

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь магістр

на тему:

МЕТОДИ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНІ ЗАСОБИ МОБІЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО МОНІТОРИНГУ

Виконав: студент II курсу, КІ-18М групи

Спеціальність: 123

Комп'ютерна інженерія

Мельник Олексій Сергійович

Керівник: к.т.н., доц. Крупельницький Л.В.

Рецензент: к.т.н., доц. Дудатьєв А.В.

Вінниця – 2020

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

Освітній рівень магістр

Спеціальність 123Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри обчислювальної техніки

_____ Мартинюк Т.Б.

«_____» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Мельника Олексія Сергійовича _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Методи та мікропроцесорні засоби мобільного пожежного моніторингу»

керівник роботи Крупельницький Л.В., к.т.н, доц. затверджена наказом Вінницького національного технічного університету від 06.03.2020 року № 76.

2. Строк подання студентом роботи 12 травня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Методи отримання та використання інформації щодо моделі фізико-хімічних процесів горіння в умовах великої кількості змінюваної інформації та її недостатності. Мікропроцесорні засоби керування моніторинговою системою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розробка структури багаторівневої керуючої підсистеми пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що дозволяє реалізувати тактику ведення моніторингу і включає експертну систему стратегічного рівня, що підтримує прийняття рішень оператора;

2. Розробка підсистеми управління тактичного рівня пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що забезпечує автономне переміщення мобільного пожежного моніторингового робота в умовах сильного задимлення;

3. Розробка програмно-апаратного комплексу системи управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи і проведення його експериментального дослідження методом натурного моделювання.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1. Завдання дослідження і вимоги до підсистеми управління мобільною пожежною мікропроцесорною системою	Богомолів С.В.	Лютий 2020	березень 2020
Розділ 4. Експериментальне дослідження розробленої системи управління мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою	Богомолів С.В.	Лютий 2020	березень 2020
Розділ 5. Економічна частина	Глуценко Л.Д.	Лютий 2020	травень 2020

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Опрацювання літератури з теми дослідження</i>	<i>Лютий 2020</i>	
2	<i>Складання плану дипломної роботи</i>	<i>Лютий 2020</i>	
3	<i>Написання першого та другого розділів дипломної роботи</i>	<i>Лютий 2020</i>	
4	<i>Проведення експериментальної роботи</i>	<i>Березень 2020</i>	
5	<i>Написання третього, четвертого та п'ятого розділів дипломної роботи</i>	<i>Квітень 2020</i>	

Магістрант _____ Мельник О.С.Керівник роботи _____ Крупельницький Л.В.Рецензент _____ Дудатьєв А.В.

Реферат

Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена процес ведення моніторингу пожежі з використанням пожежної розвідувальної робототехнічної системи.

У дослідженні вирішена актуальна науково-технічна задача з управління мобільною пожежною розвідувальною робототехнічною системою в умовах закритих пожеж, що характеризуються високою щільністю задимлення і складним плануванням приміщень та об'єктів.

У дипломній роботі розроблено: метод моніторингу і структури багаторівневої керуючої підсистеми пожежної розвідувальної робототехнічної системи, що дозволить реалізувати тактику ведення розвідки і включає експертну систему стратегічного рівня, що підтримує прийняття рішень оператора; підсистему управління тактичного рівня пожежної розвідувальної робототехнічної системи, що забезпечує автономне переміщення мобільного пожежного розвідувального робота в умовах сильного задимлення; програмно-апаратний комплекс системи управління пожежної розвідувальної робототехнічної системи і проведення його експериментального дослідження методом натурного моделювання.

Abstract

This master's qualification work is devoted to the process of fire monitoring using a fire reconnaissance robotic system.

The study solves the current scientific and technical problem of managing a mobile fire reconnaissance robotic system in closed fires, characterized by high smoke density and complex layout of premises and facilities.

In diploma work was developed: the method of monitoring and structure of the multilevel control subsystem of the fire reconnaissance robotics system, which will implement the tactics of reconnaissance and includes an expert system of strategic level that supports operator decision-making; the tactical level control subsystem of the fire reconnaissance robotic system, which provides autonomous movement of the mobile fire reconnaissance robot in conditions of heavy smoke; software and hardware complex of the control system of the fire reconnaissance robotic system and its experimental research by the method of field modeling.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИМОГИ ДО ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮ МІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ	13
1.1 Пожежа в приміщенні та стадії її дії	13
1.2 Завдання моніторингу закритих пожеж та актуальність застосування мобільних пожежних моніторингових мікропроцесорних систем	15
1.3 Обробка інформації про небезпечні фактори пожежі мікропроцесорними системами	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОНІТОРИНГУ ЗАКРИТОЇ ПОЖЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ МОНІТОРИНГОВОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	30
2.1 Визначення класу пожежі з використанням теорії нечітких множин	30
2.2 Ідентифікація характеристик пожежі із застосуванням моніторингової мікропроцесорної системи	36
2.3 Моніторинг закритої пожежі із застосуванням мобільної пожежної моніторингової мікропроцесорної системи	46
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮ МОНІТОРИНГОВОЮ МІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ	60
3.1 Узагальнена багаторівнева структура підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою	60
3.2 Стратегічний рівень підсистеми управління мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою	62
3.3 Розробка тактичного рівня підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою при пошуку осередку пожежі	70
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮ МОНІТОРИНГОВОЮ МІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ	89

4.1 Програмно-апаратне забезпечення виконавчого рівня системи пожежної моніторингу	89
4.2 Дослідження роботи макетного зразка методом натурного моделювання	93
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	95
5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	95
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.	98
5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.	104
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності	105
5.5 Висновок	109
ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112
ДОДАТКИ	117
Додаток А	117
Додаток В	118
Додаток Д	122
Додаток Е	126
Додаток З	128
Додаток И	129
Додаток І	130

ВСТУП

Актуальність теми визначається необхідністю оперативного і адекватного прийняття рішення оператором на підставі отриманої за допомогою пожежної моніторингової мікропроцесорної системи інформації про пожежу, знижує рівень небезпеки для життя оператора і особового складу підрозділів моніторингу.

Проблема отримання та використання інформації з навколишнього середовища в умовах пожежі є ключовою через складність аналітичного опису фізико-хімічних процесів горіння і процесу тепломасообміну. Вивченню цих процесів присвячені роботи О.Д. Азарова, С.В. Богомолова, С.В. Пузача, Ю.Д. Моторигіна, А. Ковларда, Д. Драйздейла, В. Яхна, Г. Коха та інших [1;2; 4; 11]. У розробку систем підтримки прийняття рішень керівником гасіння пожежі, в тому числі при використанні мікропроцесорних засобів, внесений вагомий внесок Л.В. Крупельницьким, В.В. Путренко [9; 12; 15].

Ефективним засобом розв'язання зазначеної проблеми є використання методів штучного інтелекту, які знайшли широке застосування при вирішенні задач екстремальної мікропроцесорної техніки в розробках Ю.С. Володіна, Б.Б. Михайлова, С.В. Манько, Є.І. Юрєвича, В.Г. Градецького, В.Є. Павловського, Ю.В. Подураєва, І.А. Каляєва, А.С. Ющенко, С.Л. Зенкевича [5; 6; 16].

Тим не менш, у даний час відсутня методика синтезу підсистеми управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, яка б включала в себе питання обробки інформації про умови пожежі і питання управління з урахуванням особливостей навколишнього середовища.

Технічний прогрес призводить не тільки до підвищення рівня автоматизації праці, а й до зростання ризиків виникнення техногенних аварій і катастроф, в тому числі, пожеж у замкнених просторах. Є прямий зв'язок між збільшенням кількості таких пожеж, розмірами наслідків від них і рівнем технічних досягнень. Ускладнюються умови виникнення і протікання пожежі, а одночасно з цим і проблема прийняття рішення при пожежі [8; 17-19].

Особлива складність прийняття ефективних управлінських рішень на пожежі пов'язана з тим, що пожежа, як інформаційний процес, далеко ще не вивчений, надзвичайно складний, одночасно супроводжується великою кількістю змінюваної інформації та її недостатністю [2]. У зв'язку з цим особливу роль для достовірного, повного і своєчасного отримання даних, необхідних для прийняття рішень, набуває моніторинг пожежі - один з найважливіших видів бойової діяльності, основною метою якої є визначення місця, розміру пожежі і виду палаючих речовин [9].

Отримана у процесі моніторингу інформація здебільшого носить суб'єктивний, якісний, нечіткий і суперечливий характер. Тому процес прийняття рішень на пожежі можна визначити як слабоструктуроване управлінське завдання, в якій параметри рішення, в основному, представляються в якісному, а не в кількісному вигляді.

В даному дослідженні ми будемо розглядати моніторингову мікропроцесорну систему в якості багаторівневої системи управління мобільним пожежним роботом-розвідником. Застосування подібних пожежних моніторингових систем істотно знижує ризик для особового складу при виконанні моніторингових операцій на пожежі.

До складу пожежної моніторингової мікропроцесорної системи може входити також і група мобільних роботів, що виконують різні функції. Фахівці з пожежної безпеки потенційно небезпечних об'єктів в даний час безумовний пріоритет віддають системі, до складу якої входить як робот пожежогасіння, що транспортується, так і мобільний пожежний моніторинговий робот [3].

Вирішення цих завдань передбачає вивчення окремих аспектів даної проблеми, таких як:

- тактика пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в умовах моніторингу і гасіння пожеж;
- визначення необхідного набору технічних і апаратних засобів (сенсорів, реєстраторів, засобів орієнтування в просторі і т.д.), здатних зібрати необхідну інформацію в умовах впливу небезпечних факторів пожежі з тим, щоб

достовірно її надати оператору пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, керівнику гасіння пожежі [11].

Об'єктом дослідження є процес ведення моніторингу пожежі з використанням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.

Предметом дослідження є методи та мікропроцесорні засоби управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою.

Метою дослідження є отримання науково-обґрунтованих рішень по структурі та засобами управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що здійснює моніторинг локальних вогнищ загоряння в умовах закритого пожежі на основі аналізу його основних факторів, включаючи розподілу температурних полів, концентрацій газів O_2 , CO_2 , CO і парів H_2O в моніторингових приміщеннях.

У розроблених на сьогодні пожежних моніторингових мікропроцесорних систем поставлені завдання частково вирішені. Однак, основним недоліком цих систем є безпосереднє управління оператором усіма рухами робота за допомогою джойстиків або рукояток на основі одержуваного ним телевізійного зображення про навколишнє середовище. Такий спосіб управління стає малоефективним в умовах сильного задимлення і дефіциту часу при виконанні бойового завдання моніторингу. Рішення проблеми може бути знайдено на шляху автономізації мобільного робота, який самостійно виконує ряд функцій при збереженні загального контролю з боку оператора. Тому в даній роботі розглянуті **наступні завдання:**

1) розробка методу моніторингу і структури багаторівневої керуючої підсистеми пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що дозволить реалізувати тактику ведення моніторингу і включає експертну систему стратегічного рівня, що підтримує прийняття рішень оператора;

2) розробка підсистеми управління тактичного рівня пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що забезпечує автономне переміщення мобільного пожежного моніторингового робота в умовах сильного задимлення;

3) розробка програмно-апаратного комплексу системи управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи і проведення його експериментального дослідження методом натурального моделювання.

