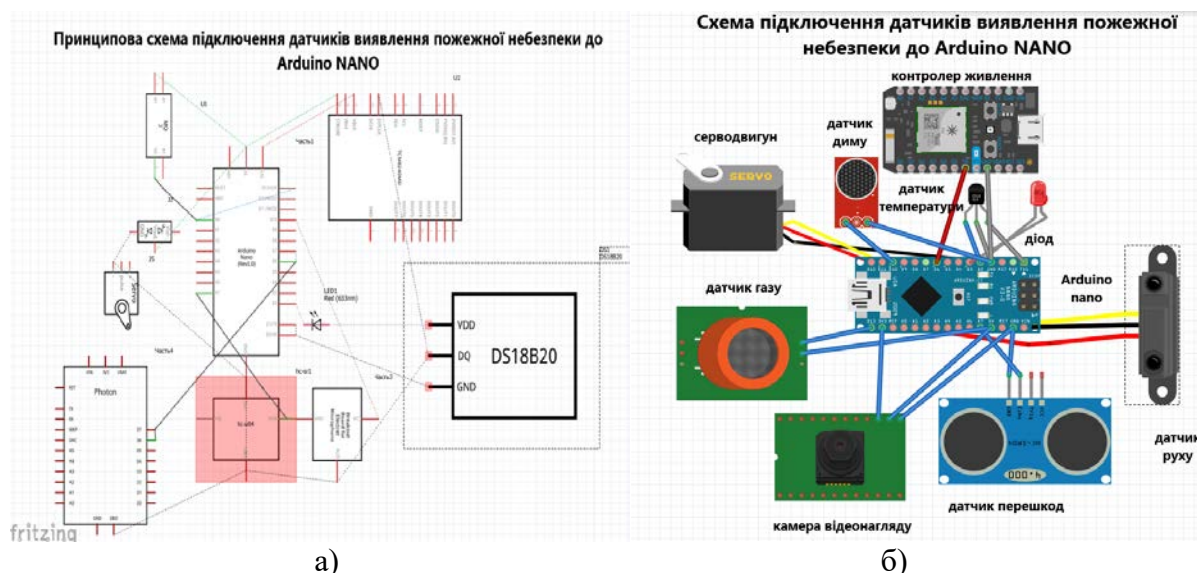
**Постановка задачі.** Завданням роботи є розробка конструкції мобільного пристрою, подібного до існуючих робототехнічних платформ, таких як AlphaBot-PI [15],

який забезпечуватиме безперервний моніторинг визначеної території. Передбачається оснащення пристрою датчиками для виявлення газів, диму, температури та вологості, а також інтеграція системи передачі даних, що дозволить здійснювати дистанційне спостереження за допомогою відповідального оператора або автоматизованої системи пожежної безпеки.

**Результати дослідження.** Мобільний робототехнічний пристрій «Оберіг Козака» передбачає розробку автономного робота, здатного переміщатися за заданою траєкторією в межах цехового приміщення. У процесі пересування робот використовує датчик лінії KY-033 на TCRT5000 для точного визначення напрямку та керується за допомогою модуля mini-L298N Н-міст 9В. Для передачі відеоінформації в реальному часі використовується модуль Wi-Fi ESP32-CAM з камерою роздільною здатністю 2MP, що дозволяє здійснювати віддалений моніторинг. Окрім того, пристрій оснащений датчиками для виявлення вогню, газу, диму та температури, що дає змогу своєчасно виявляти загрози в цехах, зокрема, у зонах з високим рівнем запиленості або підвищеною температурою.

Конструювання пристрою здійснювалося за допомогою CAD-систем, таких як Fritzing для електричних схем (рис. 1) та AD Inventor для 3D-моделі (рис. 2). Розроблені схеми дозволили оптимізувати маршрути підключення компонентів до контролера Arduino Nano та забезпечити ефективне розміщення датчиків. Усі використані датчики (табл. 1) відповідають технічним вимогам і мають низьке енергоспоживання, що гарантує надійність і знижує витрати на технічне обслуговування.

Застосування датчиків (табл. 1), які відповідають усім технічним вимогам і мають мінімальне енергоспоживання, гарантує надійність технологічного процесу без деформацій та поломок при тривалій експлуатації. Це, в свою чергу, дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування та розробку пристрою, підтверджуючи його надійність порівняно з аналогічними пристроями, створеними на інших системах.

