Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехнікі та безпекової інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення системи автоматизації збору та передачі даних з датчиків мобільної роботизованої платформи під час евакуаційних робіт
(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,

групи АКТСІ-22-1

Ілля ШУБА
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доцент Рауф АЛЛАХВЕРАНОВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри КІТАРБІ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Я, Шуба Ілля Сергійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і неодержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«29» червня 2026 р. _____ Ілля ШУБА

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехнікі та безпекової інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
"____" _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Шубі Іллі Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації збору та передачі даних з мобільної роботизованої платформи під час евакуаційних робіт
затверджена наказом по університету від "04" червня 2026 р. № 473 Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до ЕК 17 липня 2026 р.
3. Вхідні дані до роботи 3.1 Автоматизована система збору та передачі даних роботизованої платформи для евакуаційних робіт;
3.2 Час передачі даних – не більше 1 с;
3.3 Час реакції на аварію – не більше 1 с;
3.4 Надійність передачі – не менше 95 %;
3.5 Безперервна робота – не менше 4 год.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі 4.1 Аналіз використання мобільних роботизованих платформ у евакуаційних роботах;
4.2 Сучасні типи датчиків та засобів збору даних;
4.3 Структурна та функціональна схема автоматизованої системи;
4.4 Вибір апаратних засобів та програмної архітектури автоматизованої
4.5 Алгоритм функціонування та програмне забезпечення автоматизованої
4.6 Ефективність розробленої автоматизованої системи за основними
4.7 Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці;

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал представлений у форматі PowerPoint (*.ppt) – 24 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області та постановка	27.04.26 – 08.05.26	виконано
2	Розроблення функціональної структури		
	системи збору та передачі даних	09.05.26 – 29.05.26	виконано
3	Реалізація та дослідження ефективності		
	автоматизованої системи збору	30.05.26 – 20.06.26	виконано
4	Заходи і розрахунки для забезпечення		
	безпечних умов праці	21.06.26 – 30.06.26	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	01.07.26 – 04.07.26	виконано
6	Подання роботи на перевірку		
	Інтернет-системою StrikePlagiarism	05.07.26 – 08.07.26	виконано
7	Подання роботи на рецензію	09.07.26 – 12.07.26	виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	13.05.26 – 16.07.26	виконано
9	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	17.07.26	виконано

Дата видачі завдання " 27 " квітня 2026р.

Здобувач _____ Ілля ШУБА
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ доцент Рауф АЛЛАХВЕРАНОВ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 11 табл., 16 рис., 4 дод., 29 джерел.

МОБІЛЬНА РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЗБОР ТА ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, ЕВАКУАЦІЙНІ РОБОТИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИКИ, ІНТЕРФЕЙС, РОБОТОТЕХНІКА.

Мета роботи – забезпечення надійності, оперативності та ефективності передачі інформації під час виконання евакуаційних робіт з датчиків мобільної роботизованої платформи.

Об’єкт розробки – процес збору, обробки та передачі даних у мобільних роботизованих платформах під час виконання евакуаційних робіт.

Предмет розробки – засоби автоматизації збору та передачі даних з датчиків мобільної роботизованої платформи.

У кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему збору та передачі даних з датчиків мобільної роботизованої платформи під час евакуаційних робіт. Проведено аналіз сучасних сенсорних систем, засобів бездротового зв’язку та мобільних роботизованих платформ. Розроблено структурну схему автоматизованої системи збору, обробки та передачі телеметричних даних. Виконано вибір апаратного забезпечення, зокрема мікроконтролерів, датчиків та модулів зв’язку. Запропоновано алгоритм збору та передачі інформації в режимі реального часу. Розроблено інтерфейс моніторингу параметрів системи для контролю роботи платформи та відображення аварійних повідомлень.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання системи в наземних роботизованих комплексах для проведення рятувальних та евакуаційних робіт.

ABSTRACT

Explanatory note: 81 pp., 11 tab., 16 figs., 4 appendices, 29 sources.

MOBILE ROBOTIC PLATFORM, AUTOMATED SYSTEM, DATA COLLECTION AND TRANSMISSION, EVACUATION ROBOTS, MICROCONTROLLER, SENSORS, INTERFACE, ROBOTICS.

The objective of this work is to ensure the reliability, speed, and efficiency of information transmission from the sensors of a mobile robotic platform during evacuation operations.

The subject of development is the process of collecting, processing, and transmitting data in mobile robotic platforms during evacuation operations.

The subject of the development is the means of automating the collection and transmission of data from sensors on a mobile robotic platform.

This thesis presents an automated system for collecting and transmitting data from sensors on a mobile robotic platform during evacuation operations. An analysis of modern sensor systems, wireless communication devices, and mobile robotic platforms was conducted. A block diagram of the automated system for collecting, processing, and transmitting telemetry data was developed. Hardware components, including microcontrollers, sensors, and communication modules, were selected. An algorithm for real-time data collection and transmission is proposed. an interface for monitoring system parameters has been developed to control the platform’s operation and display emergency messages.

The practical significance of this work lies in the possibility of using the system in ground-based robotic complexes for rescue and evacuation operations.

ЗМІСТ

Перелік скорочень …… 7
Вступ ……..… 8
1 Аналіз предметної області та постановка задачі …… 11
1.1 Особливості застосування мобільних роботизованих платформ в евакуаційних роботах ……..……..……..…… 11
1.2 Аналіз датчиків для моніторингу середовища та стану мобільної роботизованої платформи …….……..…… 15
1.3 Методи збору та передачі даних у робототехнічних системах …… 17
1.4 Аналіз існуючих мобільних роботизованих платформ для евакуаційних робіт ……..……..…… 21
1.5 Постановка задачі на розробку ……..……. 26
1.6 Висновки до першого розділу ……..…….. 29
2 Розроблення функціональної структури системи збору та передачі даних …….. 30
2.1 Формування вимог до автоматизованої системи ……..….. 30
2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи ……. 33
2.3 Вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи …….. 37
2.4 Розроблення алгоритму автоматизованої системи …… 41
2.5 Розроблення інтерфейсу моніторингу параметрів мобільної роботизованої платформи …….…….……. 45
2.6 Висновки до другого розділу …….……. 50
3 Реалізація та дослідження ефективності автоматизованої системи збору та передачі даних …….. 52
3.1 Програмна реалізація автоматизованої системи …… 52
3.2 Реалізація інформаційного обміну між модулями автоматизованої системи ……..…… 56

3.3 Тестування автоматизованої системи ……. 61
3.4 Аналіз результатів роботи автоматизованої системи …… 65
3.5 Висновки до третього розділу ……. 69
4 Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці ……..…… 71
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці ……..…….. 71
4.2 Промислова безпека на робочому місці ……..…….. 71
4.3 Виробнича санітарія у приміщенні ……..…….. 72
4.4 Пожежна безпека виробничого приміщення ……..…….. 74
4.5 Висновки до четвертого розділу ……. 75
Висновки …… 77
Перелік джерел посилання ……... 79
Додаток А Програмний код інтерфейсу моніторингу параметрів автоматизованої системи ……..…… 82
Додаток Б Програмний код ініціалізації та опитування сенсорних модулів ……..…….. 87
Додаток В Програмний код передачі телеметричних даних …… 91
Додаток Г Демонстраційний матеріал …… 96

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БД – база даних;

ЕР – евакуаційні роботи;

МРП – мобільна роботизована платформа;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп’ютер;

РТС – робототехнічна система.

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку технологій автоматизації, робототехніки та кіберфізичних систем особливої актуальності набуває застосування мобільних роботизованих платформ (МРП) у сферах, пов’язаних із підвищеним рівнем ризику для життя людини. До таких сфер належать ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій, техногенних аварій, пожеж, а також виконання евакуаційних робіт (ЕР) у складних або небезпечних умовах, зокрема в зоні бойових дій.

ЕР часто супроводжуються значними ризиками, пов’язаними з обмеженою видимістю, наявністю небезпечних речовин, руйнуванням інфраструктури та нестабільністю навколишнього середовища. У таких умовах застосування МРП дозволяє мінімізувати участь людини в небезпечних процесах, забезпечити оперативний збір інформації та підвищити ефективність прийняття рішень.

Ключовим елементом функціонування МРП є система збору, обробки та передачі даних з різноманітних датчиків. До таких датчиків можуть належати сенсори температури, газоаналізатори, датчики вологості, відеокамери, лідарні системи, інерціальні вимірювальні модулі (IMU), GPS-приймачі та інші. Отримані дані дозволяють оцінити стан навколишнього середовища, визначити положення платформи у просторі, а також здійснювати моніторинг технічного стану самої системи.

Однак ефективне використання таких платформ неможливе без надійної автоматизованої системи збору та передачі даних. Основними вимогами до таких систем є:

– висока швидкодія;

– надійність передачі інформації;

– стійкість до перешкод;

– енергоефективність;

– можливість роботи в умовах нестабільного або обмеженого зв’язку.

Особливу складність становить забезпечення безперервної передачі даних у реальному часі в умовах динамічно змінюваного середовища, що характерно для ЕР. Це вимагає використання сучасних протоколів зв’язку, оптимізації алгоритмів обробки інформації, а також впровадження ефективних методів фільтрації та агрегації даних.

Аналіз існуючих рішень показує, що більшість сучасних систем або є надто складними та енерговитратними, або не забезпечують необхідного рівня надійності в екстремальних умовах. Крім того, часто відсутня інтеграція різнорідних датчиків у єдину інформаційну систему з можливістю централізованого моніторингу та керування.

У зв’язку з цим актуальною є задача розроблення ефективної автоматизованої системи збору, обробки та передачі даних з датчиків МРП, яка забезпечуватиме надійну роботу в умовах підвищеної небезпеки та обмежених ресурсів.

Мета роботи – забезпечення надійності, оперативності та ефективності передачі інформації під час виконання евакуаційних робіт з датчиків мобільної роботизованої платформи.

Об’єкт розробки – процес збору, обробки та передачі даних у мобільних роботизованих платформах під час виконання евакуаційних робіт.

Предмет розробки – засоби автоматизації збору та передачі даних з датчиків мобільної роботизованої платформи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати особливості використання МРП у ЕР;

– дослідити сучасні типи датчиків та засобів збору даних;

– виконати аналіз методів та технологій передачі даних у робототехнічних системах (РТС);

– розробити структурну та функціональну схему автоматизованої системи;

– обґрунтувати вибір апаратних засобів та програмної архітектури;

– розробити алгоритм функціонування системи збору та передачі даних;

– розробити програмне забезпечення автоматизованої системи;

– оцінити ефективність розробленої системи за основними показниками;

– розробити заходи та розрахунки для забезпечення безпечної роботи персоналу у приміщенні навчальної лабораторії.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні автоматизованої системи збору, обробки та передачі даних для МРП, що функціонує в умовах ЕР. Запропоновано комбіновану архітектуру системи з інтеграцією різнорідних сенсорів та адаптивним вибором каналів зв’язку, що підвищує надійність і ефективність передачі даних. Удосконалено підхід до оцінки ефективності системи з урахуванням затримки, ймовірності помилки та енергоспоживання.

Отримані результати роботи сприяють підвищенню ефективності функціонування МРП у складних умовах і можуть бути віднесені до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

Пояснювальну записку кваліфікаційної роботи оформлено згідно з ДСТУ 3008:2015 [1] та з рекомендаціями з підготовки і оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [2, 3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Особливості застосування мобільних роботизованих платформ в евакуаційних роботах

У сучасних умовах розвитку технологій автоматизації та робототехніки МРП відіграють важливу роль у виконанні завдань у середовищах, небезпечних для життя та здоров’я людини [4-9]. Особливо актуальним є їх використання під час ЕР, що проводяться у зонах надзвичайних ситуацій, техногенних катастроф, пожеж, а також у районах ведення бойових дій [8, 9].

ЕР характеризуються високим рівнем невизначеності, обмеженою доступністю інформації та складними умовами середовища. До основних факторів, що ускладнюють виконання таких операцій, належать:

– руйнування інфраструктури;

– обмежена видимість (дим, пил, темрява);

– наявність токсичних або вибухонебезпечних речовин;

– нестабільні температурні режими;

– ризик повторних руйнувань або обвалів.

Застосування МРП у таких умовах дозволяє значно знизити ризики для персоналу, забезпечити оперативний збір інформації про стан середовища та об’єктів, а також підвищити ефективність прийняття рішень щодо проведення евакуації.

Залежно від конструктивних особливостей та умов експлуатації МРП поділяються (рис. 1.1) [4, 5, 9]:

– колісні платформи. Характеризуються високою швидкістю пересування та енергоефективністю. Застосовуються у відносно рівних умовах, таких як дороги або приміщення;

– гусеничні платформи. Відзначаються підвищеною прохідністю та стійкістю. Використовуються у складних умовах, зокрема на завалах або

нерівній місцевості;

– крокуючі (біоморфні) платформи. Мають здатність долати складні перешкоди, але є більш складними у реалізації та керуванні;

– гібридні платформи. Поєднують властивості різних типів руху для підвищення універсальності.



Рисунок 1.1 – Типи мобільних роботизованих платформ

МРП виконують широкий спектр функцій, серед яких (рис. 1.2):

– розвідка території перед входом рятувальників;

– моніторинг стану середовища (газ, температура, радіація);

– пошук постраждалих із використанням відео- та тепловізійних систем;

– доставка обладнання або медикаментів;

– передача інформації в режимі реального часу до центру управління.