Методи дослідження базуються на принципах і методах системного аналізу, об'єктно-орієнтованого аналізу, теорії математичного моделювання, теорії автоматичного управління, теорії наведення, застосуванні апарату нечітких множин, нечіткої логіки і експертних систем. Перевірка працездатності проектованої системи управління здійснювалася шляхом проведення експериментального дослідження на макетному зразку робота в лабораторних умовах. При написанні програмного забезпечення використовувалося середовище розробки Arduino IDE.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1) запропонована структура ієрархічної підсистеми управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, кожен рівень якої вирішує власні підзадачі моніторингу пожежі;

2) математично показана і експериментально підтверджена можливість застосування методу пропорційного наведення в температурному полі для автономного управління мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою при пошуку вогнища загоряння в групі суміжних приміщень;

3) розроблено метод параметричного налаштування функцій належності вхідних змінних контролера тактичного рівня підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою.

Теоретична значимість роботи полягає в розвитку методів управління мобільними роботами, призначеними для ведення технічної моніторингу пожежі.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1) розроблена методика ведення моніторингу закритої пожежі з використанням пожежної мікропроцесорної системи, що дозволяє встановити клас пожежі;

2) визначено склад бортового вимірювального обладнання пожежної моніторингової мікропроцесорної системи для оцінки характеристик пожежі, що включає сенсори концентрацій газів O_2 , CO , CO_2 і парів H_2O ;

3) розроблені алгоритми автономного управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою при пошуку вогнища загоряння на основі методу пропорційного наведення, а також алгоритм налаштування параметрів нечіткого регулятора;

4) розроблено прикладне програмне забезпечення для підсистеми обробки інформації та управління пожежною мікропроцесорною системою.

Достовірність отриманих в роботі результатів забезпечується обґрунтованістю використання теоретичних положень і методів коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, узгодженістю теоретичних висновків з даними обчислювальних і натурних експериментів.

Апробація роботи. Основні положення і результати дослідження доповідалися та обговорювалися на XIII Всеукр. наук. конф. студентів та молодих науковців НАУКА. ОСВІТА. МОЛОДЬ (Умань. 22 квітня 2020 р.)

Публікація за темою роботи:

Мельник О., Куніцький Я. Завдання і вимоги до системи управління мобільною мікропроцесорною системою. НАУКА. ОСВІТА. МОЛОДЬ : матеріали XIII Всеукр. наук. конф. студентів та молодих науковців (Умань. 22 квітня 2020 р.) / за ред. О. І. Безлюдного. - Умань : Візаві. 2020. С. 159-163 [10].

РОЗДІЛ 1. ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИМОГИ ДО ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮ МІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ

1.1 Пожежа в приміщенні та стадії її дії

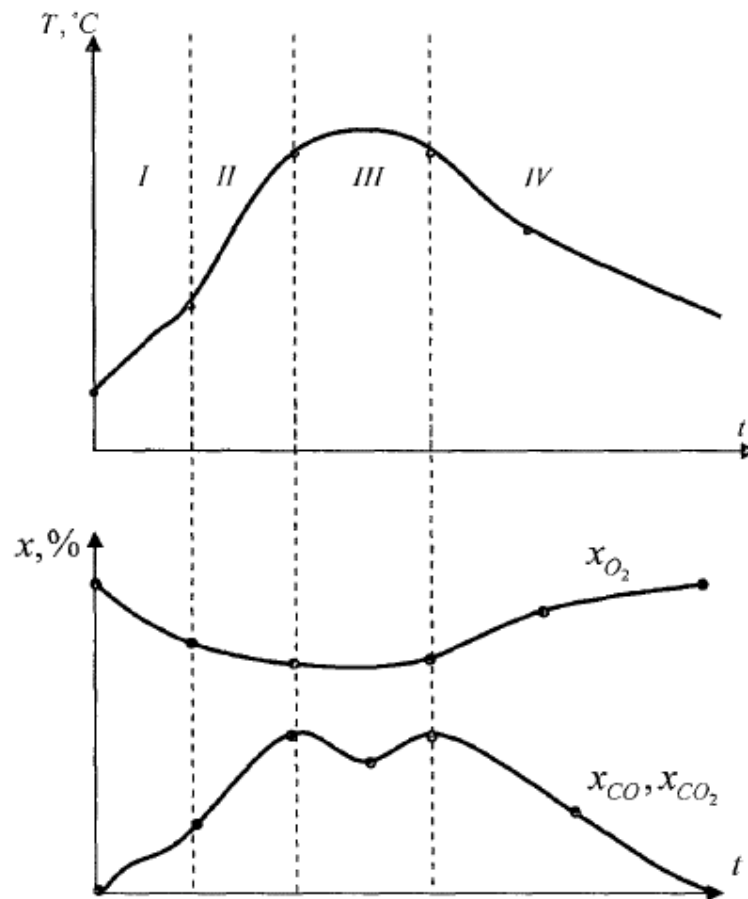
Під визначенням "пожежа" розуміється комплекс фізико-хімічних явищ, в основі яких лежать нестационарні (змінюються в часі і просторі) процеси горіння, тепломасообміну поза спеціальним вогнищем, які завдають матеріальних та моральних збитків [29]. Ефективне застосування мікропроцесорних засобів для ведення моніторингу і ліквідації пожежі вимагає всебічного розуміння процесу його зміни в часі.

Як зазвичай, на об'єкти пожежогасіння за умовами газообміну і теплообміну з навколишнім середовищем доводиться мати справу з пожежами в огорожах, які характеризуються сильним задимленням суміжних з осередком займання приміщень, а також впливу високих температур і початкової інформаційної невизначеності ситуації щодо місця займання.

Пожежа в приміщенні як процес має чотири характерні фази свого розвитку (рисунок 1.1).

Початкова стадія пожежі (I фаза) включає в себе період від моменту виникнення горіння до повного охоплення полум'ям поверхні горючого навантаження. Тривалість цієї стадії залежить від кількості і виду горючого навантаження, потужності джерела запалювання, конструктивно планувальних характеристик приміщення і може змінюватися в широких межах. Температура на початковій стадії пожежі характеризується сильною неоднорідністю, однак, її середнє значення і темп зміни невеликі.

Розвиваюча стадія пожежі (II фаза) включає в себе період від повного охоплення полум'ям поверхні пожежної навантаження до досягнення постійної швидкості вигорання матеріалів пожежної навантаження. До кінця розвиваючої стадії значно зменшується концентрація кисню (O_2) і збільшується концентрація оксиду вуглецю (CO), діоксиду вуглецю (CO_2) та інших продуктів згорання.



- Рисунок 1.1 - Характер зміни середньої температури T і середніх концентрацій CO_2 , CO і O_2 при пожежі в приміщенні

У розвинутій стадії (III фаза) пожежа досягає своєї найбільшої можливої інтенсивності, а всі параметри, що характеризують розвиток пожежі (швидкість вигорання, газообмін, концентрація продуктів згорання, температури, теплові потоки) мають максимальні і практично постійні значення.

Загасаюча стадія пожежі (IV фаза) починається з моменту зменшення швидкості вигорання пожежного навантаження і закінчується моментом досягнення початкового значення середньої температури.

Розрізняють два види пожеж в огорожах: відкриті, тобто розвиваються при повністю або частково відкритих отворах, і закриті, коли газообмін здійснюється тільки внаслідок інфільтрації повітря і віддаляються із зони горіння газів через нещільності в огорожі. Особливу складність представляє останній вид пожежі через сильну задимленість в приміщеннях, що мають

велику площу і складне планування, що істотно ускладнює проведення оперативного пошуку вогнища загоряння.

Зона задимлення при закритій пожежі займає практично весь обсяг не тільки приміщення, в якому сталася пожежа, але і у всіх суміжних з ним і сполучених між собою приміщень, задимлення яких відбувається дуже швидко. У міру віддалення від приміщення з осередком пожежі температура продуктів горіння і концентрація токсичних компонентів знижується. Згідно з даними поширення диму в закритому приміщенні збігається з рухом в ньому теплового потоку газоповітряного середовища. Як показує аналіз пожеж і експериментальні дослідження [14] при виникненні пожежі в цехах підприємства утворене щільне задимлення і висока температура створюють труднощі для проведення моніторингу вогнища пожежі та аварійних робіт. Подібна картина має місце і при пожежах в атріумах, підвалах, виробничих приміщеннях. Таким чином, головною особливістю закритих пожеж, є сильне задимлення, що перешкоджає визначенню реальної обстановки, що склалася на пожежі.

1.2 Завдання моніторингу закритих пожеж та актуальність застосування мобільних пожежних моніторингових мікропроцесорних систем

Традиційно завдання визначення сформованої обстановки вирішується керівником гасіння пожежі, виходячи з особистого досвіду та інтуїції. Такий суб'єктивізм часто призводить до неправильних рішень, непідкріпленим інформаційно-аналітичним супроводом, розрахунками, і, як наслідок, до людських жертв та інших негативних наслідків. Спроби ухвалення об'єктивних рішень в області пожежогасіння (розміщення сил і засобів пожежогасіння) розглядалися в роботах [24; 25; 31; 36] на основі застосування апарату нечіткої логіки та нейро-нечітких мереж.

Авторами цих робіт небезпідставно пропонувалося застосування розроблюваного підходу для вирішення завдання оцінки поширення пожежі на

об'єкті через складність знаходження аналітичної залежності між швидкістю поширення пожежі і визначаючими факторами. Але при цьому авторами зазначених робіт не враховувалося, що для застосування пропонованих підходів спочатку необхідно вирішити задачу визначення вихідної інформації: початкових координат вогнища загоряння, швидкості вигоряння та середньої швидкості поширення вогню. Причому швидкість вигоряння і швидкість поширення вогню залежать як від виду пальної речовини, так і кількості кисню в приміщенні. Тому визначення цієї вихідної інформації і підтримка прийняття рішення керівником гасіння пожежі є актуальними науковими завданнями.

Для отримання необхідної інформації проводиться моніторинг - один з найважливіших видів бойових дій пожежних підрозділів. До її основних завдань відносять [22]: встановлення місцезнаходження людей і визначення існуючої їм загрози, а також шляхи і засоби їх порятунку; визначення місця і розміру пожежі, шляхи і швидкості поширення вогню, виду палаючих матеріалів, ступеня задимлення; з'ясування небезпеки вибухів, отруєнь, обвалень і інших подібних обставин, які ускладнюють дії підрозділів з гасіння.

Фахівцями в області протипожежної оборони наголошується, що обов'язковою є визначення місця і розміру пожежі. При цьому моніторинг проводиться в складних умовах: щільному задимленню, відсутності світла, складного планування. За даними робіт [20] видимість в задимленому приміщенні на висоті 0,5 м від рівня підлоги зазвичай не перевищує 1,5-2 м. Наявність внутрішніх конструкцій (перегородки, стінки тощо) часто перешкоджають візуальному виявленню вогнища горіння площею 5-6 м². В таких умовах швидкість цілеспрямованого (у відомому напрямку) руху рятувальника становить 2-5 м/хв, а в разі невизначеності знаходження вогнища загоряння швидкість руху значно знижується. До того ж такі умови в сукупності з дією підвищеної температури і можливими руйнуванням конструкцій приміщень створюють високу ступінь ризику для особового складу, який проводить моніторингові дії. Для зменшення цього ризику в даний час розробляються і впроваджуються методи її проведення з використанням

мікропроцесорних засобів (рисунок 1.2), коли оператор робота знаходиться на безпечній відстані від об'єкта пожежі.

За зовнішнім виглядом пожежно-рятувальна робототехніка розділяється на: андроїдні; мобільні, які можуть самостійно переміщатися до місця події; стаціонарні установки. Крім того, пристрої поділяються за способом переміщення (гусеничний або колісний хід), використовуваному матеріалу (вода, піна), а також наявністю додаткових функцій, таких як пристосування для димовидалення, осадження продуктів згоряння.