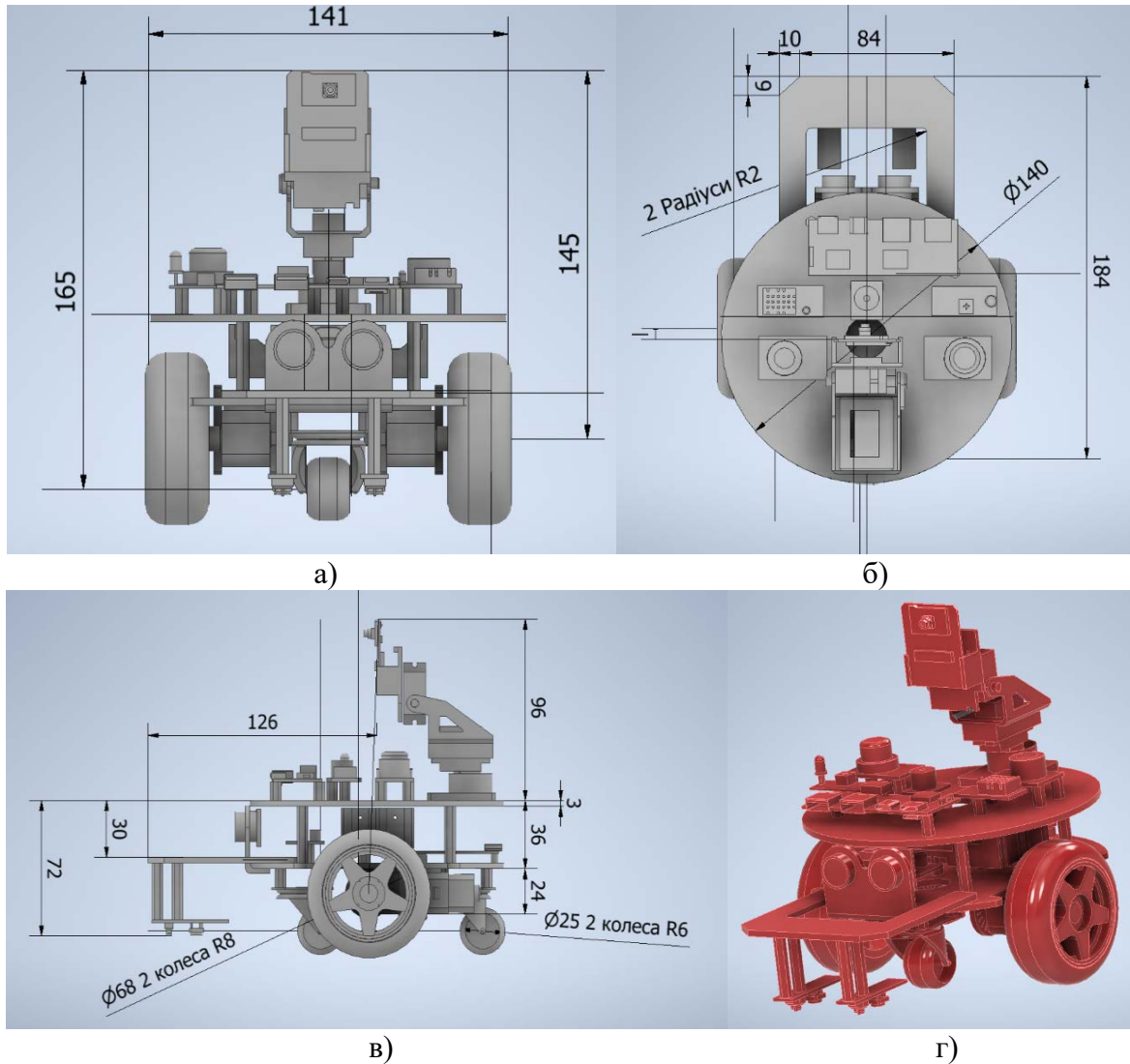


Джерело: розроблено авторами.