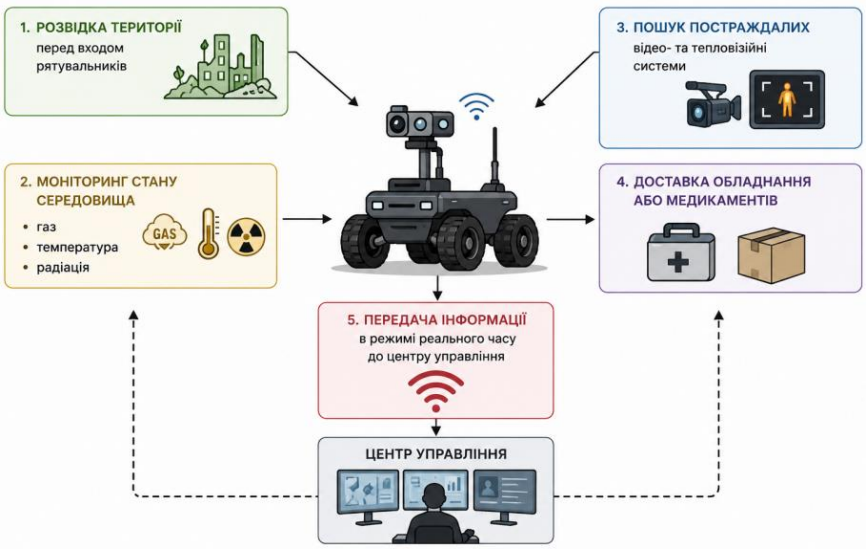


Рисунок 1.2 – Функціональна схема застосування МРП

Особливо важливою є здатність МРП працювати в умовах обмеженого зв’язку та автономно виконувати частину функцій.

Середовище ЕР накладає специфічні вимоги на роботизовані системи. Основними з них є:

– екстремальні температури (від низьких до високих значень);

– висока запиленість та вологість;

– механічні впливи (удари, вібрації);

– електромагнітні завади;

– нестабільність каналів зв’язку.

У таких умовах система повинна забезпечувати стабільну роботу, а також мати механізми резервування та відновлення.

Для ефективного використання у ЕР МРП повинні відповідати таким вимогам (рис. 1.3) [6, 25, 26]:

– автоматизована система повинна працювати безвідмовно впродовж тривалого часу;

– можливість роботи без постійного втручання оператора;

– раціональне використання енергоресурсів;

– здатність пристосовуватись до змін середовища;

– можливість заміни або додавання компонентів.



Рисунок 1.3 – Вимоги до МРП

Ключовим елементом МРП є автоматизована система збору, обробки та передачі даних, яка забезпечує (рис. 1.4):

– отримання інформації від датчиків;

– обробку даних;

– передачу інформації оператору;

– підтримку прийняття рішень.

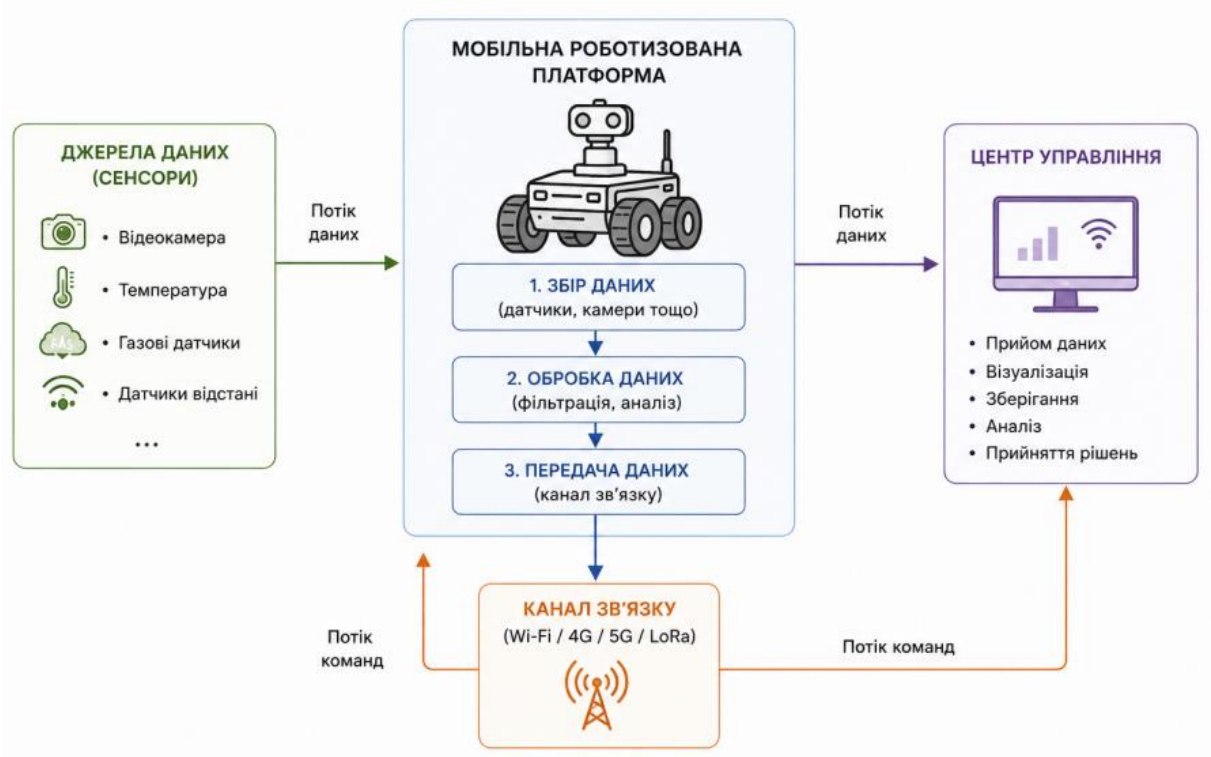


Рисунок 1.4 – Узагальнена схема інформаційних потоків у МРП

Якість цієї системи безпосередньо впливає на ефективність роботи всієї платформи.

Незважаючи на значні переваги, використання МРП має певні обмеження:

– обмежений ресурс живлення;

– складність навігації у невідомому середовищі;

– затримки передачі даних;

– залежність від якості зв’язку;

– висока вартість систем.

Ці проблеми визначають необхідність удосконалення автоматизованих систем, зокрема у частині збору, обробки та передачі даних.

Розглянуто особливості застосування МРП у ЕР. Встановлено, що такі системи є ефективним засобом зниження ризиків для людини та підвищення оперативності реагування.

Проаналізовано класифікацію платформ, їх функціональні можливості та умови експлуатації. Визначено основні технічні вимоги та проблеми використання. Обґрунтовано, що ключовим елементом ефективності МРП є система збору та передачі даних, яка потребує подальшого вдосконалення.

1.2 Аналіз датчиків для моніторингу середовища та стану мобільної роботизованої платформи

Ефективність функціонування МРП у процесі виконання ЕР значною мірою залежить від якості та повноти інформації, що отримується з сенсорної системи [6, 9, 22].

Датчики (рис. 1.5) забезпечують отримання даних про стан навколишнього середовища, положення платформи у просторі, а також технічний стан її компонентів.



Рисунок 1.5 – Датчики, що використовуються у МРП

Сенсорна система МРП повинна відповідати таким вимогам:

– висока точність вимірювань;

– швидкодія;

– стійкість до завад;

– низьке енергоспоживання;

– надійність у складних умовах.

Датчики, що використовуються у МРП, можна поділити на чотири основні групи: навігаційні датчики, датчики середовища, датчики виявлення перешкод і датчики технічного стану.

Навігаційні датчики забезпечують визначення координат, швидкості та орієнтації платформи [15, 16, 27]. Перелічимо основні типи навігаційніх датчиків:

– GPS (Global Positioning System) – визначення географічних координат;

– IMU (Inertial Measurement Unit) – вимірювання прискорення та кутової швидкості;

– енкодери – визначення швидкості обертання коліс.

Датчики інерціального вимірювання (IMU), використовується для визначення орієнтації та руху платформи. Основні параметри IMU: лінійне прискорення, кутова швидкість та орієнтація (кут нахилу).

Датчики середовища забезпечують контроль параметрів навколишнього середовища. До основних типів належать температурні датчики, газоаналізатори, датчики вологості і датчики диму.

Для забезпечення безпечного руху використовуються датчики виявлення перешкод. До основних типів належать ультразвукові, лідарні та інфрачервоні.

Датчики технічного стану дозволяють контролювати стан системи: рівень заряду акумулятора, струм споживання та температуру електронних компонентіів.

У табл. 1.1 наведено порівняльний аналіз основних типів датчиків.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних типів датчиків

Тип датчика	Переваги	Недоліки	Застосування
GPS	велика дальність	низька точність у приміщенні	навігація
IMU	висока швидкодія	дрейф	орієнтація
лідар	висока точність	висока вартість	картографія
ультразвуковий	простота	низька точність	виявлення перешкод
газовий датчик	виявлення небезпечних газів	повільна реакція	моніторинг середовища

Для ефективної роботи МРП доцільно використовувати комбіновану сенсорну систему, що включає:

– GPS + IMU – для навігації;

– ультразвук/лідар – для перешкод;

– датчики середовища – для безпеки.

Такий підхід дозволяє підвищити точність, зменшити вплив шумів та забезпечити резервування [6, 28].

Проведено детальний аналіз датчиків, що використовуються у МРП. Розглянуто їх класифікацію та принципи роботи. Встановлено, що жоден окремий датчик не забезпечує повної інформації, тому необхідно використовувати комплексні сенсорні системи.

1.3 Методи збору та передачі даних у робототехнічних системах

Ефективність функціонування МРП значною мірою визначається якістю системи збору, обробки та передачі даних [18, 19, 24]. Умови ЕР (перешкоди, нестабільний зв’язок, обмежені ресурси) висувають підвищені

вимоги до надійності, швидкодії та енергоефективності комунікаційної підсистеми.

Система передачі даних повинна забезпечувати:

– мінімальну затримку;

– високу достовірність інформації;

– стійкість до завад;

– масштабованість;

– адаптивність до умов середовища.

У РТС застосовуються дві основні архітектури збору даних: централізована та розподілена (рис. 1.6).

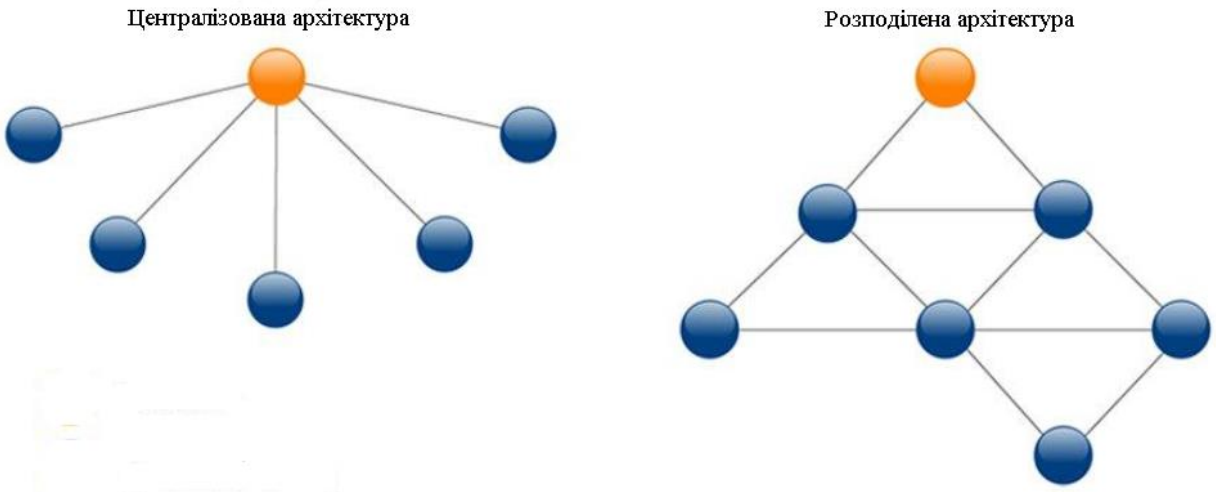


Рисунок 1.6 – Архітектури збору даних

При застосуванні централізованої архітектури всі датчики підключені до одного контролера. До переваг централізованої архітектури можна віднести: проста реалізація і централізована обробка. До недоліків: перевантаження центрального вузла та низька відмовостійкість.

При застосуванні розподіленої архітектури обробка даних виконується локально на вузлах. До переваг розподіленої архітектури можна віднести: масштабованість та підвищена надійність. До недоліків: складність синхронізації.

Для підключення датчиків до контролера використовуються наступні дротові інтерфейси [12, 22, 27]:

– I^2C – двопровідний інтерфейс, який підтримується багатьма пристроями, працює на невисокій швидкості;

– SPI – високошвидкісний інтерфейс, використовується для швидких датчиків;

UART – простий інтерфейс для асинхроного обміну, використовується для GPS та модемів;

CAN – інтерфейс з високою завадостійкістю, використовується у промислових системах.

Для передачі даних між МРП та оператором використовуються такі протоколи передачі даних [18-20]:

– TCP/IP, якій гарантує доставку але має більшу затримку;

– UDP, гарантує швидку передачу але має відсутність гарантії доставки;

– MQTT, має легковаговий протокол, більш ефективний для IoT систем;

– HTTP/HTTPS – універсальний протокол але має більші накладні витрати.

Поряд із дротовими технологіями передачі даних у МРП для обміну даними використовуються також бездротові технології.

У табл. 1.2 наведено основні характеристики бездротових технологій передачі даних.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики бездротових технологій

Технологія	Дальність	Швидкість	Енергоспоживання
Wi-Fi	до 100 м	висока	високе
LoRa	до 10 км	низька	низьке
LTE/4G	глобальна	висока	середнє
Bluetooth	до 10 м	середня	низьке

На рис. 1.7 наведено схему передачі даних від МРП до центру керування.



Рисунок 1.7 – Схема передачі даних від МРП до центру керування

Для забезпечення стабільної роботи системи, підвищення надійності передачі даних у каналах зв`язку використовуються:

– контроль помилок (CRC);

– повторна передача (ARQ);

– кодування (Hamming, Reed-Solomon);

– буферизація даних;

– адаптивна зміна швидкості передачі.

При вибірі оптимальної технології передачі даних для МРП в умовах ЕР доцільно застосовувати комбінований підхід:

– Wi-Fi / LTE – для високошвидкісної передачі;

– LoRa – резервний канал;

– MQTT – протокол обміну.

Це забезпечить надійність, гнучкість та адаптацію до умов навколишнього середовища [17-19].

Розглянуто архітектури автоматизованих систем, інтерфейси підключення датчиків, протоколи та бездротові технології передачі даних. Встановлено, що для забезпечення ефективної роботи МРП необхідно використовувати комбіновані підходи до організації передачі даних.