а



б



в

Рисунок 1.2. Мобільні пожежні роботи: а) - мобільна установка LUF-60; б) - гусенична машина - Thermite RS1-T2, США; в) - аварійно рятувальний робот T-52 Enryu

Мобільні установки LUF-60 (Австрія) можуть використовуватися і на пожежах, де звичайна техніка і традиційні тактики пожежогасіння не працюють, а також при спалахи хімікатів або небезпечних речовин. Управління відбувається дистанційно, а завдяки гусеничному ходу, пожежна робототехніка LUF-60 здатна самотійно долати перешкоди у вигляді нерівностей покриття. Крім того, для ліквідації пожеж в з/д тунелях установки оснащуються спеціальною платформою, яка може їздити (до 40км / год) по залізничних коліях.

Ще одна гусенична машина - Thermite RS1-T2, розроблена компанією «Howe and Howe Technologies». В основу конструкції була взята армійська розробка США: компактний робот, оснащений не тільки соплом і насосом для пожежогасіння, а й роботизованою «рукою» і камерою для сканування місцевості. Пристрій може не тільки ліквідувати вогонь, але і при необхідності допомогти в пошуку тих, що вижили. Оператор може перебувати на відстані 400 м і продовжувати керувати роботом.

Аварійно-рятувальний робот T-52 Enryu, розроблений японською компанією Tmsuk. Відмінною особливістю є наявність екзоскелета, за допомогою якого відбувається управління (з кабіни або дистанційно). Робот не вміє гасити пожежі, але ця розробка була створена спільно з Пожежникам Управлінням Кітакюсю і необхідно для проведення рятувальних операцій.

Співробітники норвезького дослідницького центру створили спеціального робота Anna Konda, який зовні схожий на роботизовану змію. Конструкція обрана не випадково, саме таке рішення дозволить проникати вглиб будівель і діяти ювелірно точно і ефективно: робот підключається до звичайного пожежного рукава і вода або маски для людей подаються точно до вказаного місця. Пристрій оснащений камерою і управляється дистанційно. Також при необхідності, оператор може задати координати, а робот Anna Konda сам прокладе маршрут і пересування.

Універсальні установки TAF (20,35) які здатні використовувати в пожежогасінні воду, піну, гелі та різні добавки були розроблені італійською

компанією «EmiControls». Турбіну можна нахилити, регулювати висоту і дальність, а управління проводити дистанційно.

Аналіз робіт [25; 28; 29] показує, що існуючі до цього часу мобільні роботи як вітчизняного, так і іноземного виробництва, в тому числі представлені на рис. 1.2 мають приблизно однакові тактико-технічні характеристики, що дозволяють вести моніторинг пожежі в умовах приміщень:

- маса спорядженого робота, не більше 360 кг;
- максимальна швидкість пересування не менше 1,0 м / с;
- висота подоланого роботом порогового перешкоди, 0,25 м;
- допустимий кут крену, диференту не більше 35°;
- глибина подоланої водної перешкоди не більше, 0,1 м;
- номінальна вантажопідйомність маніпулятора (при його наявності), 30 кг;
- гранично допустима вантажопідйомність маніпулятора (при його наявності), 50 кг;
- управління з пульта управління на відстані: по кабелю до 200 м, по радіо на відкритій місцевості до 1000 м;
- габаритні розміри, не більше: довжина 1,35 м, ширина 0,7 м, висота 0,8 м;
- час безперервної роботи, не менше 4 год;
- конструктивна захист від впливу високих температур системою водяного охолодження.

Спільний розгляд робота із середовищем пожежі дозволяє перейти до об'єкта нашого дослідження - процесу моніторингу пожежі із застосуванням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи. Структурна схема типової організації моніторингу і гасіння пожежі з використанням мікропроцесорних систем, представлена на рис. 1.3.

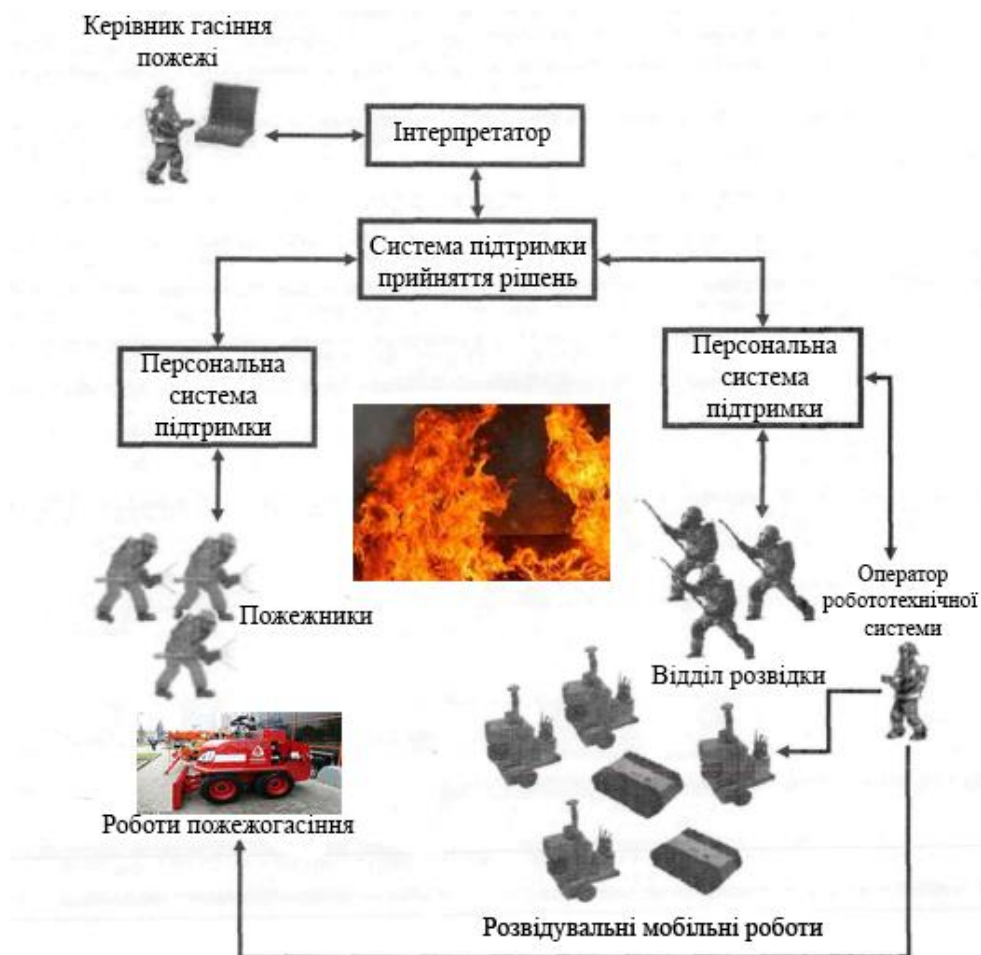


Рисунок 1.3. Організація моніторингу та гасіння пожежі з використанням пожежної мікропроцесорної системи

У ній можна виділити два рівня управління процесом: тактичний рівень, на якому знаходиться керівник гасіння пожежі, і оперативний, який включає пожежні розрахунки, відділення моніторингу і мікропроцесорні засоби. Інформація, що отримується від моніторингових засобів і розвідгруп, через систему персональної підтримки надходить на тактичний рівень. Керівник гасіння пожежі, ґрунтуючись на особистому досвіді і рекомендаціях систем підтримки прийняття рішень, приймає рішення по ліквідації пожежі і передає бойовий наказ на оперативний рівень пожежним розрахункам і оператору мікропроцесорних систем, що здійснює управління пересувними засобами моніторингу і пожежогасіння.

Особлива складність прийняття ефективних управлінських рішень на пожежі як на тактичному, так і оперативному рівнях пов'язана з тим, що

пожежа як інформаційний процес далеко ще не вивчений, надзвичайно складний і містить велику кількість інтенсивно змінюваної значимої інформації. При цьому інформація переважно носить суб'єктивний, якісний, нечіткий і суперечливий характер. Все це характеризує так звані слабоструктуровані управлінські завдання, в яких параметри їх вирішення в основному видаються в якісному, а не кількісному вигляді. І тут для досягнення цілей моніторингу на перший план виступає завдання організації керуючої підсистеми пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, здатною вирішувати ряд технічних завдань [36]:

- проводити аналіз великого обсягу інформації, що надходить від інформаційно-вимірювальних систем і систем технічного огляду, для оцінки обстановки під час моніторингу;
- визначати небезпечні фактори пожежі (вид вугілля речовин і матеріалів, площа пожежі, його місцезнаходження);
- підтримувати діалог з оператором при управлінні рухом мобільної пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.

1.3 Обробка інформації про небезпечні фактори пожежі мікропроцесорними системами

Розглянемо стан питання існуючих підсистем управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в Україні та за кордоном. Пожежні моніторингові мікропроцесорні системи можна розділити на два типи: системи, до складу яких входить один моніторинговий робот, і системи, в складі яких працює група роботів. Для підсистем управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи першого типу характерно застосування ручного дистанційного керування, при якому оператор вимушений безперервно управляти всіма рухами робота, орієнтуючись по одержуваному їм відеозображення робочого середовища. Даний вид керування не позбавлений недоліків через повну зайнятість оператора в процесі управління роботом. Це, в свою чергу, призводить до швидкої стомлюваності оператора і до помилкових

дій, відволікаючи його від основного, досить складного завдання - збирання та аналізу інформації про пожежу. Крім того, істотні труднощі в управлінні надає періодична втрата зв'язку робота з оператором, що також призводить до помилкових дій останнього, а найчастіше, і до неможливості досягнення цілей моніторингу.

Підсистеми управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи другого типу є більш досконалішими за рахунок застосування стратегій групового управління. Розробка подібних пожежних моніторингових мікропроцесорних систем активно ведеться за кордоном в рамках проекту «GUARDIANS» (Group of Unmanned Assistant Robots Deployed In Aggregative Navigation supported by Scent détection), який стартував в 2007 році і об'єднав ряд європейських університетів [35].

Цей проект охоплює широку область досліджень, що включає, в тому числі, і специфічні питання взаємодії оператора з групою роботів, які здійснюють моніторинг [21]. Ідея проекту полягає в створенні координаційної системи (рис. 1.4), яка за допомогою пожежної моніторингової мікропроцесорної системи і віддаленого координатора гасіння пожежі допомагає пожежникам переміщатися в зоні гасіння пожежі.

Моніторингові роботи контролюють склад навколишнього середовища і визначають наявність небезпечних хімічних речовин. Дані моніторингу надходять на станцію управління. Керуючись цією інформацією, пожежники можуть встановлювати потенційні небезпеки і вибирати найкращу стратегію для вибору інструментарію пожежогасіння. В роботі [10] згадується, що система управління такого типу буде здатна вирішувати більш широкий спектр завдань: не тільки вести пошук пожежі і постраждалих, а й здійснювати підтримку прийняття рішень керівника гасіння пожежі.