**Рис. 1. Електрична схема мобільного робототехнічного пристрою виявлення пожежної небезпеки: а – принципова схема створена у Fritzing, б – схема підключення датчиків до Arduino Nano**

Важливо зазначити, що в умовах підвищеної запиленості в цехах (можливі відхилення до 90%) і високих температур (плавка металів, газозварювальні апарати)

робота пристрою може давати помилкові сигнали про небезпеку. Тому всі сповіщення про можливу загрозу повинні перевірятися оператором через відеонагляд для оперативного усунення або ліквідації реально існуючої загрози.



Джерело: розроблено авторами.

Рис. 2. 3D модель двопалубного роботехнічного пристрою в ізометричних проєкціях: а – вид спереду, б – вид зверху, в – вид збоку, г – вид релізу

Враховуючи ці особливості, у конструкції мобільного роботехнічного пристрою встановлений модуль відеоспостереження ESP32-CAM з підтримкою wi-fi, що дозволяє оператору якісно оцінювати результати моніторингу ситуацій безпеки в цехових приміщеннях.

Таким чином, розроблена електрична схема мобільного роботехнічного пристрою забезпечує високу ефективність і довговічність компонентів в умовах інтенсивної експлуатації, а використана методика проектування дозволяє оцінити компактність розташування елементів, застосування первинних алгоритмів програмування та загальну працездатність пристрою.

У процесі конструювання пристрою (рис. 2) було визначено наступні складові частини.

Таблиця 1

Характеристика датчиків та їх призначення

Модуль датчика диму MQ-2											
Газ, що детектується	Діапазон чутливості:	Rs (опір чутливого елемента):	Газ, для якого нормується датчик:	Час відгуку	Чутливість (R в повітрі) / (R в присутності характерного газу)	Rh (опір нагрівача)	Ih (струм нагрівача)	Vh (напруга нагрівача)	Ph (потужність нагрівача)	Vc (напруга схеми)	Стандартні умови роботи: Температура:
Горючий газ, дим	300-10000 ppm	1 ... 20 кОм 50ppm толуол	Ізобутан, 1000ppm	≤ 10с	≥ 5с	31Ω ± 3Ω	≤ 180mA	5В ± 0,2 В	≤ 900mВт	≤ 24В	-10 ~ + 50 °С, вологість: ≤ 95% RH, концентрація кисню: 21% (стандартні умови)
Модуль датчика газу MQ-7											
Датчик:	Газ, який детектується:	Робоча напруга нагрівача:	Споживана нагрівачем потужність:	Навантажувальний опір:	Виявлення концентрації газу:	Час розігріву:	Робоча температура:	Робоча вологість:			
MQ-7	чадний газ	від 1,4 В до 5 В	350 мВт	10 К (регульоване)	10-1000 ppm	від 60 (напруга підігрівача 5В) до 90 секунд (для напруги підігрівача 1,4 В)	-10 ~ 50 градусів (номінальна температура: 20 градусів)	95% RH (номінальний вологість: 65% rh)			
Модуль датчика вологості та температури DHT11											
Напруга живлення:	Обумовлена вологість:	Обумовлена температура:	Частота опитування:								
3-5 В	20-90% RH ± 5% (макс.)	0-50 °С ± 2% (макс.)	1 Гц								

Джерело: розроблено авторами.

Нижня палуба має такі розміри: довжина – 188,43 мм, ширина – 84,14 мм, товщина – 3 мм. Кути мають радіус заокруглення 10 мм по периметру для забезпечення безпеки та зручності. Для кріплення передбачені отвори: для двигунів діаметром 3 мм, розташовані по кутах двигунів; для стійок верхньої палуби – діаметром 3 мм, рівномірно по кутах; для кріплення датчиків газових та температурних з діаметром 3 мм, розташовані по передньому краю платформи.

Верхня палуба має розміри: довжина – 140 мм, ширина – 140 мм, товщина – 3 мм. Отвори для кріплення включають: для контролера (Arduino Nano) діаметром 3 мм, по кутах контролера, а також для датчиків і акумуляторної батареї.

ESP32-CAM в комплекті: 96 мм висота, 68 мм довжина та 14 мм ширина. В комплект входять: ESP32 – довжина 27 мм та ширина 39 мм; модуль камери OV2640 – кут огляду 160 градусів, висота 10 мм, ширина та довжина по 12 мм; кронштейн – ширина 40 мм, довжина 20 мм та висота 36 мм; серводвигуни з розмірами – ширина 23 мм, довжина 12 мм, висота 27 мм, отвори кріплення під модуль мають діаметр 3 мм (габарити забезпечують надійність такої конструкції).