1.4 Аналіз існуючих мобільних роботизованих платформ для евакуаційних робіт

Сучасні МРП широко застосовуються у сферах безпеки, рятувальних операцій, військових дій та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій [4, 8, 9]. Аналіз існуючих рішень дозволяє визначити рівень розвитку технологій, їх функціональні можливості, а також виявити недоліки, які необхідно враховувати при розробленні нових систем.

1.4.1 Роботизовані мобільні платформи для пошуку та розвідки

Однією з найбільш відомих МРП є PackBot 510 (рис. 1.8), яка використовується для розвідки, знешкодження вибухових пристроїв та роботи у небезпечних середовищах [8, 9].



Рисунок 1.8 – Гусенична військова МРП PackBot 510

PackBot 510 – це багатоцільова гусенична військова МРП малого класу, який переноситься людиною, призначений для саперів та служб першої допомоги, розроблений у складі сімейства PackBot компаніями iRobot та Endeavor Robotics, що нині є підрозділом Teledyne FLIR.

Основні характеристики МРП PackBot 510:

– гусенична платформа з високою прохідністю;

– можливість пересування сходами та у вузьких проходах;

– передача відео, аудіо та сенсорних даних у реальному часі;

– дистанційне керування.

PackBot 510 широко застосовувалась у військових операціях та під час ліквідації наслідків аварій, зокрема на АЕС Фукусіма. МРП дозволяє оператору отримувати дані на безпечній відстані, що значно знижує ризики.

Ще однією розробкою компанії iRobot на базі серії PackBot для програми сухопутних військ США Future Combat Systems (FCS) є МРП XM1216 SUGV (Small Unmanned Ground Vehicle), зображена на рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Гусенична МРП XM1216 SUGV

XM1216 SUGV – це легка тактична гусенична МРП, призначена для ведення розвідки та роботи в небезпечних для людини умовах, особливо в міській забудові та замкнутих просторах.

Особливості МРП XM1216 SUGV:

– компактність та мала маса;

– можливість транспортування одним оператором;

– застосування у міських умовах, тунелях, приміщеннях;

– модульна структура.

Такі платформи використовуються для зменшення ризику для персоналу при виконанні розвідувальних задач.

1.4.2 Мобільні роботизовані платформи для евакуації постраждалих

BEAR (Battlefield Extraction Assist Robot) – це експериментальна МРП, схожа на людину (рис. 1.10), розроблена компанією Vecna Technologies для евакуації поранених з поля бою. Вона поєднує в собі потужні маніпулятори та стійку гусеничну платформу, забезпечуючи безпечне переміщення людини в зонах бойових дій [8, 9].



Рисунок 1.10 – Евакуаційна МРП BEAR

Проєкт BEAR був створений у рамках програми DARPA щодо зниження ризику для військовослужбовців під час рятувальних операцій. Інженери прагнули того, щоб робот міг підіймати та переносити поранених солдатів так само дбайливо, як людина, але без загрози для рятувальника.

Особливості МРП BEAR:

– гуманоїдна конструкція;

– здатність переносити людину;

– робота у складних умовах (сходи, нерівна місцевість);

– дистанційне керування.

Платформа здатна перевозити вантажі вагою до ≈ 227 кг, що робить її ефективним засобом для евакуації поранених.

Ще одним прикладом евакуаційних МРП є iRobot Warrior 710 (рис. 1.11).

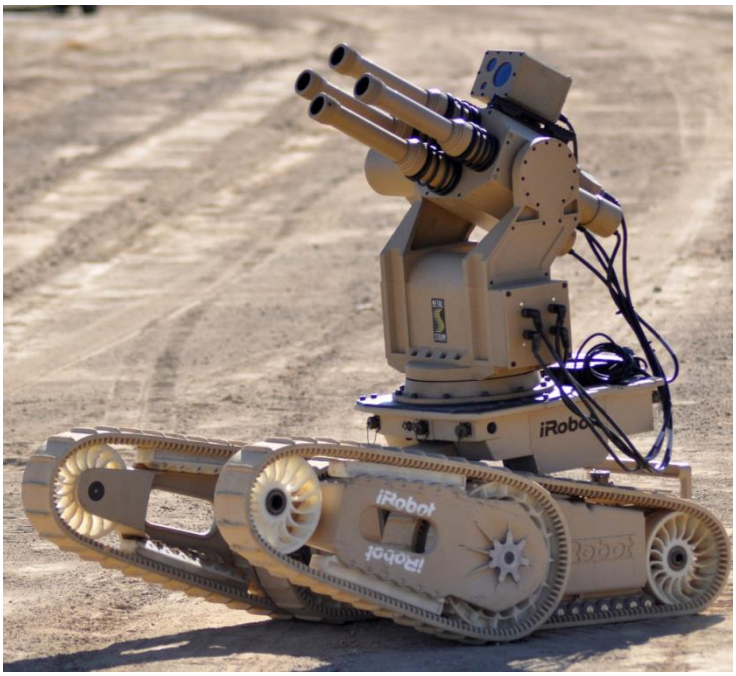


Рисунок 1.11 – Багатоцільова МРП iRobot Warrior 710

iRobot Warrior 710 – це важкийа багатоцільова наземна МРП, розроблений компанією iRobot як військова та рятувальна платформа. Вонн призначена для виконання завдань, небезпечних для людини, зокрема розмінування, розвідки, евакуації та перевезення вантажів у бойових та аварійних умовах [8, 9].

МРП Warrior 710 була створена на основі досвіду експлуатації платформ серії iRobot PackBot, але з більш потужною базою та збільшеним корисним навантаженням. Вона призначалася для збройних сил, служб розмінування, пожежників та рятувальників. Основна ідея полягала в забезпеченні оператора надійним засобом дистанційного впливу в небезпечних середовищах, таких як зони з боєприпасами або хімічними загрозами.

Характеристики МРП iRobot PackBot:

– висока вантажопідйомність;

– швидкість до 15 км/год;

– здатність працювати у складних умовах;

– можливість виконання різних завдань (евакуація, розвідка, пожежогасіння).

Платформа може перевозити значні вантажі та виконувати функції евакуації постраждалих.

1.4.3 Загальні тенденції розвитку мобільних роботизованих платформ

Аналіз розвитку сучасних МРП показує такі тенденції:

– інтеграція великої кількості датчиків;

– використання штучного інтелекту;

– розвиток автономних режимів;

– підвищення рівня телеметрії та передачі даних;

– модульність та масштабованість систем.

МРП активно застосовуються у пошуково-рятувальних операціях, що дозволяє підвищити ефективність та швидкість реагування.

1.4.4 Порівняльний аналіз та основні недоліки існуючих систем

У табл. 1.3 наведено результати аналізу порівняння параметрів МРП.

Таблиця 1.3 – Порівняння параметрів МРП

Параметр	PackBot 510	SUGV	BEAR	iRobot Warrior
1	2	3	4	5
Тип платформи	гусенична	Легка гусенична	гуманоїдна	гусенична
Основне призначення	розвідка, саперні роботи	розвідка	евакуація	універсальна

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5
Вантажо підйомність	до 20 кг	обмежена	до 227 кг	до 227 кг
Автономність	середня	висока	низька	середня
Мобільність	висока	висока	середня	висока
Передача даних	реальний час	реальний час	реальний час	реальний час
Складність системи	середня	низька	висока	висока

Незважаючи на значні досягнення, існуючі системи мають ряд недоліків таких, як висока вартість, складність інтеграції, залежність від стабільного зв’язку, обмежена автономність та значне енергоспоживання.

Крім того, більшість систем орієнтовані або на розвідку, або на транспортування, що обмежує їх універсальність.

Проведено аналіз сучасних МРП, що використовуються у евакуаційних та рятувальних операціях.

Розглянуто реальні приклади МРП, їх характеристики та функціональні можливості. Встановлено, що сучасні системи забезпечують високий рівень автоматизації, однак мають ряд обмежень, пов’язаних із складністю, вартістю та залежністю від каналів зв’язку.

1.5 Постановка задачі на розробку

На основі проведеного аналізу предметної області, сенсорних систем та існуючих РТС встановлено, що ключовим елементом ефективності МРП є автоматизована система збору, обробки та передачі даних. Саме вона забезпечує інформаційну підтримку прийняття рішень під час ЕР.

Умови експлуатації (обмежений зв’язок, завади, динамічність середовища) вимагають створення системи, яка поєднує надійність, швидкодію та енергоефективність.

1.5.1 Загальна постановка задачі

Необхідно розробити автоматизовану систему збору, обробки та передачі даних з датчиків МРП, яка:

– забезпечує інтеграцію різнорідних сенсорів;

– виконує попередню обробку даних;

– передає інформацію в режимі реального часу;

– працює в умовах нестабільного зв’язку;

– мінімізує енергоспоживання;

– забезпечує надійність передачі.

1.5.2 Обмеження автоматизованої системи

Під час розробки необхідно враховувати:

– обмежену пропускну здатність каналу зв’язку;

– обмежений ресурс акумулятора;

– наявність шумів і завад;

– можливі втрати пакетів;

– обмеження обчислювальних ресурсів.

1.5.3 Функціональні вимоги до автоматизованої системи

Автоматизована система повинна:

– забезпечувати безперервний збір даних;

– виконувати попередню обробку (фільтрацію);

– передавати дані з мінімальною затримкою;

– підтримувати резервні канали зв’язку;

– забезпечувати масштабованість;

– працювати в режимі реального часу.

1.5.4 Структурна схема автоматизованої системи

Автоматизована система буде мати багаторівневу структуру:

– сенсорний рівень – збір даних;

– обчислювальний рівень – обробка;

– комунікаційний рівень – передача;

– рівень користувача – моніторинг.

1.5.5 Алгоритм функціонування автоматизованої системи

Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи буде включати такі етапи:

– збір даних з датчиків;

– первинна обробка;

– формування пакета даних;

– передача по каналу зв’язку;

– прийом та відображення.

1.5.6 Очікувані результати розробки

У результаті виконання роботи очікується:

– розроблення ефективної системи збору даних;

– підвищення надійності передачі інформації;

– зменшення затримок;

– оптимізація енергоспоживання;

– підвищення ефективності евакуаційних операцій.

Отже, сформульовано задачу на розроблення автоматизованої системи збору, обробки та передачі даних з датчиків МРП для ЕР. Визначено основні компоненти автоматизованої системи, функціональні вимоги та обмеження.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи проведено аналіз особливостей застосування МРП під час ЕР. Встановлено, що використання роботизованих систем дозволяє зменшити ризики для людини, підвищити оперативність реагування та ефективність виконання ЕР у складних і небезпечних умовах.

Розглянуто основні типи МРП, їх функціональні можливості та умови експлуатації. Визначено, що важливими вимогами до таких систем є надійність, автономність, швидкодія, стійкість до завад та енергоефективність.

Проведено аналіз датчиків, що використовуються у МРП. Досліджено принципи роботи навігаційних, сенсорних та вимірювальних систем, а також визначено переваги використання комплексних сенсорних підсистем для підвищення точності та достовірності даних.

Розглянуто сучасні методи збору та передачі даних у РТС. Проаналізовано інтерфейси підключення датчиків, протоколи обміну інформацією та бездротові технології зв’язку. Встановлено, що для забезпечення стабільної роботи системи в умовах ЕР доцільно використовувати комбіновані канали передачі даних та адаптивні методи обміну інформацією.

Виконано аналіз існуючих МРП і сучасних технічних рішень. Виявлено їх основні переваги та недоліки, зокрема високу вартість, складність реалізації та залежність від стабільності каналів зв’язку.

На основі проведеного аналізу сформульовано постановку задачі дослідження, визначено функціональні вимоги до автоматизованої системи збору та передачі даних, а також виконано формалізацію задачі.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

2.1 Формування вимог до автоматизованої системи

Під час виконання ЕР у небезпечних або важкодоступних зонах МРП відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки персоналу та оперативного отримання інформації про стан навколишнього середовища. Ефективність функціонування таких платформ значною мірою залежить від якості роботи автоматизованої системи збору та передачі даних, яка забезпечує отримання, обробку та передачу інформації від датчиків до оператора або центру керування [6, 20, 24].

Автоматизована система повинна забезпечувати стабільний збір інформації від великої кількості сенсорів у режимі реального часу, а також гарантовану передачу даних навіть в умовах впливу зовнішніх перешкод, нестабільного зв’язку або підвищених механічних навантажень. У зв’язку з цим на етапі проєктування необхідно сформувати комплекс вимог до системи, які визначають її функціональні можливості, надійність та ефективність роботи.

Основними завданнями автоматизованої системи є:

– автоматизований збір даних із датчиків;

– попередня обробка інформації;

– передача даних до оператора;

– забезпечення моніторингу параметрів платформи;

– збереження інформації про події та аварійні ситуації;

– підтримка роботи в режимі реального часу.

До складу автоматизованої системи входить:

– мікроконтролер або одноплатний комп’ютер;

– датчики температури, газу, відстані та положення;

– модулі бездротового зв’язку;

– система живлення;

– ПЗ моніторингу;

– інтерфейс оператора.

Функціональні вимоги визначають перелік задач, які повинна виконувати автоматизована система під час роботи МРП.

Система повинна забезпечувати:

– безперервний збір даних із сенсорів;

– одночасне підключення декількох типів датчиків;

– передачу даних у режимі реального часу;

– виявлення аварійних ситуацій;

– автоматичне формування повідомлень про небезпеку;

– відображення інформації на інтерфейсі оператора;

– збереження журналу подій;

– можливість масштабування системи.

Особливу увагу необхідно приділити забезпеченню високої швидкодії системи, оскільки затримки під час передачі критично важливих даних можуть негативно вплинути на ефективність проведення ЕР.

Автоматизована система повинна характеризуватися високою надійністю роботи в складних умовах експлуатації. Під час ЕР МРП може працювати у середовищах із підвищеною запиленістю, вібраціями, температурними коливаннями та нестабільним зв’язком.

Для забезпечення надійності автоматизована система повинна [4, 25, 26]:

– підтримувати резервування каналів передачі даних;

– забезпечувати автоматичне відновлення зв’язку;

– мати захист від втрати інформації;

– контролювати справність підключених датчиків;

– виконувати самодіагностику основних модулів;

– підтримувати стабільну роботу при перешкодах.