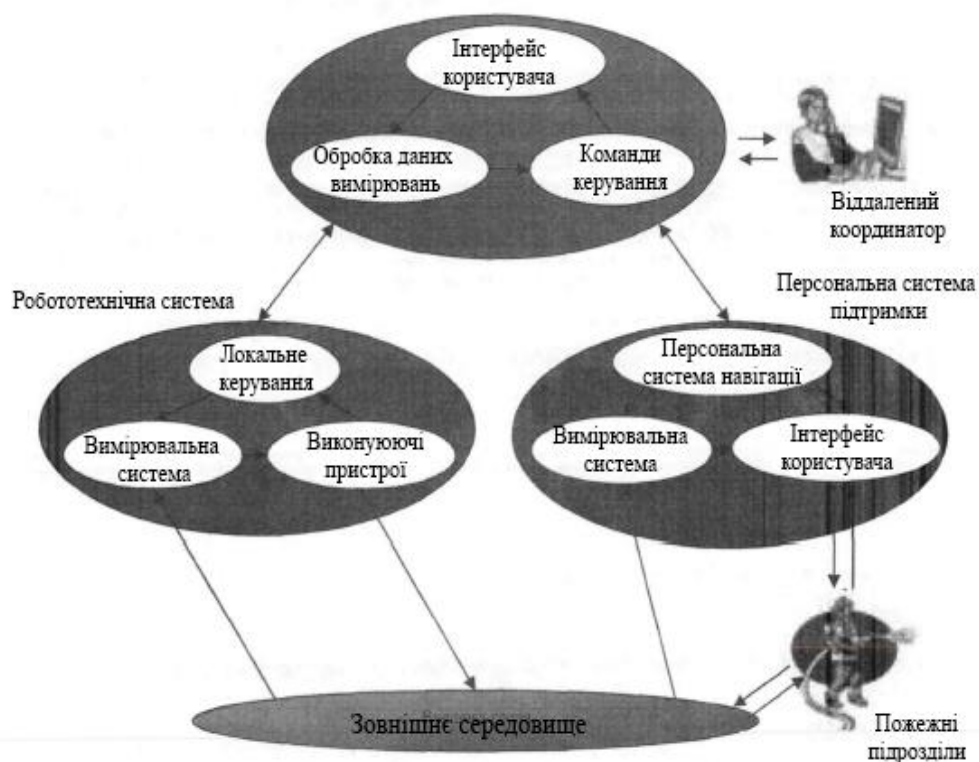


Рисунок 1.4. Схема інформаційної діаграми взаємодії людини і роботів

Однак, як зазначається в роботі [35] завдання автономного пошуку вогнища з використанням мобільних роботів в GUARDIANS не є вирішеною. Чи не вирішене також завдання оцінки пожежі, визначення його класу інструментальними методами, і відсутня тактика ведення моніторингових дій на їх основі. У зв'язку із цим побудова системи управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи організовано таким чином, що вимагає безпосередньої участі особового складу пожежних підрозділів в процесі моніторингу, обмежуючи потенційні області застосування подібної пожежної моніторингової мікропроцесорної системи. З чого можна зробити висновок, що в даний час необхідна розробка методів оцінки вогнища спалаху і способів (методики) ведення моніторингу із застосуванням мобільних пожежних моніторингових мікропроцесорних систем без безпосередньої участі пожежних-розвідників.

Сильною стороною проекту GUARDIANS є принцип поділу функцій і знань між учасниками, а також методи для обміну даними, що забезпечують

стале функціонування системи навіть у разі часткової втрати зв'язку. А це, як було зазначено раніше, є критичним для систем управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи першого типу. Система, яка реалізує принцип поділу функцій і знань, складається з трьох різнотипних модулів, що взаємодіють один з одним: телеоператорський центр (ТЦ), персональної системи підтримки (ПСП) і мікропроцесорної системи. Рис. 1.5 пояснює взаємодію між системними модулями. Модуль ТЦ знаходиться на верхньому рівні ієрархії системи і використовується віддаленим координатором для управління і моніторингу інших модулів. Один ТЦ може керувати кількома модулями мікропроцесорної системи і ПСП.

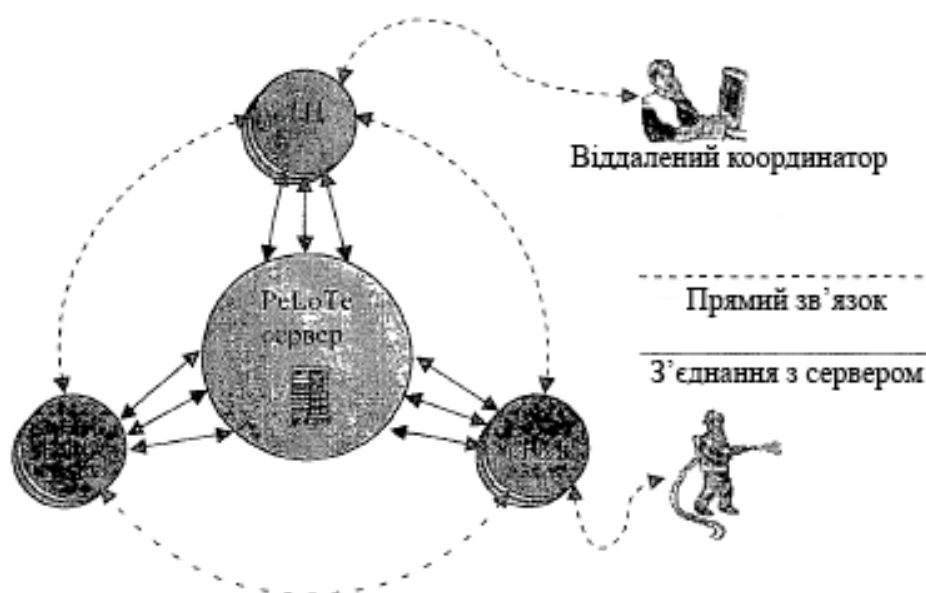


Рисунок 1.5 Взаємодія між системними модулями

У разі екстреної ситуації кожен з модулів мікропроцесорної системи і ПСП може управлятися їх персональним ТЦ. Поділ завдань та інформації між учасниками процесу здійснюється за допомогою клієнт/серверної архітектури робота ReLoTe [23]. Для організації спільної роботи пожежного та роботів в розпорядженні керівника гасіння пожежі знаходиться спеціальна багат шарова карта (рис. 1.6). Нижній шар - базовий, є цифровою картою місцевості, перший шар містить небезпечні об'єкти, другий - фізичні перепони, третій - поточні місця розташування як пожежників, так і супроводжуючих їх роботів.

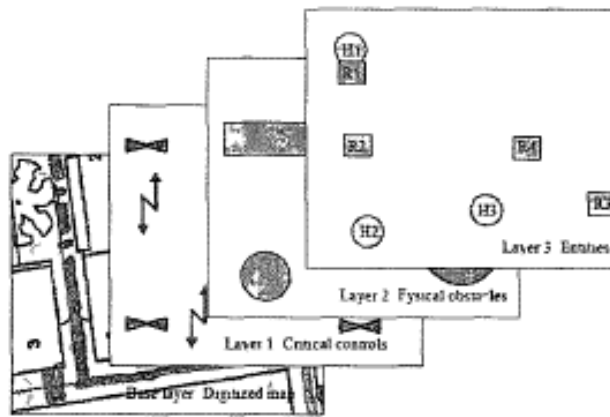


Рисунок 1.6 Багатошаркова карта місцевості

Графічний інтерфейс користувача представлений декількома формами, головна з яких (рис. 1.7) служить для відображення такої інформації, яка дозволяє оператору приймати управлінські рішення в ході ведення моніторингу: навігаційної; рівня захисту дихання; часу знаходження в зоні пожежі, яке може забезпечити залишився запас кисню; температури навколишнього середовища; час проведення операції.

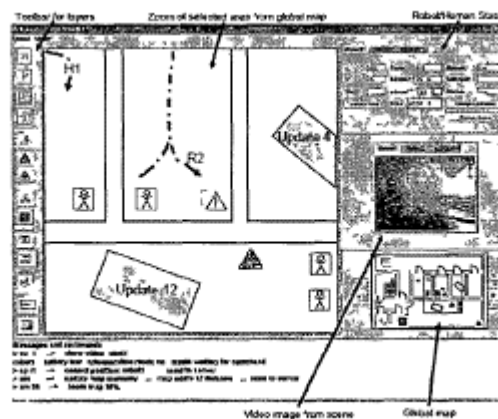


Рисунок 1.7. Прототип графічного інтерфейсу користувача для пожежника

При цьому авторами розробки Ф. Дрейвером, К. Шиллінгом [30] відзначається, що застосування розподіленої системи управління моніторингом пожежі дозволяє здійснювати накопичення і систематизації інформації, що надходить від роботів. Але в той же час, слід підкреслити, що цифрова карта об'єктів пожежогасіння в більшості випадків відсутня, і пошук вогнища пожежі пов'язаний з високою часткою невизначеності як його місцерозташування, так і

місцезнаходження пожежників-розвідників, тому це завдання не можна вважати повністю вирішеним. Крім того, до теперішнього часу лише ставиться питання про оснащення служб протипожежної оборони електронними картами об'єктів, що мають особливе державне значення. Так само побудова карти роботами в умовах реального часу неефективно в умовах дефіциту часу і під час бойового завдання - моніторингу пожежі, тому тут можливі два підходи: перший - розробка методів супроводу роботами пожежника-розвідника, другий - методів навігації робота, що використовують інформацію про основні чинники пожежі (значення температур, концентрацій продуктів горіння).

У телематичній (дистанційно обробної) гібридній системі реалізований перший підхід, який отримав розвиток в роботах колективу авторів Л. Номдедеу, Дж. Салес, Е. Цервера з Іспанії [23] при вирішенні завдання обстеження приміщення групою роботів за участю пожежного-розвідника (рис. 1.8). Роботи оснащені сенсорами і здатні оцінювати відстані, як між собою, так і людиною. Зв'язок тільки односторонній, від роботів до людини. Мета даного експерименту полягає в перевірці працездатності реальних мікропроцесорних засобів при розподілі вирішуваних завдань між ними і не є експерт-оператором. Мотивація такого експерименту пояснюється фактом втрати при моніторингу пожежними частини сенсорних здібностей: видимість обмежена, тактильне сприйняття притупляється, чутність погіршується через постійний шум, супутньої роботи, і т.д. У цих умовах легко втратити орієнтацію в просторі і потрапити в вогняну пастку всередині будівлі, тому виникає необхідність планування цілеспрямованого переміщення.

У статті [24] наведено опис алгоритмів спільної роботи подібної групи роботів, виявлення пожежника за сигналами далекомірів і його супровід. Але авторами не розглядається як така задача пошуку центра загоряння, а тільки завдання супроводу людини. Завдання ж робота полягає якраз в мінімізації часу знаходження пожежі в екстремальних умовах при пошуку центра загоряння. У той же час участь пожежного в процесі моніторингу пожежі, як уже

зазначалося, істотно обмежує сферу застосування подібної пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.



Рисунок 1.8. Взаємодія людини і групи роботів

Також недостатнє опрацювання питань, пов'язаних з урахуванням небезпечних чинників пожежі, в розглянутих роботах не дозволяє визначити необхідний і достатній склад вимірювального обладнання, необхідного роботу. Це підтверджує звіт [35], випущений Шефільдським університетом щодо першого етапу науково-дослідної роботи в рамках проекту GUARDIANS за період 2007-2011 років. За результатами його аналізу можна відзначити, що у проекті добре опрацьована стратегічна і ергономічна складова проблеми моніторингу пожежі в питанні спільної навігації роботів з пожежником, але недостатня увага приділена питанню обліку небезпечних факторів пожежі для отримання якісних та кількісних характеристик про пожежу (вид палаючої речовини, розмір пожежі, швидкість вигорання і т.д.), що є однією з основних задач моніторингу. Аналітичний огляд робіт [19-21] показує, що моніторингові

роботи, що використовуються в проєкті GUARDIANS, оснащені інформаційно-вимірвальним обладнанням, що дозволяє кількісно оцінювати як фізико-хімічні параметри пожежі (температура, концентрації газів) в місці розташування робота, так і геометричні параметри навколишнього середовища (відстань до перешкод і т.д.), що визначають тактичні характеристиками пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.