Модуль для складання повербанку з відсіком під акумулятори: модуль для складання повербанку 22,5W 1S – довжина 72 мм та ширина 27 мм; відсік елементів живлення 18650 для двох акумуляторів – довжина 77 мм, ширина 40 мм та висота 21 мм; кріпильні отвори у модуля та відсіку – 3 мм (елементи розташовані на першій палубі, що забезпечує вагову рівновагу конструкції при переміщенні).

Датчики: датчик диму MQ-2 – довжина 32 мм, ширина 20 мм та відстань між отворами 25 мм; датчик газу MQ-7 – довжина 35 мм, ширина 20 мм, відстань між отворами 11мм; датчик вологості DHT11 – довжина 15 мм, ширина 12 мм, відстань отвору від датчика 5 мм; датчик лінії KY-033 на TCRT5000 – довжина 40 мм та ширина 11 мм; ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 – довжина 37 мм, ширина 20 мм та товщина датчику 15 мм (розташований з фронтальної сторони на інтерфейсі конструкції між 1-ю та 2-ю палубами).

Датчик лінії розташований під палубами для корегування маршруту при переміщенні. Датчики: диму, газу, вологості – розташовані на другій палубі і розміщені послідовно так, щоб і не заважати один одному і виконувати свої, безпосередньо, функції.

*Колеса та двигуни:* діаметр колеса складає 60 мм, ширина колеса – 20 мм, матеріал – гума, що забезпечує покращене зчеплення. Двигуни мають корпус діаметром 25 мм і довжиною 50 мм. Кріпильні отвори для двигунів мають діаметр 3 мм, на міжцентровій відстані 20 мм один від одного.

*Матеріали:*

Палуб виготовлені з акрилу товщиною 3 мм для нижньої палуби та 3 мм для верхньої, з щільністю 1.18 г/см<sup>3</sup>, що забезпечує механічну стійкість конструкції.

Колеса зроблені з гуми з коефіцієнтом тертя 0.8, що покращує зчеплення з підлогою.

*Електронні компоненти та маршрутизація:*

Контролер Arduino Nano розміщений в центрі верхньої палуби, поруч з отворами для прокладання дротів до датчиків.

Акумуляторна батарея розташована в задній частині нижньої палуби для балансування ваги.

Проводка викладена вздовж палуби з використанням кабельних стяжок для упорядкованості та запобігання перетинанню з рухомими елементами.

*Технічна характеристика робототехнічного пристрою:*

Загальна вага моделі становить орієнтовно 500 г, центр мас зосереджений між колесами, що підвищує стійкість моделі.

*Кінематичні параметри:*

Швидкість руху: при діаметрі колеса 60 мм і швидкості двигуна 100 об/хв робот може розвивати швидкість близько 0,3 м/с.

Кут підйому: робот може підніматися по нахилу до 15°, враховуючи потужність двигунів і вагу.

*Специфікації та список компонентів:*

1. Нижня палуба – 1 шт.
2. Верхня палуба – 1 шт.
3. Колеса – 4 шт.
4. Двигуни – 2 шт.
5. Контролер Arduino Nano – 1 шт.
6. Датчики: HC-SR04 – 1 шт., DHT11 – 1 шт., MQ-7 – 1 шт., MQ-2 – 1 шт., датчик полум'я – 1 шт.

*Додатковий модуль ESP32-CAM:* розміщений на задній частині верхньої палуби для безперешкодного відеоспостереження за маршрутом робота та за реакцією датчиків. Отвори для кріплення модуля мають діаметр 3 мм, розташовані по кутах для стабільного фіксування.

Живлення здійснюється від того ж джерела, що й контролер, або через окремий стабілізатор напруги (3.3 В) для забезпечення стабільної роботи модуля.

Отримані результати, зокрема принципова електрична схема та конструкція пристрою, підтверджують готовність проєкту до реалізації. Однак для досягнення максимальної ефективності пристрою в умовах реального цехового середовища необхідно провести додаткові тести та оптимізацію конструкції з урахуванням специфічних вимог виробничого середовища. Лише після завершення цих тестувань можна впевнено стверджувати, що проєкт повністю відповідає вимогам безпеки та здатен виконувати всі поставлені завдання у виробничих умовах.