Надійність системи безпосередньо впливає на безпеку виконання ЕР, тому питання стійкості до відмов є одним із ключових під час проєктування.

Передача інформації між МРП та оператором повинна здійснюватися із мінімальними затримками та високою точністю. Канали зв’язку мають забезпечувати стабільну роботу навіть за наявності перешкод або значної відстані між платформою та пунктом керування.

Основними вимогами до підсистеми передачі даних є:

– підтримка бездротового зв’язку;

– висока швидкість передачі інформації;

– мінімальний рівень затримок;

– захист інформації від втрати;

– підтримка передачі телеметричних даних;

– можливість роботи в умовах слабкого сигналу.

Для забезпечення стабільного зв’язку можуть використовуватися сучасні технології Wi-Fi, LoRa, GSM або Bluetooth залежно від умов експлуатації МРП.

МРП працює від автономних джерел живлення, тому автоматизована система повинна мати низький рівень енергоспоживання. Це дозволяє збільшити тривалість автономної роботи та підвищити ефективність виконання ЕР.

Основними вимогами до енергоспоживання є:

– оптимізація режимів роботи датчиків;

– використання енергоефективних мікроконтролерів;

– підтримка режимів енергозбереження;

– мінімізація навантаження на акумулятор;

– контроль рівня заряду системи живлення.

Раціональне використання енергетичних ресурсів дозволяє забезпечити стабільну роботу МРП протягом тривалого часу без необхідності додаткового заряджання.

Сформовані вимоги до автоматизованої системи збору та передачі даних визначають основні напрями подальшого проєктування МРП. Виконання зазначених вимог дозволить забезпечити надійну, стабільну та ефективну роботу системи під час проведення ЕР у складних умовах експлуатації.

2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи

Ефективність роботи МРП під час проведення ЕР значною мірою залежить від правильно побудованої структури автоматизованої системи. Структурна схема системи повинна забезпечувати стабільний збір даних від сенсорів, їх оперативну обробку, передачу інформації оператору та координацію роботи всіх функціональних модулів платформи [20, 21, 24].

Під час розроблення структурної схеми автоматизованої системи необхідно враховувати умови експлуатації МРП, особливості роботи в небезпечному середовищі, обмеження енергоспоживання та вимоги до швидкодії системи. Крім того, система повинна мати модульну архітектуру, що забезпечує можливість її подальшої модернізації та масштабування.

Основною метою побудови структурної схеми автоматизованої системи є забезпечення:

– безперервного збору інформації;

– швидкої передачі даних;

– стабільної роботи в умовах перешкод;

– централізованого контролю параметрів;

– взаємодії між усіма елементами системи;

– підвищення надійності роботи платформи.

Структурна схема автоматизованої системи збору та передачі даних складається з декількох взаємопов’язаних функціональних модулів, кожен із яких виконує окремі задачі (рис. 2.1).

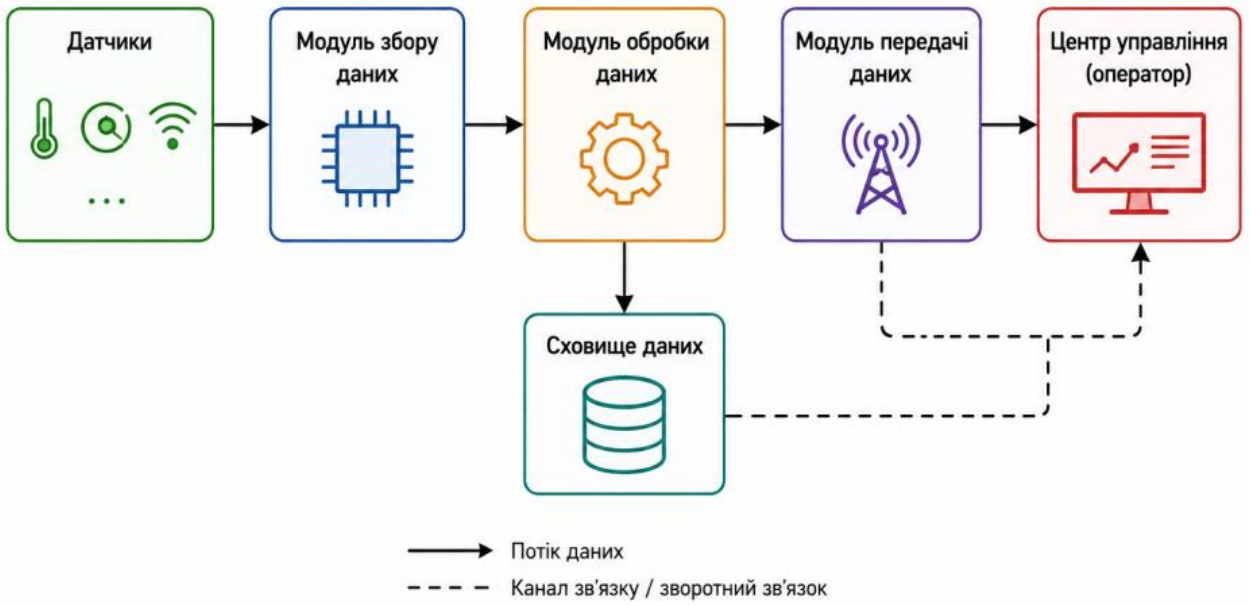


Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема автоматизованої системи

До основних компонентів автоматизованої системи збору та передачі даних належать:

– сенсорна підсистема;

– підсистема збору даних;

– модуль обробки інформації;

– модуль передачі даних;

– система живлення;

– операторський інтерфейс;

– підсистема збереження інформації.

Сенсорна підсистема виконує функцію контролю параметрів навколишнього середовища та технічного стану МРП. Вона формує первинну інформацію для подальшої обробки та передачі.

Підсистема збору даних забезпечує опитування датчиків, перетворення сигналів та підготовку інформації для подальшої передачі. У ролі центрального елемента може використовуватися мікроконтролер або одноплатний комп’ютер.

Модуль обробки інформації виконує фільтрацію даних, перевірку коректності сигналів, усунення помилок, формування телеметричних пакетів та підготовку повідомлень для оператора.

Модуль передачі даних забезпечує бездротовий зв’язок між мобільною платформою та пунктом керування. Для цього можуть використовуватися технології Wi-Fi, GSM, Bluetooth або LoRa залежно від умов застосування.

Операторський інтерфейс призначений для відображення параметрів системи, моніторингу стану МРП, отримання повідомлень про небезпеку, контролю роботи сенсорів та аналізу журналу подій.

Датчики є основними джерелами інформації в автоматизованої системі. Від правильності їх підключення залежить точність отриманих даних та стабільність роботи всієї системи.

До складу МРП для ЕР можуть входити різноманітні датчики (температури, ультразвукові, інфрачервоні, газові, акселерометри, гіроскопи тощо). Підключення датчиків може здійснюватися через цифрові інтерфейси, аналогові входи, послідовні інтерфейси UART, шини I^2C та SPI.

Використання стандартних інтерфейсів забезпечує сумісність обладнання, спрощення інтеграції, підвищення швидкості передачі даних, а також зменшення кількості помилок під час обміну інформацією.

Для підвищення надійності роботи сенсорної підсистеми доцільно використовувати механізми діагностики справності датчиків та контроль достовірності отриманих сигналів.

Інформаційні потоки в автоматизованій системі забезпечують передачу даних між окремими модулями мобільної роботизованої платформи. Організація потоків даних повинна забезпечувати мінімальні затримки, стабільність передачі та високу швидкодію системи [18, 20].

Процес руху інформації в автоматизованої системі складається з таких етапів:

– отримання сигналів від датчиків;

– попередня обробка інформації;

– формування пакетів даних;

– передача інформації каналами зв’язку;

– приймання та відображення даних оператором;

– збереження інформації у журналі подій.

Під час організації інформаційного обміну необхідно враховувати швидкість оновлення даних, пріоритетність критичних повідомлень, обсяг переданої інформації, наявність перешкод у каналах зв’язку, а також можливість втрати пакетів даних.

Для підвищення ефективності передачі інформації можуть використовуватися буферизація даних, пакетний режим передачі, алгоритми перевірки цілісності та дублювання критично важливої інформації.

Центральний контролер є основним елементом автоматизованої системи, який координує роботу всіх модулів МРП.

Вибір контролера залежить від кількості підключених датчиків, необхідної швидкодії, вимог до енергоспоживання та складності алгоритмів обробки даних.

Оскільки МРП використовується в умовах підвищеної небезпеки, структура автоматизованої системи повинна забезпечувати високу відмовостійкість.

Для забезпечення надійності структури системи необхідно:

– використовувати захищені канали зв’язку;

– передбачити резервування живлення;

– застосовувати захист від електромагнітних перешкод;

– контролювати стан основних модулів;

– використовувати механізми автоматичного відновлення зв’язку.

Крім того, система повинна забезпечувати стабільну роботу навіть у разі тимчасової втрати окремих каналів зв’язку або виходу з ладу окремих сенсорів.

Розроблена структурна схема автоматизованої системи забезпечує ефективний збір, обробку та передачу даних від сенсорів МРП під час виконання ЕР. Запропонована архітектура характеризується модульністю, гнучкістю та можливістю подальшого розширення функціональних можливостей системи.

2.3 Вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи

Одним із найважливіших етапів проєктування автоматизованої системи збору та передачі даних МРП є вибір апаратного забезпечення. Від правильності вибору технічних засобів залежить стабільність роботи системи, швидкість обробки інформації, надійність передачі даних та ефективність функціонування платформи під час виконання ЕР.

Умови використання МРП характеризуються підвищеним рівнем складності, оскільки автоматизована система може працювати в складних та небезпечних умовах.

У зв’язку з цим апаратне забезпечення повинно відповідати вимогам надійності, енергоефективності, компактності, сумісності із сенсорними модулями та стійкості до зовнішніх впливів.

До основних компонентів апаратного забезпечення автоматизованої системи належать:

– центральний контролер;

– сенсорні модулі;

– модулі передачі даних;

– система живлення;

– допоміжні виконавчі елементи;

– засоби збереження інформації.

Центральний контролер виконує функції координації роботи всієї автоматизованої системи. Саме він забезпечує опитування датчиків, обробку інформації, формування пакетів даних, передачу інформації оператору та контроль роботи окремих модулів.

Під час вибору контролера необхідно враховувати:

– кількість підключених датчиків;

– швидкість обробки даних;

– наявність бездротових інтерфейсів;

– енергоспоживання;

– підтримку сучасних протоколів зв’язку;

– можливість масштабування системи.

Для реалізації системи можуть використовуватися: Arduino Mega, ESP32, Raspberry Pi та NVIDIA Jetson Nano.

Мікроконтролер Arduino Mega характеризується простотою програмування та великою кількістю цифрових і аналогових входів. Проте його обчислювальні можливості є обмеженими для складних задач обробки інформації.

Контролер ESP32 є одним із найбільш доцільних рішень для МРП завдяки вбудованому Wi-Fi та Bluetooth, низькому енергоспоживанню, високій швидкодії, компактним розмірам, а також підтримці багатозадачності.

Платформи Raspberry Pi та Jetson Nano мають значно вищу продуктивність та можуть використовуватися для складної обробки відеоданих або роботи систем комп’ютерного зору. Однак вони характеризуються підвищеним енергоспоживанням та складнішою організацією живлення.

Для реалізації автоматизованої системи використовуємо мікроконтролер ESP32, оскільки цей контролер забезпечує оптимальне співвідношення між продуктивністю, енергоспоживанням та функціональними можливостями [12, 13].

Сенсорна підсистема призначена для контролю параметрів навколишнього середовища та технічного стану МРП.

Під час виконання ЕР особливу важливість мають контроль температури, виявлення небезпечних газів, визначення перешкод, контроль положення платформи та навігація у просторі.

Для реалізації зазначених функцій використовуємо такі датчики [14-17]:

– температури – використовуються для контролю стану навколишнього середовища, виявлення осередків займання та контролю температури

електронних модулів. Поширеними рішеннями є DHT22, DS18B20 та LM35.

– газові – забезпечують виявлення небезпечних речовин у зоні виконання ЕР. Поширеними рішеннями є MQ-2, MQ-5 та MQ-135. Такі датчики дозволяють виявляти: дим, чадний газ, метан, пропан та токсичні випари.

– відстані – використовуються для уникнення зіткнень. МРП повинна контролювати відстань до навколишніх об’єктів. Для цього використовують: ультразвукові датчики HC-SR04, LiDAR-системи та інфрачервоні датчики.

– інерціальні – використовуються для визначення просторового положення платформи. Для цього використовують: акселерометри, гіроскопи та IMU-модулі. Такі пристрої дозволяють контролювати нахил платформи, визначати прискорення, а також оцінювати стабільність руху.

Передача інформації є одним із ключових елементів автоматизованої системи. Модулі зв’язку повинні забезпечувати стабільну роботу навіть у складних умовах експлуатації.

Для передачі даних можуть використовуватися наступні технології:

– Wi-Fi – характеризується високою швидкістю передачі даних, підтримкою передачі відео, простотою інтеграції та обмеженим радіусом дії.

– Bluetooth – характеризується низьким енергоспоживанням, простотою підключення та невеликою дальністю передачі.

– GSM – дозволяють передавати інформацію на значні відстані, працювати через мобільні мережі та забезпечувати дистанційний моніторинг.

– LoRa – забезпечує великий радіус передачі, низьке енергоспоживання та стабільний зв’язок у складних умовах.

Для МРП найбільш доцільним є комбіноване використання Wi-Fi та LoRa, що дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних та збільшений радіус дії системи.

Система живлення повинна забезпечувати стабільну роботу всіх елементів МРП. Основними вимогами до системи живлення є автономність, захист від перевантажень, компактність та можливість швидкого заряджання.

Для живлення системи використовуємо літій-полімерні акумулятори, оскільки вони мають невелику вагу, високу енергетичну щільність та компактні розміри.

Для забезпечення безпечної роботи системи необхідно використовуємо захист від короткого замикання, контроль рівня заряду, а також систему аварійного відключення.