Найбільш докладно аналіз зовнішніх умов під час пожежі і ефективність застосування вимірвального обладнання для визначення геометрії навколишнього середовища проведено групою німецьких дослідників в роботі [30]. За умовами видимості авторами були виділені чотири робочих зони: А (прозорість 90-100%, видимість понад 22 м), В (прозорість 90-60%, видимість від 22 до 4,5 м), С (прозорість 60-30%, видимість від 4,5 до 2 м), D (прозорість 30-0%, видимість менше 2 м). На основі узагальнення результатів великої серії експериментів (216 вимірювань), проведених при варіюванні чотирьох чинників: температури на трьох рівнях, типу диму на шести рівнях, щільності диму на чотирьох і дальність до об'єктів на трьох, авторами було запропоновано ряд рекомендацій щодо використання вимірвальних засобів. Так, для виявлення перешкод на відстанях 0,5-1,5м авторами рекомендовані до використання ультразвукові далекоміри, а на відстані менше 0,5 м - тактильні сенсори. У зонах А, В рекомендується використання ПЗЗ-камер, а в зонах С, Е> - ІЧ-камер або радарної системи. Тут необхідно вказати на відносно високу вартість радарних систем, і повністю не вирішену проблему теплового захисту ІЧ-камер [12], а в якості головного недоліку можна відзначити високу вартість приладу при його одночасній експлуатації в екстремальних умовах (механічні удари, висока температура, вплив водяної пари).

Таким чином, виходячи з умов навколишнього середовища, в якому доводиться вести моніторинг, слід взяти до уваги, що набір вимірвальних засобів, що визначають тактичні можливості пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, є досить обмеженим, особливо в світлі вартісного фактору вимірвальної відеосистеми.

Резюмуючи, можна зробити висновок, що на сьогодні в рамках проектування системи управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи є вирішеними завданнями щодо забезпечення якісного обміну між усіма вузлами системи, накопичення і систематизації інформації, що надходить з сенсорних пристроїв пожежної моніторингової мікропроцесорної системи. Таким чином, визначена інтерфейсна частина проекту з управління інформацією в моніторинговій системі, де група роботів постає як самостійна одиниця в процесі моніторингу. При цьому залишається поза увагою питання отримання якісних і кількісних характеристик про пожежу: вид палаючої речовини, розмір пожежі, швидкість вигорання. Тобто група роботів слідує методиці моніторингу, що полягає в зборі даних фізико-хімічного стану навколишнього середовища, супроводжуючи при цьому пожежу та представляючи йому зібрану інформацію. В даний час для вітчизняних умов ведення моніторингових дій характерно застосування одного робота, що виключає присутність оператора-розвідника в небезпечній зоні, тому методика ведення моніторингових дій повинна бути іншою і визначатися в цілому умовами бойової обстановки. Основною особливістю подібної методики має бути виконання заздалегідь відпрацьованих дій мобільної мікропроцесорної системи, в тому числі і автономної, що призводять до гарантованого результату. При цьому, з одного боку, такі дії встановлюються в ході аналізу особливостей протікання процесу закритої пожежі, а з іншого - визначаються тактико-технічними можливостями пожежних моніторингових мікропроцесорних систем.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОНІТОРИНГУ ЗАКРИТОЇ ПОЖЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯММОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ МОНІТОРИНГОВОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Визначення класу пожежі з використанням теорії нечітких множин

Однією з основних бойових завдань, що вирішуються при моніторингу пожежі, є поетапна оцінка обстановки безпосередньо на місці пожежі і максимально повне визначення всіх небезпечних факторів ситуації, що складається.

Під небезпечними факторами пожежі розуміється вид вугілля речовин (клас пожежі) і матеріалів, площа пожежі, орієнтовна температура на місці пожежі, рівень задимленості [36]. Візуальне визначення виду палаючих речовин і матеріалів, інформація про яких необхідна для прийняття рішення щодо вибору засобів та тактики пожежегасіння, через сильне задимлення в своїй більшості не представляється можливим. Для цього потрібно розробити інструментальний метод визначення і оцінки класу пожежі, методики застосування пожежної моніторингової мікропроцесорної системи для пошуку вогнища загоряння, а також його моніторингу, що є першим завданням дослідження. Перейдемо до її вирішення.

У даний час згідно ДСТУ EN 2:2014 пожежі залежно від виду горючого навантаження **якісно** класифікуються наступним чином [13]:

1. клас А1 - горіння твердих речовин, що супроводжується тлінням (папір, дерево, текстильні вироби тощо);
2. клас А2 - горіння твердих речовин, несупроводжуваному тлінням (наприклад, пластмаса);
3. клас В1 - горіння рідких речовин, нерозчинних у воді (бензин, ефір, нафтопродукти), а також стискувані тверді речовини (парафіни);
4. клас В 2 - горіння рідких речовин, розчинних у воді (спирти, гліцерин);
5. клас С - горіння газоподібних речовин;
6. клас D - горіння металів;

7. клас Е - пожежі електроустановок, що знаходяться під напругою.

З урахуванням наведеної класифікації завдання визначення виду горючої речовини можна сформулювати наступним чином: за отриманими даними, заданих вектором деяких інформативних ознак $\vec{L} = (L_1, L_2, \dots, L_n)$ визначити ступінь приналежності $\{d_1, d_2, \dots, d_m\} (m = 7)$ поточної пожежі до кожного з класів А1, А2, В1, В2, С, Е. Слід зазначити, що при використанні мобільних роботів в операціях пожежогасіння, як правило, доводиться стикатися тільки з чотирма з них А1, А2, В1, В2, тому безліч класів може бути записано в вигляді $d = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$.

Вище зазначалося, що класи визначені тільки якісно. Для вирішення ж завдання класифікації потрібно виділити кількісні показники, що характеризують різні типи горючих навантажень. За результатами аналізу бази даних типових пожежних навантажень [18] автором пропонується в якості вектора інформативних ознак вибрати вектор виду $\vec{L} = (L_{O_2}, L_{CO}, L_{CO_2})$, де L_{O_2} - питоме споживання кисню, L_{CO} - питомий вихід оксиду вуглецю, L_{CO_2} - питомий вихід вуглекислого газу, або іншими словами, вектор стехометричних коефіцієнтів. Вибір цих коефіцієнтів пояснюється тим, що стехометричні коефіцієнти характеризують протікання хімічних реакцій горіння, що лежать в основі пожежі як фізико-хімічного процесу. На рисунку 2.1 представлені зведені дані типових пожежних навантажень (кожен вид навантаження задається трійкою $\{L_{O_2}, L_{CO}, L_{CO_2}\}$) у вигляді двомірних проекцій багатовимірного кластера відповідного класу $d_i(\overline{1,4})$, отриманих автором за результатами обробки характеристик бази даних в середовищі Matlab [34].

З рисунка 2.1 видно, що кордони між класами розмиті, а дві точки, належать класу В1, сильно віддалені від центру однойменного безлічі. Ці точки характеризують турбінне та індустріальне масла відповідно. З огляду на розмитість кордонів між класами, пропонується використовувати нечітку класифікацію, яка є розвитком експертних систем. Основна перевага нечіткої класифікації полягає в можливості формулювання достовірних

класифікаційних висновків, виходячи з неповних і не цілком достовірних вхідних посилань.

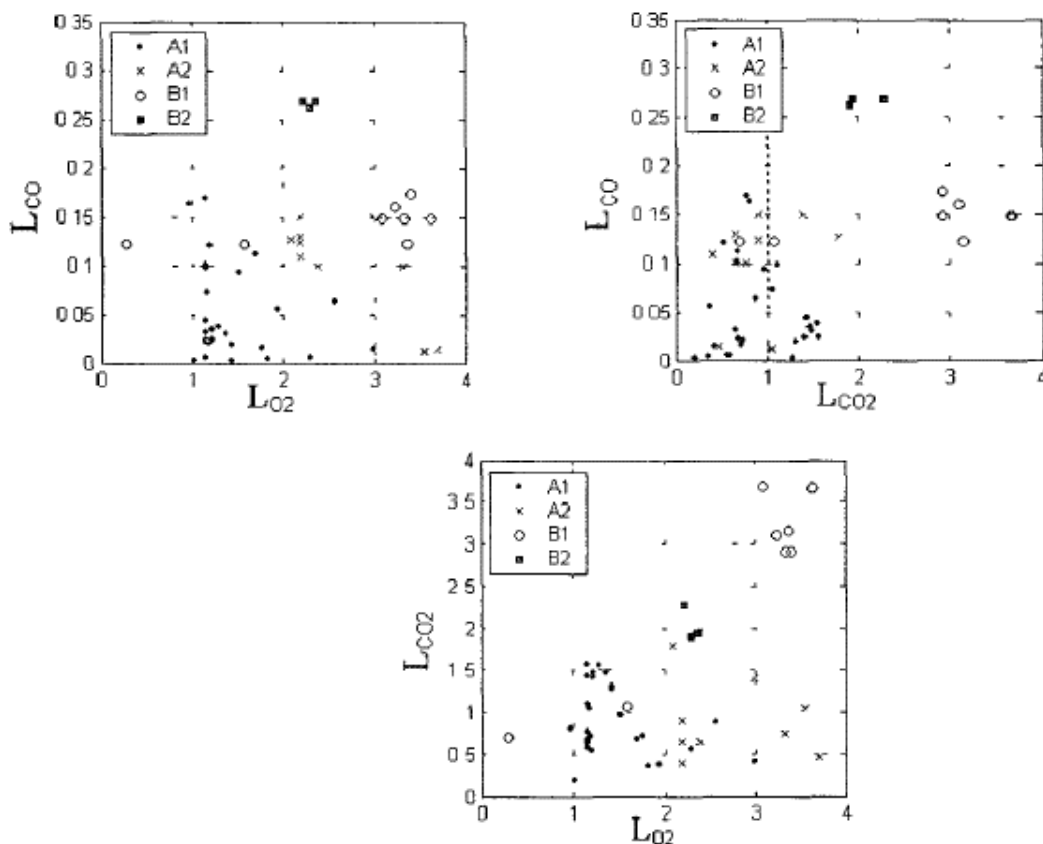


Рисунок 2.1 Розподіл класів типових пожежних навантажень в просторі станів інформативних ознак

У цьому випадку нечітка база знань може бути представлена у вигляді (2.1)

ЯКЩО $L_{O_2} = a_{1,j^1}$ І $L_{CO_2} = a_{2,j^1}$ І $L_{CO} = a_{3,j^1}$

ЯКЩО $L_{O_2} = a_{1,j^2}$ І $L_{CO_2} = a_{2,j^2}$ І $L_{CO} = a_{3,j^2}$

...

ЯКЩО $L_{O_2} = a_{1,j^{k_j}}$ І $L_{CO_2} = a_{2,j^{k_j}}$ І $L_{CO} = a_{3,j^{k_j}}$

ТО $y = d_j, \quad j = \overline{1,4}$

(2.1)

де a_{i,j^r} - нечіткий терм, яким оцінюється змінна L_i в правилі з номером $j^r = \overline{1, k_j}; k_j$ - кількість правил, що описують клас d_j .