**Висновок.** Розроблена конструкція мобільного робототехнічного пристрою відповідає основним вимогам щодо автономності, мобільності та функціональності для безперервного моніторингу виробничих приміщень.

1. Принципова електрична схема та підключення датчиків забезпечують належну роботу пристрою в умовах цехового середовища.

2. Запропоновані алгоритми управління рухом і моніторингом дозволяють ефективно виконувати функції відеоспостереження та виявлення небезпек, таких як газ, дим, температура та вологість.

3. Конструкція пристрою показує високий потенціал для подальшої реалізації в реальних умовах виробництва, забезпечуючи необхідну ефективність та надійність.

Таким чином, розроблена конструкція підтверджує свою готовність до реалізації та відповідає вимогам щодо безпеки та функціональності в умовах виробничих цехів.

### Список використаної літератури

1. Михайлюк О. П., Олійник В. В., Кріса І. Я. та ін. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: навч. посібник. Харків: НУЦЗУ, 2010. 249 с.
2. Agrawal, S. IoT Technology Is Changing the Future of Fire Safety. 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371126009\\_Implementing\\_a\\_Prototype\\_Autonomous\\_Fire\\_Detecting\\_and\\_Firefighting\\_Ro](https://www.researchgate.net/publication/371126009_Implementing_a_Prototype_Autonomous_Fire_Detecting_and_Firefighting_Ro).
3. Поляков С. А., Задорожний М. П. Мобільний робот для виявлення пожежної небезпеки в промислових приміщеннях. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ», Серія: Автоматизація та робототехніка*. 2021. Т. 3, № 12. С. 45–52.
4. Мальований М. С., Шевченко Ю. Ю. Застосування робототехнічних систем для забезпечення пожежної безпеки в промислових умовах. *Науково-технічний збірник "Технічні науки"*. 2020.
5. Коваленко В. В., Ткаченко О. О. Системи автоматичного виявлення та локалізації пожеж на промислових об'єктах: монографія. Харків: НТУ «ХПІ», 2019.
6. Кондратенко Ю. П., Андрійчук С. О. Інтелектуальні системи пожежної сигналізації з використанням бездротових сенсорних мереж. *Праці Одеської національної академії зв'язку*. 2020.
7. Rubio, F., Valero, F., Llopis-Albert, C. (2019). A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 16, P. 1–22.
8. Sousa, M. J., Moutinho, A., Almeida, M. (2020). Thermal Infrared Sensing for Near Real-Time Data-Driven Fire Detection and Monitoring Systems. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/23/6803>.
9. Perera, R. A. K., Priyankara, H. D. N. S., Madhusanka, B. G. D. A. (2021). A Fire Detection and Extinguishing Mobile Robot for Industrial Environments. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9606174>.
10. Манойленко О. П., Калініна К. Р., Лебеденко Ю. О., Дідик М. А. Інтелектуальні системи управління мехатроніками системами типу "Cobot" з використанням ML-технологій. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 6 (17). С. 31–40.
11. Longxiang, Z., Ting, L., Zhixuan, F., Guanrun, C., Weinan, L. (2023). Design of Cloud Platform Fire-Fighting Reconnaissance Robot Based on STM32 and K210. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10442837>.
12. Nwakanma, C. I., Azeta, J., Ayoade, I. A., Akande, T. (2023). Implementing a Prototype Autonomous Fire Detecting and Firefighting Robot. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371126009\\_Implementing\\_a\\_Prototype\\_Autonomous\\_Fire\\_Detecting\\_and\\_Firefighting\\_Ro](https://www.researchgate.net/publication/371126009_Implementing_a_Prototype_Autonomous_Fire_Detecting_and_Firefighting_Ro).
13. Гладков В. О., Шокін Є. В. Програмування мікроконтролерів на базі Arduino. Київ: Видавництво КНУ, 2019.
14. Бойко О. С., Коваленко Л. В. Сенсорні системи для мобільних роботів на базі Arduino. *Збірник наукових праць Національного університету «Львівська політехніка», Серія: Інформатика та автоматика*. 2020. Т. 6, № 9. С. 84–89.
15. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/>