Для збереження телеметричних даних та журналів подій використовуємо EEPROM-пам’ять, SD-карти та хмарні сервіси. Збереження інформації дозволяє виконувати аналіз роботи системи, виявляти несправності, контролювати ефективність ЕР та проводити післяаварійний аналіз.

У табл. 2.3 наведено апаратне забезпечення автоматизованої системи збору та передачі даних.

Таблиця 2.3 – Вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи

№	Компонент системи	Обрана модель	Основні характеристики	Призначення
1	2	3	4	5
1	Центральний контролер	ESP32 DevKit V1	двоядерний процесор 240 МГц, Wi-Fi, Bluetooth, 520 КБ SRAM	збір, обробка та передача даних
2	Датчик температури та вологості	DHT22	діапазон температур від -40 до +80 °C, вологість 0 – 100 %	контроль параметрів навколишнього середовища
3	Газовий датчик	MQ-2	виявлення диму, метану, пропану та інших газів	моніторинг газового середовища
4	Датчик відстані	HC-SR04	діапазон вимірювання 2 – 400 см	виявлення перешкод та вимірювання відстані
5	Інерціальний модуль	MPU6050	тривісний акселерометр та гіроскоп	контроль положення та руху платформи

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
6	Навігаційний модуль	NEO-6M GPS	визначення координат та швидкості руху	навігація та позиціонування
7	Камера відеоспостереження	ESP32-CAM	роздільна здатність до 1600×1200 пікселів	відеомоніторинг та пошук постраждалих
8	Модуль бездротового зв'язку	LoRa SX1278	робоча частота 433 МГц, дальність до 5 км	передача телеметричних даних на великі відстані
9	Модуль зв'язку	Wi-Fi (вбудований в ESP32)	IEEE 802.11 b/g/n	передача даних у локальній мережі
10	Засіб збереження даних	MicroSD-модуль	підтримка карт пам'яті до 32 ГБ	зберігання телеметричних даних та журналів подій
11	Джерело живлення	Li-Po акумулятор 12 В	ємність 5000 мА·год	автономне живлення системи
12	Перетворювач напруги	DC-DC LM2596	вхідна напруга 4 – 40 В, вихідна напруга 1,25 – 35 В	стабілізація напруги живлення

Правильний вибір апаратного забезпечення дозволяє забезпечити надійну та ефективну роботу автоматизованої системи збору та передачі даних МРП. Використання сучасних контролерів, сенсорних модулів та засобів бездротового зв’язку створює основу для побудови стабільної інформаційної системи, здатної функціонувати в складних умовах ЕР.

2.4 Розроблення алгоритму автоматизованої системи

Одним із ключових елементів є алгоритм автоматизованої системи збору та передачі даних. Саме алгоритмічне забезпечення визначає порядок

взаємодії між сенсорами, центральним контролером, модулями зв’язку та оператором системи. Від ефективності побудови алгоритму залежить швидкодія системи, стабільність роботи каналів зв’язку та достовірність отриманої інформації [20, 23, 24].

Під час проведення ЕР МРП повинна працювати в умовах високого рівня перешкод, можливих втрат зв’язку та значної кількості одночасно оброблюваних даних. У зв’язку з цим алгоритм повинен забезпечувати безперервний збір інформації, швидку обробку сигналів, пріоритетність критичних повідомлень, мінімальні затримки передачі, захист від втрати даних та стабільну роботу системи у режимі реального часу.

Алгоритм повинен підтримувати роботу із сенсорними модулями різних типів та забезпечувати можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи.

На рис. 2.2 наведено алгоритм роботи автоматизованої системи збору та передачі даних.

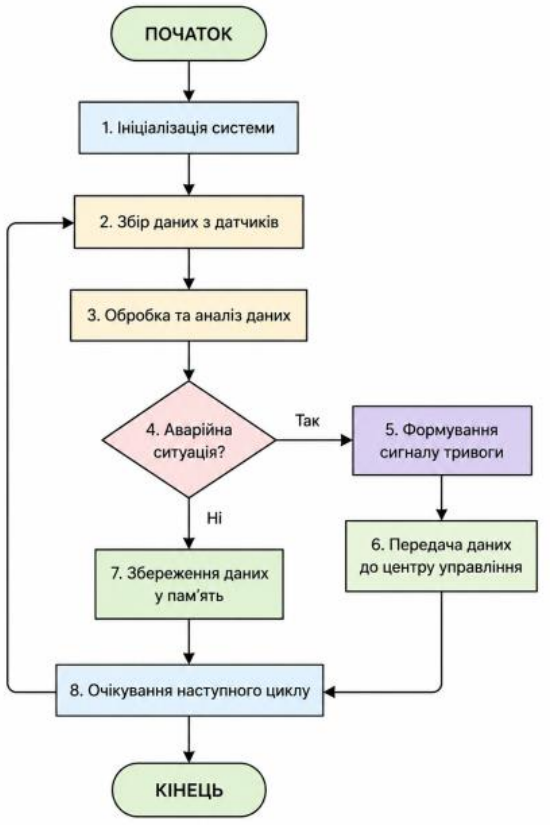


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи автоматизованої системи

Алгоритм роботи автоматизованої системи можна умовно поділити на декілька основних етапів:

– ініціалізація системи;

– опитування датчиків;

– обробка та фільтрація даних;

– формування інформаційних пакетів;

– передача інформації каналами зв’язку;

– приймання та обробка даних оператором;

– збереження інформації у журналі подій;

– контроль працездатності системи.

На етапі ініціалізації система виконує перевірку підключення датчиків, перевірку модулів зв’язку, налаштування параметрів передачі даних, запуск службових процесів та контроль рівня живлення. Після успішної ініціалізації система переходить у режим циклічного збору та передачі інформації.

Далі запускається алгоритм опитування датчиків. Опитування сенсорів здійснюється центральним контролером із заданою періодичністю. Частота опитування залежить від типу датчика та критичності отримуваної інформації. Процес опитування датчиків включає отримання первинного сигналу, перевірку коректності значень, усунення помилкових вимірювань, фільтрацію шумів та передавання даних до модуля обробки. Для підвищення стабільності роботи системи використовуються механізми усереднення значень, програмної фільтрації, повторного опитування у разі помилки, а також перевірки діапазону допустимих значень. У випадку виявлення критичних параметрів система повинна негайно формувати аварійне повідомлення та передавати його оператору.

Після отримання даних від сенсорів система виконує їх попередню обробку, запускається алгоритм обробки інформації. Це дозволяє зменшити навантаження на канали зв’язку та підвищити достовірність інформації. Обробка даних включає фільтрацію шумів, нормалізацію параметрів, аналіз допустимих меж, визначення аварійних ситуацій та формування службових

повідомлень. Для різних типів даних можуть застосовуватися окремі методи обробки, наприклад для температурних даних – усереднення значень, для навігаційної інформації – фільтрація координат, для сигналів газових сенсорів – перевірка перевищення порогових значень. Після обробки система формує інформаційні пакети для подальшої передачі.

Для забезпечення ефективного обміну інформацією система використовує пакетний принцип передачі даних. Кожний пакет може містити ідентифікатор пристрою, часову мітку, тип датчика, значення параметра, службову інформацію та контрольну суму. Формування пакетів дозволяє зменшити кількість помилок передачі, спростити контроль цілісності інформації, забезпечити синхронізацію між модулями системи, а також підвищити швидкість обробки даних. Для перевірки правильності передачі використовується контрольна сума або CRC-код, що дозволяє виявляти пошкоджені пакети.

Реалізація алгоритму передачі даних здійснюється за допомогою бездротових каналів зв’язку. Основними задачами алгоритму передачі є забезпечення стабільного зв’язку, мінімізація затримок, повторна передача пошкоджених пакетів та контроль доступності каналу. Алгоритм передачі включає підготовку пакета даних, перевірку доступності каналу зв’язку, передачу інформації, отримання підтвердження та повторну передачу у разі помилки. У разі втрати зв’язку система повинна автоматично виконувати повторне підключення, зберігати дані у локальній пам’яті та передавати накопичену інформацію після відновлення зв’язку. Для критично важливих повідомлень використовується механізм пріоритетної передачі, який забезпечує мінімальний час доставки інформації оператору.

Для підвищення надійності роботи системи передбачено ведення журналювання подій. У журналі фіксуються результати вимірювань, помилки передачі, аварійні ситуації, зміни режимів роботи, втрати зв’язку та повідомлення про несправності. Журналювання дозволяє виконувати аналіз роботи системи, виявляти причини несправностей, контролювати

стабільність функціонування та проводити післяаварійний аналіз. Інформація може зберігатися у внутрішній пам’яті контролера, на SD-карті, у хмарному сховищі та на сервері оператора.

Для забезпечення стабільної роботи автоматизована система повинна постійно контролювати власний технічний стан. Алгоритм контролю працездатності системи включає перевірку підключення датчиків, контроль рівня сигналу, моніторинг стану акумулятора, перевірку роботи модулів зв’язку та контроль температури електронних компонентів. У разі виявлення несправностей система повинна формувати повідомлення оператору, переводити окремі модулі у безпечний режим, виконувати автоматичне перезавантаження, а також активувати резервні механізми передачі інформації.

Під час виконання ЕР алгоритм повинен забезпечувати підвищену стійкість до електромагнітних перешкод, втрати зв’язку, механічних впливів, нестабільного живлення та великої кількості одночасних подій.

Особливу увагу необхідно приділити передачі аварійних повідомлень, оскільки своєчасне інформування оператора може безпосередньо впливати на безпеку людей та ефективність проведення ЕР.

Розроблений алгоритм збору та передачі даних забезпечує ефективну взаємодію всіх компонентів МРП. Реалізація запропонованих алгоритмічних рішень дозволяє підвищити надійність, швидкодію та стабільність роботи автоматизованої системи під час виконання ЕР у складних умовах експлуатації.

2.5 Розроблення інтерфейсу моніторингу параметрів мобільної роботизованої платформи

Інтерфейс моніторингу параметрів платформи є одним із найважливіших елементів автоматизованої системи збору та передачі даних МРП. Саме через інтерфейс оператор отримує інформацію про стан

платформи, параметри навколишнього середовища, роботу датчиків та можливі аварійні ситуації. Від якості організації інтерфейсу залежить швидкість прийняття рішень оператором, ефективність керування платформою та безпечність проведення ЕР [20, 21, 23].

Під час роботи у складних умовах оператор повинен мати можливість швидко оцінювати ситуацію та оперативно реагувати на зміну параметрів системи. У зв’язку з цим інтерфейс моніторингу повинен бути інтуїтивно зрозумілим, інформативним, швидкодіючим, стійким до помилок та зручним для роботи у реальному часі.

На рис. 2.3 зображено розроблений інтерфейс моніторингу параметрів автоматизованої системи.

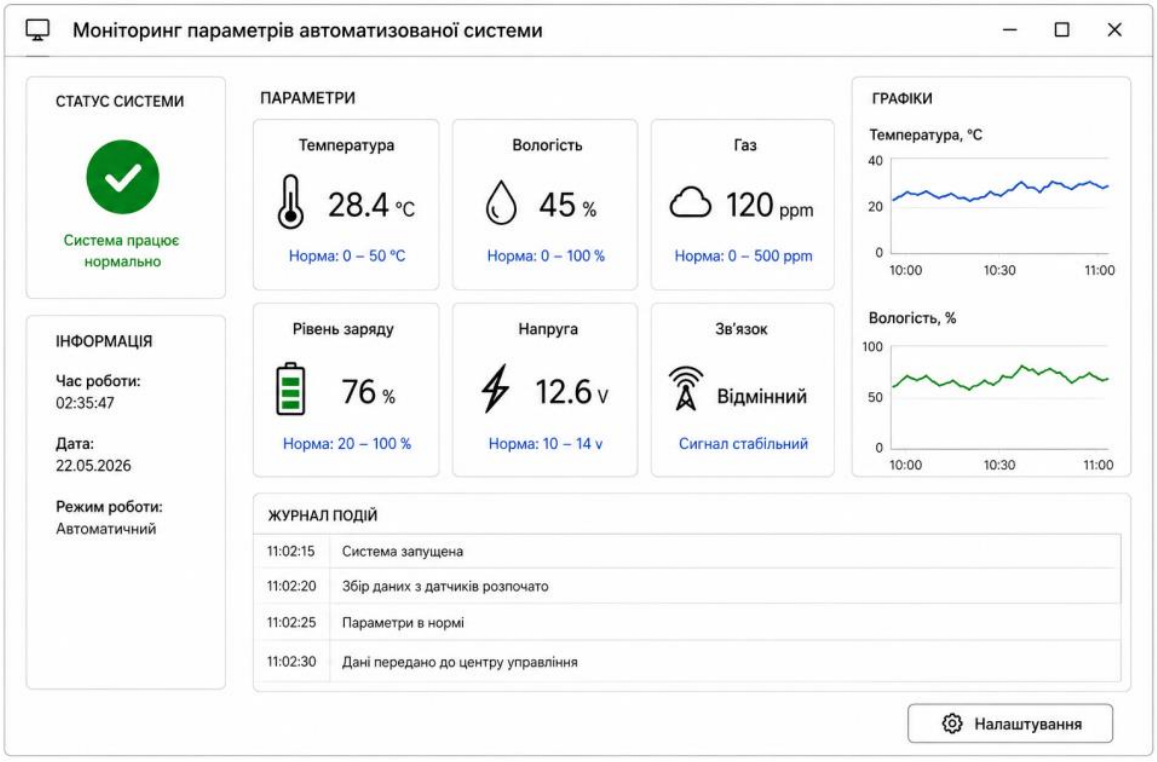


Рисунок 2.3 – Інтерфейс моніторингу параметрів автоматизованої системи

Основними задачами розробленого інтерфейсу моніторингу параметрів автоматизованої системи є:

– відображення параметрів датчиків;

– контроль технічного стану системи;

– повідомлення про аварійні ситуації;

– візуалізація телеметричних даних;

– збереження інформації про події;

– забезпечення взаємодії оператора із системою.

Інтерфейс моніторингу параметрів системи забезпечує швидке сприйняття інформації оператором навіть в умовах високого навантаження. Тому під час його розроблення враховано мінімальну кількість зайвих елементів, логічне розташування блоків, використання зрозумілих позначень, контрастне відображення критичних повідомлень, а також адаптацію до різних типів пристроїв.