При цьому ступені належності пожежі $\vec{L}^* = (L_{O_2}, L_{CO_2}, L_{CO})$ до класів d_j розраховуються за формулою (2.2):

$$\mu_{d_j}(L^*) = \max_{p=1, k_j} \min_{i=1, n} (\mu_{jp}(l_i^*)) \quad (2.2)$$

$$j = \overline{1, 4}$$

Логічний висновок здійснюється за модифікованим методом Сугено. Даний метод порівняно з методом логічного висновку Мамдані має низку переваг: по-перше, вихідна нечітка множина є безліччю першого порядку, тобто заданою на множині дійсних чисел. По-друге, в методі Сугено відсутнє підсумовування однакових правил при дегазифікації. По-третє, даний метод допускає логічний висновок в ієрархічній нечіткій системі без фазифікації / дефазифікації проміжних змінних, переданих в нечіткій системі наступного рівня ієрархії [17]. Тому його застосування представляється найбільш доцільним в розробленому нечіткому класифікаторі.

Вхідними змінними класифікатора є «питоме споживання кисню» (L_{O_2}), «питомий вихід оксиду вуглецю» (L_{CO}), «питомий вихід вуглекислого газу» (L_{CO_2}), вихідної змінної - «класпожежі». З урахуванням виду розподілів класів в просторі станів інформативних ознак для лінгвістичної оцінки ознак пожежі пропонується використовувати терми «низький» (small), «середній» (middle), «високий» (big). Беручи до уваги (2.1), взаємозв'язок «входи-вихід» представлений наступною базою продукційних правил, що забезпечують ідентифікацію класу пожежі:

1. ЯКЩО «(L_{CO}) є **високий**» ТО «клас є B2»
2. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **високий**» І (L_{CO_2}) « є **високий**» І «(L_{CO}) є **середній**» ТО «клас є B1»
3. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **низький**» І «(L_{CO}) є **середній**» ТО «клас є A1»
4. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **середній**» І «(L_{CO}) є **низький**» ТО «клас є A1»
5. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **низький**» І «(L_{CO}) є **низький**» ТО «клас є A1»
6. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **середній**» І «(L_{CO}) є **середній**» ТО «клас є A2»
7. ЯКЩО «(L_{O_2}) є **високий**» І «(L_{CO}) є **низький**» ТО «клас є A2».

Функції належності вхідних змінних, отримані за результатами обробки вибірки даних з бази типових пожежних навантажень і використовувані в складі системи правил розпізнавання мають вигляд, представлений на рисунку 2.2.

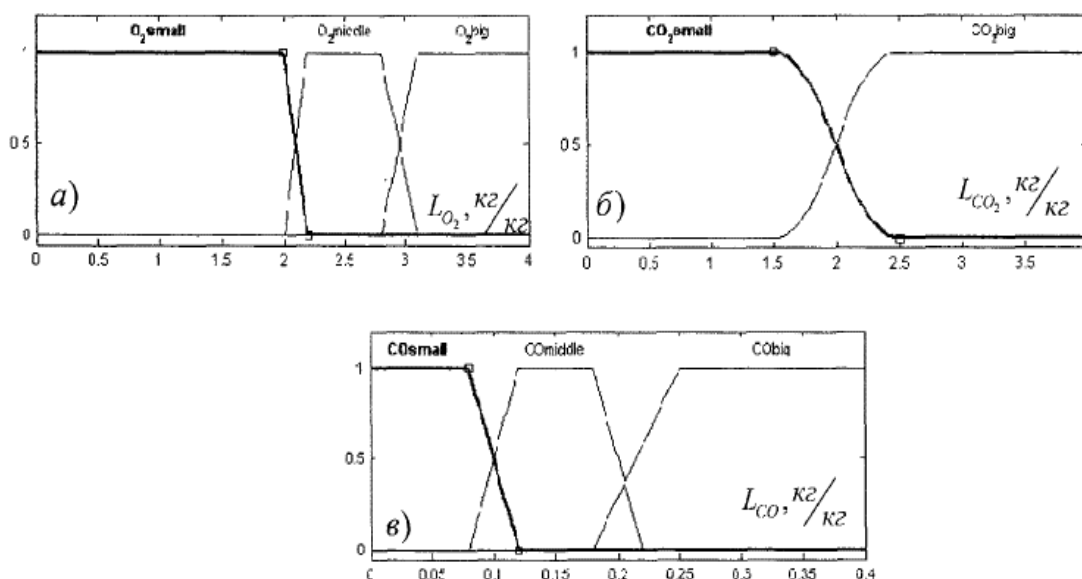


Рисунок 2.2 Функції належності вхідних змінних нечіткої системи класифікації горючого навантаження для питомого споживання кисню O_2 - (а), питомого виділення вуглекислого газу CO_2 - (б) і оксиду вуглецю CO - (в)

За необхідності їх підстроювання для підвищення якості класифікації можна проводити з використанням методу двовимірної проекції багатовимірних кластерів [3], використовуючи розподіл, представлене на рисунку 2.1.

Функціями належності вихідної змінної «Клас» є синглтони (константні значення). Так класу A_1 відповідає функція приналежності $\mu_{A_1} = \left\{ \frac{1}{0} \right\}$, $A_2 - \mu_{A_2} = \left\{ \frac{1}{0,333} \right\}$, $B_1 - \mu_{B_1} = \left\{ \frac{1}{0,667} \right\}$, $B_2 - \mu_{B_2} = \left\{ \frac{1}{1} \right\}$.

На рисунку 2.3 приведена графічна інтерпретація процесу нечіткого виведення при здійсненні класифікації горючого навантаження в реалізованій автором моделі класифікатора в Fuzzy Toolbox (Matlab). З рисунка видно, що для заданого вхідного вектора (1,205; 0,54; 0,121) активовані правила 2,3,5 і 7. При цьому в правилі 3 відбувається активація всіх логічних передумов, і дане правило визначає клас горючого навантаження A_1 ($\mu_{A_1} = \left\{ \frac{1}{0} \right\}$).

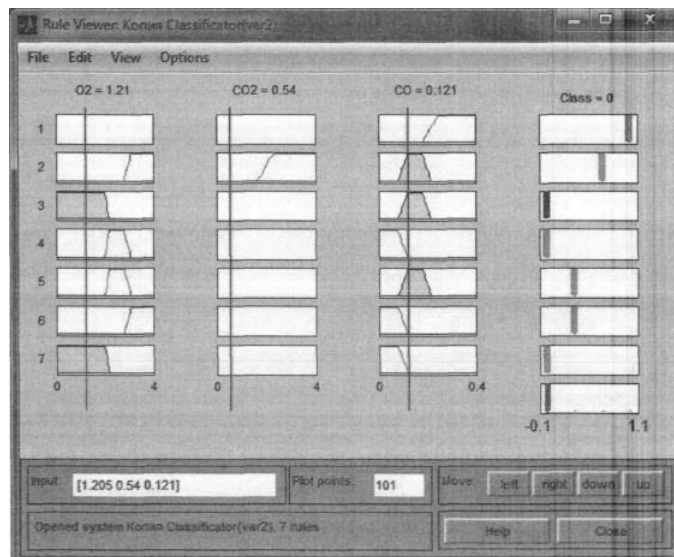


Рисунок 2.3 Здійснення нечіткого виведення при класифікації горіння фанери (клас A1)

З рисунка 2.4 видно, що для заданого вхідного вектора (3,55; 1,045; 0,013) активовані правила 2,4,6 і 7. При цьому в правилі 6 відбувається активація всіх логічних передумов, і дане правило повністю визначає клас горючої навантаження A2 ($\mu_{A_2} = \left\{ \frac{1}{0,333} \right\}$).

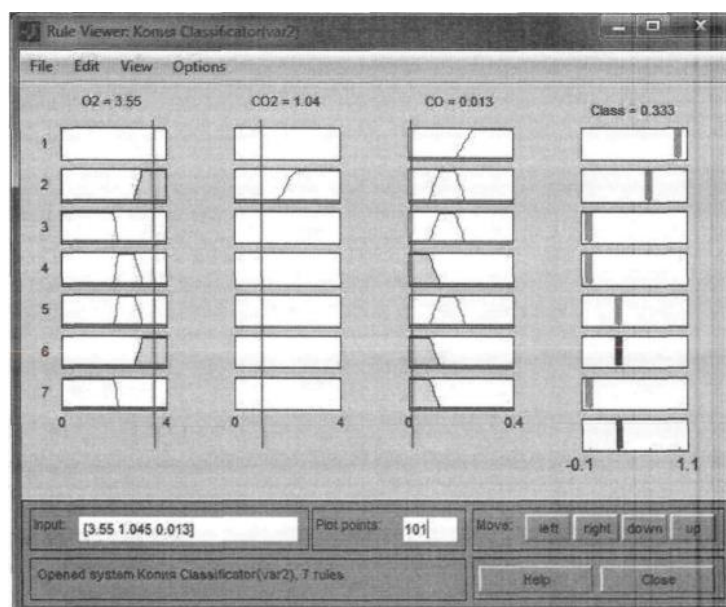


Рисунок 2.4 Здійснення нечіткого виведення при класифікації горіннякапрону і бавовни (клас A2)

Таким чином, на наведених прикладах наочно продемонстрований процес виконання логічного висновку про вид пожежного навантаження за

координатами вектора стехометричних коефіцієнтів. Встановивши застосування використання нечіткого класифікатора для визначення виду палаючої речовини (класу пожежі), розглянемо метод визначення координатвектора $\vec{L} = (L_{O_2}, L_{CO}, L_{CO_2})$ на основі оцінки параметрів термогазодинамічного середовища пожежі.

2.2 Ідентифікація характеристик пожежі із застосуванням моніторингової мікропроцесорної системи

Процес протікання пожежі в приміщенні зручно представити у вигляді структурної схеми, наведеної на рисунку 2.5. Швидкість зміни середньооб'ємних показників газового середовища (блок «Динаміка пожежі») в приміщенні визначається масовою витратою повітря $G_{\text{п}}$, масовою витратою впливають назовні газів $G_{\text{г}}$ і швидкістю газифікації пального матеріалу ψ .

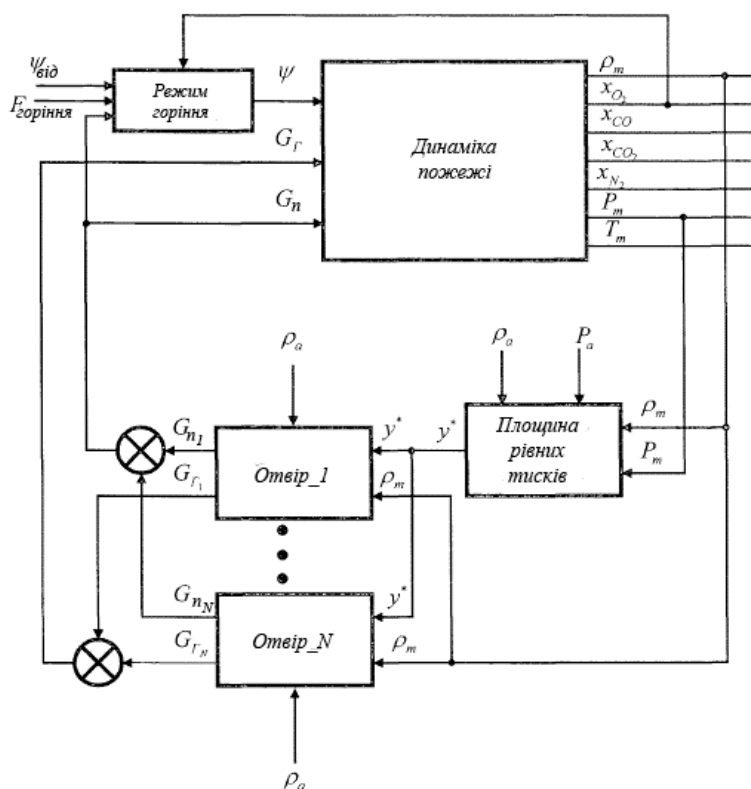


Рисунок 2.5 Схема моделі динаміки пожежі в приміщенні

Масові витрати $G_{\text{п}}$, і $G_{\text{г}}$, в свою чергу, залежать від координат меж прорізів щодо рівня підлоги, різниці щільності надходять в приміщення $\rho_{\text{а}}$

впливають з нього ρ_m газів і положення площини рівних тисків (нейтральною площиною). Під становищем площини рівних тисків розуміється геометрична координата y , яка відлічується від рівня підлоги в якій дотримується рівність тисків всередині і зовні приміщення.

Значення цієї координати визначається величинами p_a і p_m , значеннями середньооб'ємного тиску в приміщенні P_m і атмосферного тиску P_a . Кількість кисню x_{O_2} , що надходить в приміщення з G_{Π} поряд зі середньооб'ємною концентрацією кисню x_{O_2} , питомої швидкістю газифікації ψ_{Π} і площею пожежі $F_{\text{горіння}}$ визначають режим горіння горючого навантаження і швидкість газифікації горючого матеріалу.

Термогазодинаміка пожежі в огорожі без урахування вітрового підпору може бути описана інтегральною моделлю (моделлю з зосередженими параметрами) (2.3) - (2.7) [19], що включає в себе:

а) рівняння закону збереження маси газу:

$$V \frac{d\rho_m}{dt} = \Psi + G_{\Pi} + G_{\Gamma} \quad (2.3)$$

де V - вільний об'єм приміщення, ρ_m - середньооб'ємна щільність газового середовища в приміщенні, ψ - швидкість газифікації горючого матеріалу, G_{Π} - масова витрата повітря, що поступає, G_{Γ} - масова витрата впливу назовні газів;

б) рівняння збереження маси кисню:

$$V \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} = G_{\Pi} \cdot x_{O_{2\Pi}} - G_{\Gamma} \cdot n_1 \cdot x_{O_2} - \Psi \cdot \eta \cdot L_{O_2} \quad (2.4)$$

де x_{O_2} - середньооб'ємна масова концентрація кисню, $x_{O_{2\Pi}}$ середньооб'ємна масова концентрація кисню, що надходить в приміщення з повітрям, n_1 - нерівномірність концентрації кисню, η - повнота згорання;

в) рівняння збереження маси вуглекислого газу:

$$V \frac{d(\rho_m x_{CO_2})}{dt} = \eta \cdot \Psi \cdot L_{CO_2} + G_{\Pi} \cdot x_{CO_{2\Pi}} - G_{\Gamma} \cdot n_2 \cdot x_{CO_2} \quad (2.5)$$

де x_{CO_2} - середньооб'ємна масова концентрація вуглекислого газу, $x_{CO_{\Pi}}$ середньооб'ємна масова концентрація оксиду вуглецю в зовнішньому повітрі, n_2 - нерівномірність розподілу продуктів горіння в приміщенні;

г) рівняння збереження маси чадного газу:

$$V \frac{d(\rho_m x_{CO})}{dt} = \eta \cdot \Psi \cdot L_{CO} + G_{\Pi} \cdot x_{CO_B} - G_{\Gamma} \cdot n_2 \cdot x_{CO} \quad (2.6)$$

де x_{CO} - середньооб'ємна масова концентрація оксиду вуглецю, $x_{CO_{2\Pi}}$ - середньооб'ємна масова концентрація вуглекислого газу в зовнішньому повітрі;

д) рівняння балансу маси інертного газу (азоту):

$$V \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} = G_{\Pi} \cdot x_{N_{2\Pi}} - G_{\Gamma} \cdot n_3 \cdot x_{N_2} \quad (2.7)$$

де x_{N_2} , - середньооб'ємна масова концентрація азоту, $x_{N_{2\Pi}}$ середньооб'ємна масова концентрація азоту в зовнішньому повітрі n_3 - нерівномірність розподілу концентрації азоту в приміщенні;

е) рівняння закону збереження енергії для газового середовища:

$$V \frac{d}{dt} \left(\frac{P_m}{k-1} \right) = \eta \cdot Q_H^P \cdot \psi + c_{p\Pi} \cdot T_{\Pi} \cdot G_{\Pi} - c_{pm} \cdot T_m - Q_s - Q_m \quad (2.8)$$

де k - середньооб'ємний показник адіабати газового середовища приміщення, - нижча робоча теплота згорання горючого матеріалу; $c_{p\Pi}$, c_{pm} - питомі ізобарні теплоємності повітря і газового середовища відповідно; T_{Π} , T_m - температура зовнішнього повітря і середньооб'ємна температура, Q_s - сумарний тепловий потік в огорожувальні конструкції, Q_m - тепловий потік, що випромінюється через отвір;

ж) рівняння зв'язку:

$$P_m = \rho_m \cdot R_m \cdot T_m \quad (2.9)$$

де P_m - середньооб'ємний тиск в приміщенні, R_m - середня газова стала.

Наведена модель (2.3) - (2.9) достовірно описує параметри газообміну під час пожежі в приміщенні з геометрією, що має хоча б одну вісь симетрії. Під геометрією розуміють розміри і взаємне положення огорожуючих конструкцій приміщення, пожежного навантаження і відкритих прорізів. Вважається, що

геометричне положення пожежного навантаження в приміщенні не впливає на параметри тепломасообміну через відкриті прорізи з навколишнім середовищем і тепловідведення в огорожувальні конструкції. Спостереження реальних пожеж та теоретичні дослідження [32] показують, це припущення справедливо при знаходженні горючого матеріалу в так званій зоні взаємної «нечутливості» отвору. Ця зона характеризується тим, що при знаходженні пожежного навантаження в будь-якій її частині параметри тепломасообміну практично однакові, що в повній мірі відноситься до закритих пожеж [29].

Координати вектора стехометричних коефіцієнтів $\vec{L} = (L_{O_2}, L_{CO}, L_{CO_2})$, розглянутого в розділі 2.1, виразимо з рівнянь (2.3) - (2.6):

$$\vec{L} = \begin{pmatrix} L_{O_2} \\ L_{CO} \\ L_{CO_2} \end{pmatrix} = \frac{1}{\eta\psi} \cdot \begin{pmatrix} G_{\Pi}x_{O_2\Pi} - G_{\Gamma}n_1x_{O_2} - V \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} \\ V \frac{d(\rho_m x_{CO})}{dt} + G_{\Gamma}n_2x_{CO} - G_{\Pi}x_{CO\Pi} \\ V \frac{d(\rho_m x_{CO_2})}{dt} + G_{\Gamma}n_2x_{CO_2} - G_{\Pi}x_{CO_2\Pi} \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

З отриманого виразу (2.10) видно, що для знаходження вектора \vec{L} необхідно визначити (виміряти) значення середньооб'ємних концентрацій газів CO, CO₂, O₂, N₂, щільність газового середовища в приміщенні ρ_m і за знайденими оцінками обчислити середньооб'ємні масові витрати G_{Π} та G_{Γ} швидкість газифікації ψ , тобто вирішити зворотне завдання динаміки пожежі: за відомим зміні вектора вихідних змінних ($\rho_m, x_{O_2}, x_{CO}, x_{CO_2}, x_{N_2}, P_m, T_m$) визначити вектор вхідних ($G_{\Pi}, G_{\Gamma}, \psi$) (Рис.2.5).

Значення середньооб'ємних концентрацій газів, що входять в (2.10), можна знайти з виразу (2.11), що описує вертикальний профіль розподілу концентрацій газів:

$$x_i = x_{0i} + \frac{x_{zi} - x_{0i}}{Z} \quad (2.11)$$

$$Z = \frac{y}{H} \cdot e^{1,4\frac{y}{H}}$$

де x_{0i}, x_i - середньооб'ємні концентрації i -го газу (CO, CO₂, O₂, N₂) в приміщенні до пожежі і при пожежі відповідно, x_{zi} - середньооб'ємна

концентрація i -го газу на висоті y в приміщенні під час пожежі, Z – безрозмірний параметр нерівномірності розподілу небезпечних факторів пожежі по висоті приміщення, H – висота приміщення.

Розглянемо спосіб визначення середньооб'ємної щільності газового середовища в приміщенні за допомогою мобільного робота. У монографії [3] обговорювалося питання вимірювання середньооб'ємного надлишкового тиску в приміщенні і знаходження оцінки координати площини рівних тисків. Для цього диференціальними манометрами в дверному отворі на різних висотах вимірювалася різниця тисків зовні і всередині приміщення. За результатами вимірювань для кожного фіксованого моменту часу будувався графік залежності надлишкового тиску $\Delta P = P_{вн} - P_{зовн}$ від координати y (рисунок 2.6).

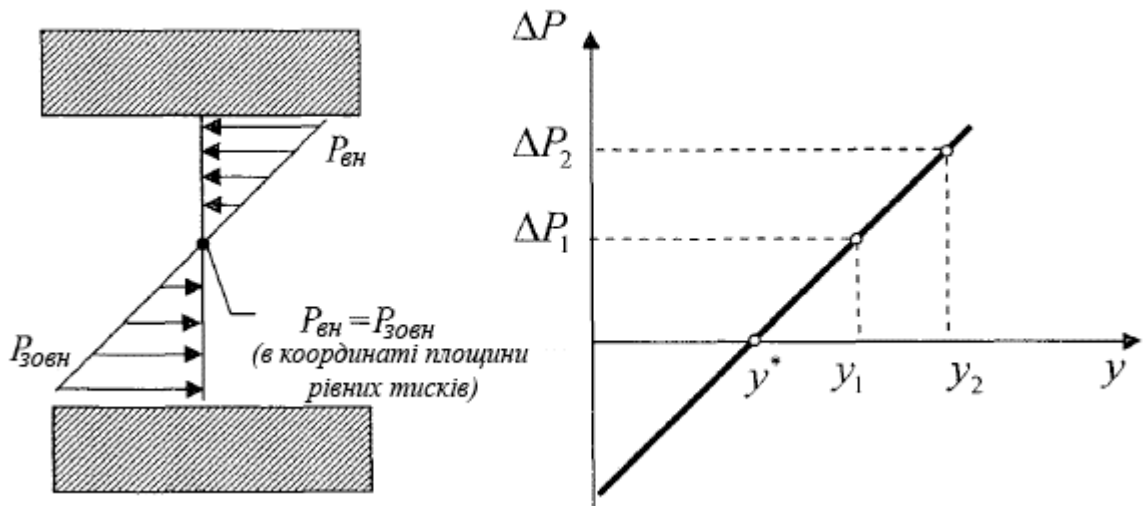


Рисунок 2.6 Залежність надлишкового тиску ΔP від координати y , відлічуваної від рівня підлоги

При побудові графіка використовувалася лінійна інтерполяція, так як розподіл тисків по вертикалі внутрішньо та ззовні приміщення подібний до лінійного. Тоді,

$$\Delta P_m = P_m - P_a = \frac{1}{H} \int_0^H \Delta P(y) dy$$

Координата площини рівних тисків може бути обчислена за формулою (2.12):

$$y^* = \frac{H}{2} - \frac{P_m - P_a}{g(\rho_a - \rho_m)} \quad (2.12)$$

Також її легко визначити з залежності $\Delta P = f(y)$, прийнявши $\Delta P = 0$. Звиразу (2.12) випливає, що середньооб'ємна щільність газового середовища під час пожежі в приміщенні визначається наступним виразом:

$$\rho_m = \rho_a + \frac{\Delta P_m}{g \left(y^* - \frac{H}{2} \right)} \quad (2.13)$$

Обчислення значень G_{Π} , G_{Γ} , і ψ пов'язане з певними труднощами: безпосередньо контролювати масові витрати G_{Π} та G_{Γ} важко - для цього необхідно знати кількість всіх прорізів приміщення, їх стан (відкриті або закриті) і взаємне розташування відносно рівня підлоги. пряме вимірювання швидкості газифікації ψ у принципі неможливо. до того ж не завжди є досить докладна апіорна інформація про об'єкт пожежогасіння.