Автоматизована система моніторингу підтримує роботу на ПК, планшетах, дистанційний доступ через мережу та оновлення даних у режимі реального часу.

Інтерфейс забезпечує одночасне відображення параметрів датчиків, стану каналів зв’язку, рівня заряду акумулятора, координат платформи, системних повідомлень та журналу подій. Для зручності роботи інтерфейс поділено на кілька функціональних областей. До основних блоків інтерфейсу належать інформаційна панель, блок телеметричних даних, блок аварійних повідомлень, навігаційна область, журнал подій та панель керування системою.

Інформаційна панель призначена для відображення основних параметрів МРП. На панелі відображається стан системи, активність каналів зв’язку, рівень сигналу, заряд акумулятора, режим роботи платформи та час роботи системи. Для підвищення наочності використано кольорові індикатори, графічні шкали, піктограми та анімовані елементи.

Блок телеметричних даних забезпечує відображення інформації від сенсорів у режимі реального часу. До телеметричних параметрів належать температура, концентрація газів, відстань до перешкод, координати платформи, швидкість руху та параметри навколишнього середовища.

Інформація може відображається у вигляді таблиць, графіків, цифрових індикаторів, діаграм та часових залежностей.

Графічна візуалізація дозволяє оператору швидко аналізувати зміну параметрів системи та виявляти потенційно небезпечні ситуації.

Однією з найважливіших функцій інтерфейсу є оперативне інформування оператора про аварійні ситуації. Система повідомлень реагує на перевищення температури, виявлення небезпечних газів, втрату зв’язку, низький заряд акумулятора, відмову датчиків та помилки передачі даних.

Для привернення уваги оператора використано кольорові повідомлення, звукові сигнали, миготливі індикатори та спливаючі вікна. Критично важливі повідомлення мають найвищий пріоритет та відображатися незалежно від поточного режиму роботи системи.

Для контролю переміщення МРП інтерфейс містить навігаційний модуль, основними функціями якого є:

– відображення координат платформи;

– побудова маршруту руху;

– визначення положення на карті;

– контроль напрямку руху;

– відображення зон небезпеки.

Для реалізації навігації використано GPS-модулі, цифрові карти та системи локального позиціонування. Навігаційний блок значно підвищує ефективність роботи оператора під час проведення ЕР у складних умовах.

Для контролю роботи системи та аналізу аварійних ситуацій передбачено ведення журналу подій. У журналі фіксуються результати вимірювань, повідомлення про аварії, зміна режимів роботи, втрати зв’язку та час виникнення подій. Журналювання дозволяє аналізувати роботу системи, виявляти причини несправностей, контролювати стабільність функціонування, а також виконувати післяаварійний аналіз.

Для спрощення пошуку інформації використовується фільтрація подій, сортування за часом, групування повідомлень та пошук за ключовими

словами.

Панель керування автоматизованою системою забезпечує взаємодію оператора з МРП. За допомогою панелі керування оператор може запускати та зупиняти систему, змінювати режими роботи, налаштовувати параметри датчиків, керувати передачею даних, виконувати перезапуск модулів, а також активувати аварійний режим. Панель керування системою є максимально простою та зрозумілою, щоб звести до мінімуму ймовірність помилок оператора.

Інтерфейс параметрів системи забезпечує стабільну роботу навіть за наявності втрати окремих пакетів даних, нестабільного зв’язку, високого навантаження та великої кількості одночасних повідомлень. Для цього при розробці використано механізми автоматичного оновлення, буферизацію інформації, контроль цілісності даних та резервне збереження інформації. Крім того, інтерфейс має захист від несанкціонованого доступу, випадкової зміни параметрів та втрати журналів подій.

Під час ЕР оператор працює в умовах високого навантаження та обмеженого часу на прийняття рішень. Тому інтерфейс забезпечує швидке сприйняття інформації, мінімальну кількість дій для керування, автоматичне виділення критичних параметрів та стабільну роботу у режимі реального часу.

Особливу увагу приділено відображенню аварійних повідомлень, контролю рівня небезпеки, моніторингу стану каналів зв’язку та контролю роботи сенсорної системи.

Поввний текст програмного коду інтерфейсу моніторингу параметрів автоматизованої системи наведено у Додатку А.

Розроблений інтерфейс моніторингу параметрів забезпечує ефективну взаємодію оператора із автоматизованою системою МРП. Використання сучасних засобів візуалізації та організації інформації дозволяє підвищити швидкість прийняття рішень, покращити контроль роботи системи та забезпечити безпечне проведення ЕР.

2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі роботи було розроблено основні технічні рішення щодо побудови автоматизованої системи збору та передачі даних МРП, призначеної для виконання ЕР у складних та небезпечних умовах експлуатації.

Сформовано основні вимоги до автоматизованої системи, які враховують специфіку роботи МРП в умовах підвищеного рівня небезпеки, нестабільного зв’язку, обмеженого енергоживлення та необхідності оперативного реагування на зміну параметрів навколишнього середовища. Визначено, що система повинна забезпечувати безперервний збір даних, стабільну передачу інформації, контроль стану сенсорів та підтримку роботи у режимі реального часу.

Розроблено структурну схему автоматизованої системи, яка включає сенсорну підсистему, центральний контролер, модулі бездротового зв’язку, систему живлення та операторський інтерфейс. Запропонована структура характеризується модульністю, гнучкістю та можливістю подальшого розширення функціональних можливостей системи. Організація інформаційних потоків дозволяє забезпечити ефективний обмін даними між усіма компонентами МРП.

Виконано вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи. Проведено аналіз сучасних мікроконтролерів, сенсорних модулів, каналів зв’язку та систем живлення. Визначено доцільність використання енергоефективних контролерів типу ESP32, а також сучасних сенсорів температури, газових датчиків, датчиків відстані та інерціальних модулів. Для передачі інформації запропоновано використання бездротових технологій Wi-Fi та LoRa, які забезпечують необхідну швидкість обміну даними та достатній радіус дії системи.

Розроблено алгоритм збору та передачі даних, який забезпечує циклічне опитування датчиків, попередню обробку інформації, формування

пакетів даних та їх передачу каналами зв’язку. Передбачено механізми контролю цілісності інформації, повторної передачі пакетів у разі помилок та автоматичного відновлення зв’язку. Запропонований алгоритм дозволяє підвищити стабільність функціонування системи та зменшити ймовірність втрати критично важливої інформації.

Розроблено інтерфейс моніторингу параметрів системи, який забезпечує відображення телеметричних даних, контроль стану МРП та оперативне інформування оператора про аварійні ситуації. Передбачено використання інформаційних панелей, графічних елементів візуалізації, системи повідомлень та журналу подій. Запропонований інтерфейс дозволяє підвищити ефективність взаємодії оператора із системою та забезпечити оперативне прийняття рішень під час проведення ЕР.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

3.1 Програмна реалізація автоматизованої системи

ПЗ автоматизованої системи збору та передачі даних є одним із ключових компонентів мобільної роботизованої платформи, оскільки саме воно забезпечує взаємодію між апаратними модулями, реалізує алгоритми опитування датчиків, виконує обробку інформації та організовує її передачу до центру керування в режимі реального часу [4, 6]. Від якості програмної реалізації значною мірою залежать швидкодія, надійність та функціональні можливості всієї системи.

Відповідно до загальної структурної схеми автоматизованої системи (див. рис. 2.1), ПЗ повинно забезпечувати виконання таких основних функцій:

– ініціалізацію апаратних ресурсів системи;

– опитування сенсорних модулів;

– обробку та фільтрацію отриманих даних;

– формування телеметричних пакетів;

– передачу інформації бездротовими каналами зв'язку;

– виявлення аварійних ситуацій;

– ведення журналу подій;

– взаємодію з інтерфейсом оператора.

Структуру ПЗ автоматизованої системи наведено на рис. 3.1.

Для реалізації ПЗ було обрано середовище розроблення Arduino IDE, яке підтримує програмування мікроконтролерів сімейства ESP32 та забезпечує використання значної кількості бібліотек для роботи із сенсорами, мережевими протоколами та периферійними пристроями [10, 12]. Застосування середовища Arduino IDE дозволяє суттєво скоротити час

розроблення ПЗ та підвищити його надійність за рахунок використання готових програмних компонентів [11].

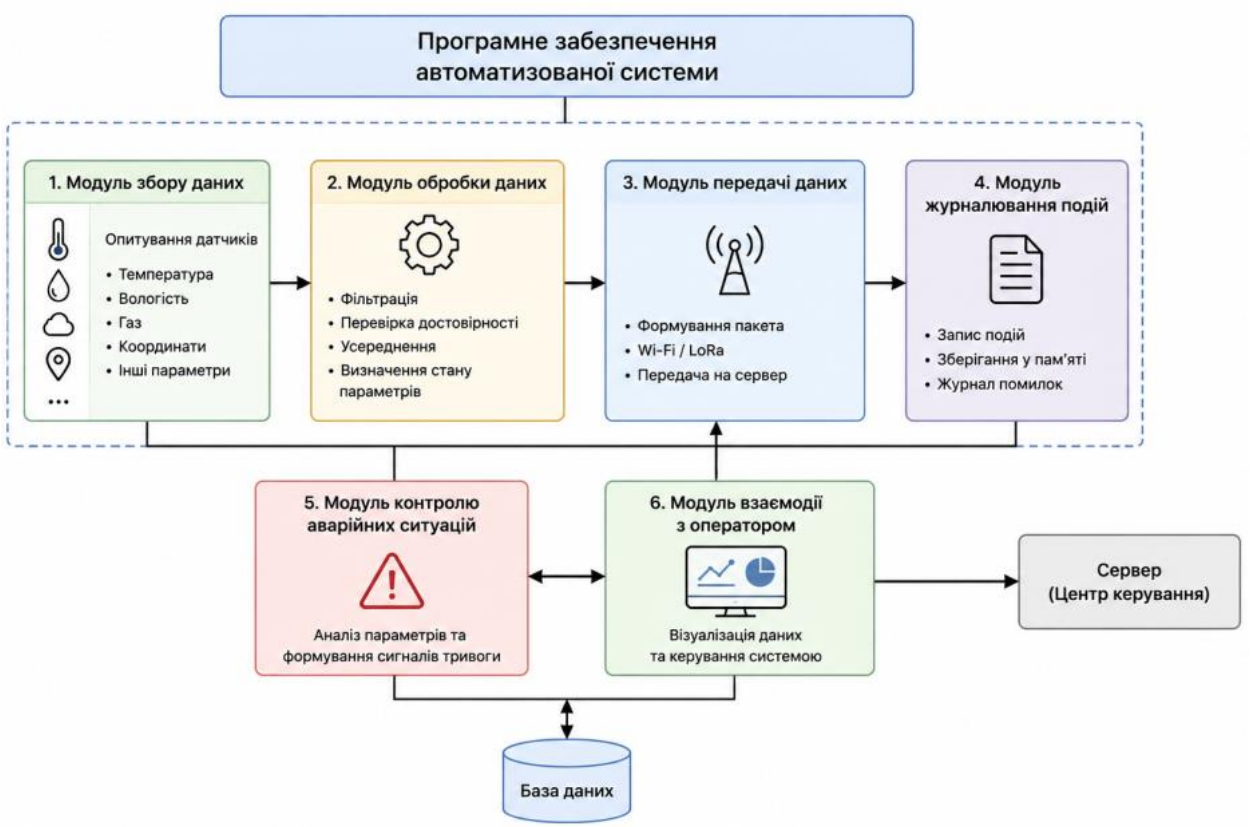


Рисунок 3.1 – Структура ПЗ автоматизованої системи

Як показано на алгоритмі роботи системи (див. рис. 2.2), після подачі живлення виконується процедура ініціалізації програмних та апаратних компонентів системи. На цьому етапі здійснюється налаштування портів введення-виведення, ініціалізація каналів зв'язку, запуск сенсорних модулів та перевірка працездатності підключеного обладнання.

Для роботи автоматизованої системи використовуються апаратні компоненти (див. табл. 2.1), кожний тип сенсорів потребує використання відповідної бібліотеки та індивідуальних процедур налаштування.

Для роботи з датчиком температури та вологості DHT22 використовується бібліотека DHT.h, яка забезпечує зручний інтерфейс доступу до даних сенсора [10, 14]. Фрагмент програмного коду ініціалізації датчика наведено у лістингу 3.1 (повний текст програмного коду наведено у

Додатку Б).

Лістинг 3.1 – Ініціалізація датчика DHT22

```
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
void setup() {
   Serial.begin(115200);
   dht.begin();
}
```

Після завершення процедури ініціалізації система переходить до циклічного режиму роботи, під час якого здійснюється безперервне опитування датчиків. Отримані значення температури, вологості, концентрації газів, координат та інших параметрів надходять до модуля попередньої обробки інформації.

Процедура зчитування даних із сенсорів реалізується у вигляді окремих програмних функцій. Фрагмент програмного коду отримання значень температури та вологості наведено у лістингу 3.2 (повний текст програмного коду наведено у Додатку Б).

Лістинг 3.2 – Зчитування даних із датчика DHT22

```
float temperature = dht.readTemperature();
float humidity = dht.readHumidity();
if (!isnan(temperature) && !isnan(humidity)) {
   Serial.print("Temperature: ");
   Serial.println(temperature);
   Serial.print("Humidity: ");
   Serial.println(humidity);
}
```

Після отримання даних виконується їх попередня обробка, яка передбачає перевірку достовірності вимірювань, усереднення результатів та усунення випадкових шумів. Необхідність використання процедур фільтрації обумовлена впливом зовнішніх факторів та електромагнітних завад, характерних для мобільних роботизованих систем [6, 22].

Наступним етапом програмної реалізації є формування інформаційного пакета для передачі даних до центру керування. Для забезпечення сумісності із серверною частиною системи телеметричні повідомлення формуються у форматі JSON, який широко використовується у сучасних інформаційно-керуючих системах [20, 23].

Фрагмент програмного коду формування телеметричного повідомлення наведено у лістингу 3.3 (повний текст програмного коду наведено у Додатку В).

Лістинг 3.3 – Формування інформаційного пакета

```
String packet = "{";
packet += "\"temperature\":";
packet += String(temperature);
packet += ",\"humidity\":";
packet += String(humidity);
packet += "}";
Serial.println(packet);
```

Передача сформованих пакетів здійснюється за допомогою бездротових модулів Wi-Fi або LoRa відповідно до структурної схеми автоматизованої системи (див. рис. 2.1). Для реалізації мережевої взаємодії використовуються вбудовані можливості мікроконтролера ESP32 та стандартні мережеві бібліотеки, які підтримують стек TCP/IP [12, 18].

З метою підвищення надійності функціонування системи ПЗ містить модуль контролю аварійних ситуацій. Його основною функцією є аналіз поточних значень контрольованих параметрів та порівняння їх із допустимими межами. У разі перевищення критичних значень система формує повідомлення тривоги та передає його оператору [8].

Наприклад, якщо концентрація газу перевищує встановлений поріг або температура навколишнього середовища виходить за допустимі межі, система автоматично переходить у режим аварійного оповіщення відповідно алгоритму (див. рис. 2.2).

Для забезпечення можливості подальшого аналізу роботи автоматизованої системи реалізовано механізм журналювання подій. У журналі зберігаються дані про результати вимірювань, помилки передачі інформації, зміни режимів роботи та аварійні повідомлення. Наявність журналу дозволяє виконувати діагностику роботи автоматизованої системи та аналізувати причини можливих відмов [20, 22].

Важливою складовою ПЗ є модуль взаємодії з оператором. Інтерфейс моніторингу параметрів автоматизованої системи (див. рис. 2.3) забезпечує відображення телеметричних даних у режимі реального часу, стану каналів зв'язку, рівня заряду акумулятора, а також журналу подій. Такий підхід дозволяє оператору оперативно оцінювати стан мобільної роботизованої платформи та приймати рішення щодо подальших дій [5, 24].

Розроблене ПЗ реалізує повний цикл функціонування автоматизованої системи збору та передачі даних МРП: від опитування датчиків до відображення інформації оператору. Використання модульної архітектури ПЗ забезпечує можливість подальшої модернізації автоматизованої системи, розширення її функціональних можливостей та адаптації до різних умов експлуатації [4, 20].

3.2 Реалізація інформаційного обміну між модулями автоматизованої системи

Одним із найважливіших етапів розроблення автоматизованої системи збору та передачі даних є організація інформаційного обміну між її функціональними модулями. Саме ефективна взаємодія окремих програмних та апаратних компонентів забезпечує своєчасне отримання, обробку, передачу та відображення інформації оператору в режимі реального часу [18, 19].

Відповідно до загальної структури автоматизованої системи (див. рис. 2.1) інформаційний обмін організований між сенсорними

модулями, центральним контролером, модулями бездротового зв'язку, серверною частиною системи та інтерфейсом оператора.

Основними вимогами до підсистеми інформаційного обміну є:

– мінімальна затримка передачі даних;

– висока надійність доставки повідомлень;

– можливість роботи в умовах нестабільного зв'язку;

– підтримка передачі аварійних повідомлень у пріоритетному режимі;

– масштабованість та можливість підключення додаткових модулів.

Обмін інформацією відбувається циклічно (див. рис. 2.2), у кожному циклі виконується опитування датчиків, формування телеметричних пакетів, передача інформації до центру керування та оновлення інтерфейсу оператора.

Першим етапом інформаційного обміну є отримання інформації від сенсорних модулів. Для взаємодії між центральним контролером ESP32 та датчиками використовуються стандартні цифрові інтерфейси: GPIO, I^2C, UART, SPI [12].

Інтерфейс I^2C використовується для обміну даними з інерціальними модулями MPU6050, що дозволяє значно зменшити кількість необхідних ліній зв'язку та забезпечує можливість підключення декількох пристроїв до однієї шини [15].

Фрагмент програмного коду ініціалізації шини I^2C наведено у лістингу 3.4 (повний текст програмного коду наведено у Додатку В).

Лістинг 3.4 – Ініціалізація інтерфейсу I^2C

```
#include <Wire.h>
void setup() {
   Wire.begin();
}
```

Після завершення процедури ініціалізації центральний контролер переходить до циклічного опитування датчиків відповідно до алгоритму роботи системи. Отримані дані тимчасово зберігаються у буфері оперативної

пам'яті, де виконуються процедури перевірки та обробки інформації.

Для забезпечення цілісності інформації використовується буферизація даних, що дозволяє уникнути втрати повідомлень у випадку короткочасного порушення зв'язку або перевантаження каналу передачі [22]. Буфер формується у вигляді структури даних, що містить значення сенсорів, часову мітку та службову інформацію.

Структура телеметричного повідомлення наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Структура телеметричного пакета

Поле пакета	Опис
ID пристрою	унікальний ідентифікатор платформи
Timestamp	час формування повідомлення
Temperature	значення температури
Humidity	значення вологості
Gas	концентрація газу
Coordinates	поточні координати платформи
Battery	рівень заряду акумулятора
CRC	контрольна сума

Після завершення формування пакета даних виконується його передача до центру керування. Для передачі телеметричної інформації використовується бездротовий зв'язок Wi-Fi або LoRa залежно від умов експлуатації системи [12, 17].

Для мережевого обміну використовується протокол TCP/IP, який забезпечує гарантовану доставку інформації та контроль помилок передачі [18, 19]. Передача інформації здійснюється у форматі JSON, що забезпечує просту інтеграцію із серверними застосунками та системами моніторингу.

Фрагмент програмного коду формування JSON-повідомлення наведено у лістингу 3.5 (повний текст програмного коду наведено у Додатку В).

Лістинг 3.5 – Формування JSON-повідомлення

```
String json = "{";
json += "\"temp\":";
json += String(temperature);
json += ",\"hum\":";
json += String(humidity);
json += ",\"gas\":";
json += String(gasValue);
json += "}";
client.println(json);
```

Для встановлення з'єднання з бездротовою мережею використовується вбудований Wi-Fi-модуль контролера ESP32. Підключення до точки доступу виконується під час запуску системи, а у випадку втрати зв'язку програмне забезпечення автоматично виконує повторну спробу підключення [12].

Фрагмент програмного коду підключення до мережі Wi-Fi. Наведено у лістингу 3.6 (повний текст програмного коду наведено у Додатку В).

Лістинг 3.6 – Підключення до бездротової мережі

```
#include <WiFi.h>
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
   delay(1000);
}
```

Особливу увагу під час реалізації інформаційного обміну приділено передачі аварійних повідомлень. У випадку виявлення критичних значень параметрів система формує окремий пакет із високим пріоритетом, який негайно передається оператору відповідно до алгоритму. Такий підхід дозволяє скоротити час реагування персоналу на виникнення небезпечних ситуацій [8, 25].

Після надходження інформації до серверної частини системи виконується її аналіз, архівування та передача до інтерфейсу моніторингу. Сервер забезпечує централізоване збереження телеметричної інформації та ведення журналу подій [20, 24].

Для забезпечення безпечного функціонування системи передбачено контроль достовірності переданих повідомлень. З цією метою до кожного інформаційного пакета додається контрольна сума CRC, яка дозволяє виявляти пошкоджені повідомлення та ініціювати їх повторну передачу [18].

Крім того, у програмному забезпеченні реалізовано механізм журналювання інформаційного обміну. До журналу записуються:

– час передачі повідомлення;

– тип повідомлення;

– стан каналу зв'язку;

– результат передачі;

– інформація про помилки та повторні спроби надсилання.

Ведення журналу дозволяє здійснювати діагностику роботи системи, аналізувати причини можливих відмов та оцінювати якість функціонування каналів зв'язку [22, 23].

Реалізована підсистема інформаційного обміну забезпечує надійну взаємодію між усіма компонентами автоматизованої системи МРП. Використання сучасних протоколів передачі даних, механізмів контролю помилок та автоматичного відновлення зв'язку дозволяє забезпечити стабільне функціонування системи під час виконання ЕР у складних умовах експлуатації [18, 19].

3.3 Тестування автоматизованої системи

Після завершення розроблення ПЗ автоматизованої системи збору та передачі даних МРП було проведено комплексне тестування її функціональних можливостей. Основною метою тестування є перевірка працездатності програмно-апаратного комплексу, оцінка коректності роботи окремих модулів, визначення швидкодії системи та перевірка надійності передачі інформації в умовах, максимально наближених до реальних умов експлуатації МРП [20, 22].

Відповідно до рекомендацій, наведених у роботах [20, 23], тестування вбудованих систем повинно виконуватися на всіх етапах розроблення ПЗ. Зокрема, було проведено модульне, інтеграційне та функціональне тестування програмно-апаратного комплексу.

Загальну схему проведення тестування автоматизованої системи наведено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема тестування автоматизованої системи

На першому етапі виконувалося модульне тестування окремих компонентів системи. Під час тестування перевірялася коректність роботи датчиків, модулів зв'язку, програмних функцій збору інформації та інтерфейсу моніторингу. Особливу увагу було приділено перевірці працездатності обладнання.

Для оцінювання працездатності сенсорної підсистеми виконувалося тестування датчиків температури, вологості, концентрації газу та навігаційного модуля. У процесі випробувань здійснювалося порівняння

показань датчиків із еталонними значеннями вимірювального обладнання.

Результати тестування сенсорної підсистеми наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати тестування сенсорної підсистеми

Сенсор	Контрольований параметр	Середня похибка	Результат тестування
DHT22	температура	±0,4 °C	успішно
DHT22	вологість	±1,8 %	успішно
MQ-2	концентрація газу	±4,5 %	успішно
MPU6050	кут нахилу	±1,2°	успішно
NEO-6M	координати	±2,8 м	успішно

Аналіз результатів, наведених у табл. 3.2, свідчить про те, що всі використані сенсори забезпечують точність вимірювання, достатню для виконання завдань моніторингу під час проведення евакуаційних робіт.

Наступним етапом тестування було дослідження функціонування бездротових каналів передачі даних. Основними показниками ефективності інформаційного обміну є час передачі повідомлень, кількість втрачених пакетів та відсоток успішно доставлених повідомлень [18, 19].

Для оцінювання якості передачі інформації було виконано серію експериментів, під час яких система здійснювала передачу 1000 телеметричних повідомлень між МРП та сервером керування.

Коефіцієнт успішної передачі повідомлень ($K_{усп}$) визначався за формулою:

$$K_{усп} = \frac{N_{отр}}{N_{заг}} \cdot 100\%, \tag{3.1}$$

де $N_{отр}$ – кількість успішно отриманих повідомлень;

$N_{заг}$ – загальна кількість переданих повідомлень.

Під час проведення функціонального тестування було сформовано 1000 повідомлень, із яких 987 завершилися успішно. Тоді коефіцієнт успішного проходження повідомлень становить:

$$K_{усп} = \frac{987}{1000} \cdot 100\% = 98{,}7\% .$$

Отримане значення $K_{усп}$ свідчить про високий рівень надійності передачі інформації між модулями автоматизованої системи.

Результати тестування каналів зв'язку наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати тестування підсистеми передачі даних

Параметр	Значення
Кількість переданих пакетів	1000
Кількість успішно доставлених пакетів	987
Кількість втрачених пакетів	13
Коефіцієнт успішної передачі	98,7 %
Середній час передачі повідомлення	0,38 с

Важливим критерієм ефективності функціонування автоматизованої системи є час реакції на аварійну ситуацію. Для перевірки цієї характеристики виконувалося моделювання аварійного підвищення концентрації газу та перевищення допустимого температурного режиму.

Під час тестування фіксувався інтервал часу між моментом реєстрації критичного параметра датчиком та відображенням аварійного повідомлення в інтерфейсі оператора.

Час реакції автоматизованої системи (t_p) визначався за формулою [20]:

$$t_р = t_{пов} - t_{вим}, \quad (3.2)$$

де $t_{пов}$ – час відображення повідомлення оператору, 1 с;

$t_{вим}$ – час отримання критичного значення датчиком, 0,48 с.

За результатами експериментальних досліджень середній час реакції системи склав:

$$t_р = 1 - 0{,}48 = 0{,}52 \text{ с},$$

Отриманий результат ($t_р$) підтверджує можливість використання розробленої системи в умовах реального часу.

Крім функціонального тестування, було проведено випробування системи на стійкість до втрати зв'язку. У процесі тестування штучно створювалися умови переривання каналу передачі даних. Після відновлення зв'язку система автоматично повторно встановлювала мережеве з'єднання та передавала накопичені повідомлення, що підтвердило коректність роботи створеного алгоритму (див. рис. 2.2).

Результати тестування механізму відновлення зв'язку наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати тестування механізму автоматичного відновлення зв'язку

№ експерименту	Тривалість втрати зв'язку, с	Час відновлення, с	Результат
1	10	2,4	успішно
2	20	2,8	успішно
3	30	3,1	успішно
4	60	3,7	успішно

Отже, результати тестування свідчать, що автоматизована система забезпечує стабільне функціонування навіть за умов короткочасного порушення зв'язку, що є особливо важливим під час виконання евакуаційних робіт у складних умовах експлуатації [8, 25].

Проведене тестування підтвердило працездатність розробленої автоматизованої системи, коректність функціонування ПЗ та високу надійність інформаційного обміну між її модулями. Отримані результати свідчать про можливість практичного використання розробленої системи у складі МРП для проведення рятувальних та ЕР [8, 20].

3.4 Аналіз результатів роботи автоматизованої системи

Після завершення тестування автоматизованої системи збору та передачі даних було виконано аналіз отриманих результатів з метою оцінювання ефективності функціонування розробленої системи, визначення її основних характеристик та перевірки відповідності поставленим вимогам. Аналіз результатів є завершальним етапом дослідження, який дозволяє оцінити якість програмної реалізації, ефективність інформаційного обміну та можливість практичного використання системи у складі мобільної роботизованої платформи [20, 23].

Основними критеріями оцінювання ефективності роботи системи були:

– надійність передачі даних;

– швидкодія системи;

– точність отримуваних даних;

– час реакції на аварійні ситуації;

– стійкість до втрати зв'язку;

– стабільність функціонування ПЗ.

Результати проведених досліджень показали, що розроблена автоматизована система забезпечує стабільний збір та передачу телеметричних даних навіть в умовах часткового погіршення якості каналу

зв'язку. Узагальнені результати експериментальних досліджень наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Основні характеристики розробленої автоматизованої системи

Параметр	Значення
Коефіцієнт успішної передачі даних	98,7 %
Середній час передачі повідомлення	0,38 с
Середній час реакції на аварію	0,52 с
Середня похибка температурного датчика	±0,4 °C
Середня похибка вимірювання вологості	±1,8 %
Час автоматичного відновлення зв'язку	2,4 – 3,7 с
Тривалість безперервної роботи	понад 6 год

Аналіз результатів, наведених у табл. 3.5, свідчить про відповідність розробленої автоматизованої системи вимогам, сформульованим у розділі 2. Зокрема, коефіцієнт успішної передачі даних на рівні 98,7 % забезпечує достатню надійність інформаційного обміну для систем оперативного моніторингу [18, 19].

Одним із найважливіших показників ефективності роботи системи є коефіцієнт втрати повідомлень ($K_{втр}$). Він визначається за формулою [18]:

$$K_{втр} = \frac{N_{втр}}{N_{заг}} \cdot 100\%, \tag{3.3}$$

де $N_{втр}$ – кількість втрачених повідомлень;

$N_{заг}$ – загальна кількість повідомлень.

Під час тестування було втрачено 13 повідомлень із 1000 переданих. Тоді коефіцієнт втрати повідомлень становіть:

$$K_{втр} = \frac{13}{1000} \cdot 100\% = 1{,}3\% .$$

Отримане значення $K_{втр}$ є допустимим для МРП, що функціонують в умовах нестабільного радіозв'язку [8].

Для оцінювання стабільності роботи автоматизованої системи проводилося безперервне тестування протягом шести годин. Під час випробувань контролювалися:

– працездатність сенсорів;

– стабільність мережевого з'єднання;

– коректність відображення інформації;

– функціонування механізмів журналювання;

– робота аварійного оповіщення.

У процесі тестування не було виявлено критичних програмних помилок або аварійного завершення роботи системи. Усі функціональні модулі, структура яких наведена на рис. 3.1, працювали стабільно протягом усього експерименту.

Додатково було виконано аналіз ефективності автоматичного відновлення мережевого з'єднання після його втрати. Результати експериментів показали, що середній час повторного встановлення зв'язку не перевищує 3,7 с, що підтверджує ефективність реалізованих алгоритмів інформаційного обміну, описаних у підрозділі 3.2 [12, 18].

Аналіз функціонування інтерфейсу моніторингу (див. рис. 2.3) показав, що оператор має можливість оперативно отримувати інформацію про стан мобільної роботизованої платформи, контролювати значення параметрів навколишнього середовища та своєчасно реагувати на аварійні ситуації. Використання графічного інтерфейсу значно спрощує процес керування системою та підвищує ефективність роботи персоналу [5, 20].

Порівняльний аналіз основних характеристик розробленої системи та вимог до неї наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Порівняння вимог технічного завдання та отриманих характеристик автоматизованої системи

Вимога	Необхідне значення	Отримане значення	Результат
Час передачі даних	не більше 1 с	0,38 с	виконано
Час реакції на аварію	не більше 1 с	0,52 с	виконано
Надійність передачі	не менше 95 %	98,7 %	виконано
Автоматичне відновлення зв'язку	до 5 с	3,7 с	виконано
Безперервна робота	не менше 4 год	понад 6 год	виконано

Результати, наведені у табл. 3.6, підтверджують, що всі основні технічні вимоги до автоматизованої системи були виконані.

Під час проведення випробувань також було встановлено, що застосування бездротових технологій Wi-Fi та LoRa забезпечує достатню дальність і стабільність передачі інформації в умовах проведення ЕР [17, 19]. При цьому використання технології LoRa дозволяє значно збільшити радіус дії системи за рахунок зниження швидкості передачі даних.

Проведений аналіз результатів роботи автоматизованої системи підтвердив ефективність запропонованих технічних та програмних рішень. Розроблена автоматизована система забезпечує надійний збір, обробку та передачу інформації, характеризується високою стабільністю

функціонування та може бути рекомендована для використання у складі МРП, призначених для виконання рятувальних та ЕР [8, 20, 24].

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі роботи виконано програмну реалізацію автоматизованої системи збору та передачі даних МРП, призначеної для використання під час проведення ЕР. Розроблене ПЗ забезпечує повний цикл функціонування системи: від отримання інформації з датчиків до її передачі оператору та відображення результатів моніторингу в режимі реального часу.

Реалізовано ПЗ автоматизованої системи на базі мікроконтролера ESP32 із використанням середовища розроблення Arduino IDE. Програмна архітектура побудована за модульним принципом, що дозволило розділити основні функції системи на незалежні програмні компоненти: модуль збору даних, модуль обробки інформації, модуль передачі даних, модуль журналювання подій та модуль взаємодії з оператором. Застосування модульного підходу забезпечує гнучкість ПЗ, спрощує процес його супроводу та створює можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи.

Здійснено інформаційний обмін між окремими модулями автоматизованої системи. Організовано взаємодію між сенсорними пристроями, мікроконтролером, модулями бездротового зв'язку та серверною частиною системи. Для передачі інформації використано сучасні мережеві технології та формат JSON, що забезпечує сумісність із різними програмними платформами та спрощує інтеграцію із зовнішніми інформаційними системами. Реалізовані механізми буферизації даних, контролю цілісності повідомлень та автоматичного відновлення зв'язку дозволили підвищити надійність функціонування системи в умовах нестабільного каналу передачі даних.

Проведено комплексне тестування програмно-апаратного комплексу, яке включало перевірку працездатності сенсорної підсистеми, оцінювання якості передачі інформації, визначення часу реакції на аварійні ситуації та дослідження стійкості системи до втрати зв'язку. Результати тестування показали, що коефіцієнт успішної передачі даних становить 98,7 %, а середній час передачі повідомлень не перевищує 0,38 с. Середній час реагування системи на аварійну ситуацію склав 0,52 с, що підтверджує можливість її використання в системах реального часу.

Виконано аналіз результатів роботи автоматизованої системи та проведено оцінювання основних експлуатаційних характеристик. Встановлено, що розроблена система забезпечує стабільний збір, обробку та передачу телеметричної інформації, характеризується високою надійністю функціонування та здатністю працювати в умовах короткочасних порушень зв'язку.

Отримані результати підтвердили відповідність розробленої автоматизованої системи технічним вимогам, сформульованим у попередніх розділах роботи.

4 ЗАХОДИ І РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

У приміщенні навчальної лабораторії, де проводилися дослідження в рамках кваліфікаційної роботи, на робочому місці оператора ПК виникають такі небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, статична електрика тощо. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, вивчення умов праці на робочому місці оператора ПК є необхідною умовою запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих факторів.

Організація робочого місця. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце оператора ПК, загальною площею 48 м^2, і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні знаходиться 6 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочім столом, стільцем та ПК, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

4.2 Промислова безпека на робочому місці

Живлення ПК здійснюється від трифазної чьотирьох електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц. Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні чинники,

які викликають підвищену або особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом в приміщенні застосовується система занулення [29].

4.3 Виробнича санітарія у приміщенні навчальної лабораторії

Робота оператора ПК за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт. В таблиці 4.1 наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях, де виконуються роботи операторського типу [29].

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22 – 24 °С; 40 – 60 %; до 0,1 м/с
Теплий	температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23 – 25 °С; 40 – 60 %; 0,1 – 0,2 м/с

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у лабораторії відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року. Слід зазначити, що для нормалізації параметрів мікроклімату слід використовувати у приміщеннях кондиціювання повітря, або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції.

Лабораторія, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

– площа приміщення 48 м^2 (8×6 м);

– висота – 3,5 м;

– кількість робочих місць – 6 шт.;

– обладнання – стіл з ПК і периферією – 6 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м^2 площі та 20 м^3 обсягу на одне окреме робоче місце з ПК [29]. Площа приміщення навчальної лабораторії становить 48 м^2 та об'єм 168 м^3, на кожне робоче місце приходится 8 м^2 площі і об'єм 28 м^3, тобто вимога виконана.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 % [29].

Рівень загального штучного освітлення приміщення навчальної лабораторії можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [29].

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \tag{4.1}$$

де W – питома потужність, Вт/м^2;

S – площа приміщення, м^2;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{св} \cdot n_{св}, \tag{4.2}$$

де $W_{св}$ – потужність одного світильника, Вт;

$n_{св}$ – кількість світильників в приміщенні.

$$W_{\sum} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

$$W = \frac{400}{48} = 8{,}33 \text{ Вт/м}^2. \quad (4.4)$$

Питомої потужності 8,33 Вт/м^2 по таблиці Б.3 із [29] відповідає освітленість в 250 лк при мінімальній допустимої освітленості 300 лк.

Отже, для створення сприятливих зорових умов в лабораторії необхідно збільшити кількість світильників або замінити лампи в світильниках на більш потужні.

4.4 Пожежна безпека приміщення навчальної лабораторії

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якім виключається можливість пожежі, а у випадку його виникнення запобігає вплив на людей небезпечних факторів пожежі й забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі й системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у випадку виникнення вогнища загоряння, що й указує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у виробничому приміщенні є перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів тощо.

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження його поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Джерелами запалювання у виробничому приміщені можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрою електроживлення, кондиціювання повітря, де в

результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри й дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості друг від друга розташовуються сполучні проведення, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції й кондиціювання повітря. При постійній дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Енергопостачання приміщення навчальної лабораторії здійснюється за допомогою трансформаторної станції та за допомогою двигун-генераторних агрегатів. На трансформаторних підстанціях особливу небезпеку представляють трансформатори які мають масляне охолодження. У зв'язку із цим перевагу слід віддавати сухим трансформаторам.

4.5 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі роботи розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці в приміщенні навчальної лабораторії під час виконання робіт, пов'язаних із розробленням та дослідженням автоматизованої системи збору та передачі даних МРП. Проведено аналіз умов праці на робочому місці оператора ПК, визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працівника. До таких факторів віднесено підвищений рівень шуму, електромагнітне випромінювання, недостатню освітленість, несприятливі параметри мікроклімату та небезпеку ураження електричним струмом.

Встановлено, що досліджуване приміщення навчальної лабораторії належить до категорії приміщень без підвищеної небезпеки. Для запобігання ураженню електричним струмом передбачено використання системи занулення та реалізацію комплексу організаційно-технічних заходів,

спрямованих на підвищення рівня електробезпеки.

Виконано оцінювання параметрів мікроклімату, площі та об'єму приміщення, а також проведено перевірку відповідності умов праці чинним нормативним вимогам. Встановлено, що площа та об'єм приміщення навчальної лабораторії на одне робоче місце відповідають нормативним значенням, а параметри мікроклімату знаходяться в допустимих межах. Разом із тим результати розрахунку освітленості показали необхідність підвищення рівня штучного освітлення шляхом збільшення кількості світильників або використання більш потужних джерел світла.

Визначено основні джерела виникнення пожежі у приміщенні навчальної лабораторії та розглянуто заходи щодо запобігання пожежонебезпечним ситуаціям. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять електронне обладнання, кабельні мережі, системи електроживлення та вентиляції. Для забезпечення пожежної безпеки запропоновано використання комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання виникненню та поширенню пожежі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз сучасних МРП, що використовуються під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та виконання ЕР. Розглянуто особливості застосування сенсорних систем, засобів бездротового зв'язку та інформаційно-керуючих технологій у складі МРП.

Виконано аналіз існуючих технічних рішень у сфері автоматизованого збору та передачі даних, досліджено основні типи МРП, визначено їх функціональні можливості та сформульовано вимоги до систем автоматизації, призначених для роботи в умовах надзвичайних ситуацій.

Розроблено структуру автоматизованої системи збору та передачі даних, визначено склад її функціональних модулів та виконано вибір апаратного забезпечення. Обґрунтовано використання мікроконтролера ESP32, сенсорних модулів DHT22, MQ-2, MPU6050, GPS-модуля NEO-6M та бездротових засобів зв'язку Wi-Fi і LoRa. Розроблено алгоритм функціонування системи та інтерфейс моніторингу параметрів МРП.

Виконано програмну реалізацію автоматизованої системи, реалізовано механізми інформаційного обміну між її модулями та проведено тестування програмно-апаратного комплексу. Результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність системи, високий рівень надійності передачі даних та можливість її функціонування в режимі реального часу. Встановлено, що коефіцієнт успішної передачі повідомлень становить 98,7 %, а середній час реакції на аварійну подію не перевищує 0,52 с.

Також у роботі розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці оператора ПК у приміщенні навчальної лабораторії, де проводилися дослідження в рамках кваліфікаційної роботи. Проведено аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час роботи оператора ПК, зокрема вплив електричного струму, підвищений

рівень шуму, недостатнє освітлення, можливість виникнення пожежонебезпечних ситуацій та вплив електромагнітних полів. На підставі проведеного аналізу запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки персоналу, що працює у приміщенні навчальної лабораторії.

Результати виконаної роботи підтвердили ефективність запропонованих технічних та програмних рішень. Розроблена автоматизована система забезпечує надійний збір, обробку та передачу інформації від сенсорних модулів, характеризується високою стабільністю функціонування та може бути використана у складі МРП для виконання рятувальних та ЕР.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої автоматизованої системи під час створення сучасних наземних роботизованих комплексів спеціального призначення, призначених для моніторингу небезпечних територій, пошуку постраждалих та підтримки діяльності аварійно-рятувальних служб.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. Київ. Держстандарт України, 2017. 29 с.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.

3. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В.А. Андрусевич, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2022. 151 с.

4. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. Cham: Springer, 2016. 2223 p.

5. Corke P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. 2nd ed. Cham: Springer, 2017. 693 p.

6. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. 7th ed. Harlow: Pearson Education, 2021. 712 p.

7. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4th ed. Harlow : Pearson, 2018. 408 p.

8. Murphy R. R. Disaster Robotics. Cambridge: MIT Press, 2014. 344 p.

9. Siegwart R., Nourbakhsh I., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2011. 472 p.