Для розв'язання оберненої задачі динаміки пожежі необхідно накласти додаткову зв'язок на входні змінні G_{Π} , G_{Γ} , і ψ . У якості такого зв'язку автором пропонується використовувати зв'язок $\psi(x_{O_2})$ разом з $G_{\Pi}(\rho_m, P_m)$ (блок «Режим горіння», Рис. 2.5). Швидкість горіння $\psi(x_{O_2})$ в залежності відконцентрації кисню визначається двома граничними режимами в приміщенні [18]:

- пожежею, регульованою навантаженням;
- пожежею, регульованою вентиляцією.

У першому випадку концентрація кисню близька до її значення в зовнішньому повітрі і умови реакції відповідають горінню на відкритому повітрі. При другому режимі концентрація кисню є зниженою, швидкість реакції лімітується швидкістю вступу кисню всередину приміщення із зовнішнім повітрям. При реальній пожежі спостерігається перехід граничних режимів один в одного через проміжні стадії. Формула для розрахунку повноти згоряння на цих стадіях приведена в роботі [6]:

$$\eta = \eta_0 K + \frac{x_{O_2 B} G_{\Pi}}{L_{O_2} \psi} (1 - K) \quad (2.14)$$

де η_0 - повнота згоряння на відкритому повітрі; K - функція, що характеризує режим пожежі.

В роботі [33] детально аналізується вид функції K . Авторами роботи запропоновано наступний її вид:

$$\begin{cases} K = 1, \text{ при } z \geq 1 \\ K = z^B e^{B(1-z)}, \text{ при } 0 \leq z \leq 1 \\ K = 0, \text{ при } z < 0 \end{cases}$$

$$\text{де } z = \frac{x_{O_2} - x^{**}}{x^* - x^{**}}, B = \left(\frac{x_a}{x_a - 0,12} \right)^2$$

Графічний вид функції K представлений на рисунку 2.7.

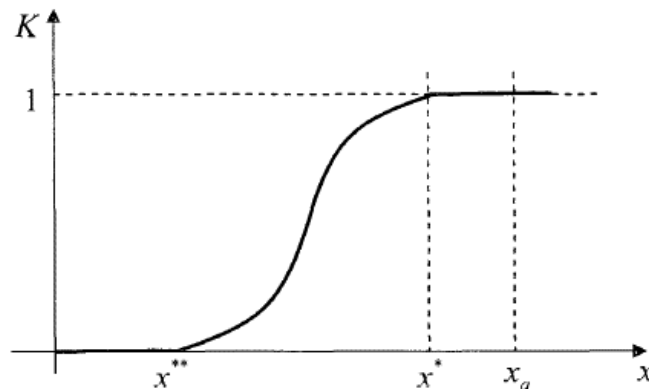


Рис. 2.7 Функція режиму пожежі

Посилаючись на роботу [33], автори вважають, що $\ddot{x} = 0$, $\dot{x} = 0,9x_a$, $B=2$, $x_a = 0,23$ - вміст кисню в атмосфері. З іншої сторони, в роботі [68] для визначення кількості згорання пожежного навантаження отримана експериментальна залежність, справедлива для діапазона середньооб'ємних концентрацій кисню від 0,105 до 0,23 [5]:

$$\eta = 0,63 + 0,2x_{O_2} + 1500x_{O_2}^6 \quad (2.15)$$

Побудуємо два графіка (рисунок 2.8): $f_2 = \eta(x_{O_2})$ - експериментальна характеристика (графік 2) по (2.15) і $f_1 = \eta_0 \cdot K$ - перше з доданків у правій частині (графік 1) по (2.14). Як видно з графіка, по-перше, $\eta_0 \cdot K > \eta$ в діапазоні концентрації кисню $x_{O_2} \in [0,105; 0,23]$, що суперечить залежності (2.14), з огляду на, що всі складові позитивні.

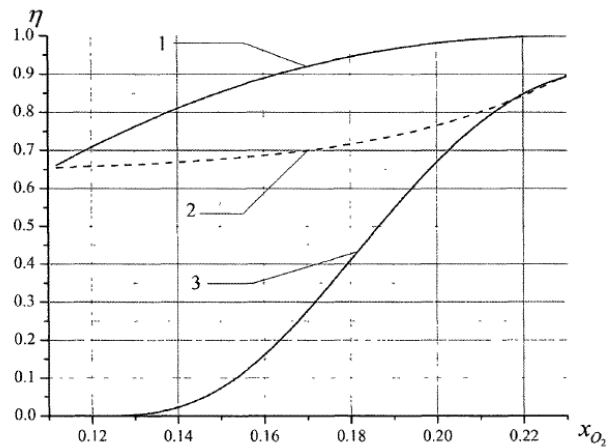


Рисунок 2.8 Залежність повноти згорання від концентрації кисню (1 - доданок $\eta_0 \cdot K$ з (2.14); 2 - експериментальна характеристика (2.15), 3 - уточнений вигляд залежності $\eta_0 \cdot K$

По-друге, при концентрації кисню нижче 10% горіння припиняється, а з побудованої залежності видно, що при цьому значенні режим пожежі все ще відповідає режиму пожежі, регульованою вентиляцією. Тому для коректного опису повноти згорання функція K повинна мати вигляд (2.16). Для цього випадку автором отримано уточнений вид залежності $f_3 = \eta_0 \cdot K$ (графік 3), зображений на рисунку 2.7, де:

$$K(x_{O_2}) = \left(\frac{x_{O_2} - 0,117}{0,9 \cdot x_{O_2B} - 0,082} \right)^C \cdot \exp \left[C \left(1 - \frac{x_{O_2} - 0,117}{0,9 \cdot x_{O_2B} - 0,082} \right) \right]$$

$$C = \left(\frac{x_{O_2B}}{x_{O_2B} - 0,12} \right)^2, \text{ при } x_{O_2} \leq 0,216 \quad (2.16)$$

$$K(x_{O_2}) = \frac{1}{\eta_0} (44,048 \cdot x_{O_2}^2 - 13,958 \cdot x_{O_2} + 1,7777)$$

при $x_{O_2} \in (0,216; 0,23]$

Визначивши вид функції пожежі $K(x_{O_2})$ перейдемо до безпосереднього розв'язання оберненої задачі динаміки небезпечних факторів пожежі.

Виразимо ψL_{O_2} з (2.14) і домножимо обидві частини рівності на η :

$$\eta\psi L_{O_2} = \frac{\eta(\eta - \eta_0 K)}{x_{O_2B} G_B (1 - K)}$$

Підставимо отриманий вираз в рівняння (2.4):

$$V \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} = x_{O_2B} \cdot G_B - x_{O_2} \cdot n_1 \cdot G_\Gamma - \frac{\eta(\eta - \eta_0 K)}{x_{O_2B} \cdot G_B \cdot (1 - K)} \quad (2.17)$$

Домножимо ліву і праву частини (2.17) на G_Π :

$$x_{O_2B} \cdot G_\Pi^2 - x_{O_2} \cdot n_1 \cdot G_\Pi \cdot G_\Gamma - \frac{\eta(\eta - \eta_0 K)}{x_{O_2\Pi} (1 - K)} - V \cdot G_\Pi \cdot \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} = 0 \quad (2.18)$$

З рівняння (2.7) виразимо змінну G_Γ .

$$G_\Gamma = \frac{x_{N_2B} \cdot G_B}{n_3 \cdot x_{N_2}} - \frac{V}{n_3 \cdot x_{N_2}} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} \quad (2.19)$$

Підставимо (2.19) в (2.18), в результаті отримаємо квадратне рівняння (2.20):

$$G_\Pi^2 \left(x_{O_2B} - \frac{x_{O_2} \cdot n_1 \cdot x_{N_2\Pi}}{n_3 \cdot x_{N_2}} \right) - G_\Pi \cdot V \cdot \left(\frac{x_{O_2} \cdot n_1}{x_{N_2} \cdot n_3} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} + \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} \right) - \frac{\eta(\eta - \eta_0 K)}{x_{O_2\Pi} (1 - K)} = 0 \quad (2.20)$$

Визначимо величину ψ рівняння (2.3), замінивши G_Γ виразом (2.19):

$$\begin{aligned} \psi &= V \frac{d\rho_m}{dt} + G_\Gamma - G_\Pi \\ \psi &= V \frac{d\rho_m}{dt} + \frac{x_{N_2\Pi} \cdot G_{B\Pi}}{n_3 \cdot x_{N_2}} - \frac{V}{n_3 \cdot x_{N_2}} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} - G_\Pi \\ \psi &= V \left(\frac{d\rho_m}{dt} - \frac{1}{n_3 \cdot x_{N_2}} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} \right) + \left(\frac{x_{N_2\Pi}}{n_3 \cdot x_{N_2}} - 1 \right) \cdot G_\Pi \end{aligned} \quad (2.21)$$

Об'єднуючи рівняння (2.19) - (2.21), запишемо розв'язання оберненої задачі динаміки пожежі (G_Π , G_Γ , ψ).

$$\begin{cases} G_\Pi^2 = \left(x_{O_2\Pi} - \frac{x_{O_2} n_1 x_{N_2\Pi}}{n_3 x_{N_2}} \right) - G_\Pi \cdot V \left(\frac{x_{O_2} n_1}{x_{N_2} n_3} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} + \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} \right) - \frac{\eta \cdot (\eta - \eta_0 K)}{x_{O_2\Pi} \cdot (1 - K)} = 0 \\ G_\Gamma = \frac{1}{n_3 x_{N_2}} \cdot \left(x_{N_2B} G_\Pi - V \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} \right) \\ \psi = V \left(\frac{d\rho_m}{dt} - \frac{1}{n_3 x_{N_2}} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} \right) + \left(\frac{x_{N_2\Pi}}{n_3 x_{N_2}} - 1 \right) \cdot G_\Pi \end{cases} \quad (2.22)$$

Проаналізуємо рішення (2.22) з метою визначення області існування допустимих рішень. Для цього введемо в рівняння (2.20) наступні позначення: $G_{II} = g$, $x_{O_{2II}} - \frac{x_{O_2} \cdot n_1 \cdot x_{N_{2II}}}{n_3 \cdot x_{N_2}} = a$, $V \left(\frac{x_{O_2} n_1}{x_{N_2} n_3} \cdot \frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} + \frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} \right) = b$, $\frac{\eta \cdot (\eta - \eta_0 K)}{x_{O_{2II}} \cdot (1 - K)} = c$.

Тоді рівняння (2.20) набуває вигляду $ag^2 - bg - c = 0$. Досліджуючи режим розвитку пожежі, тобто $\frac{d(\rho_m x_{N_2})}{dt} < 0$ (зменшення масової частки азоту) і $\frac{d(\rho_m x_{O_2})}{dt} < 0$ (зменшення масової частки кисню). Відомо, що $n_1 \leq 1$, $n_3 \approx 1$. Відповідно $\frac{n_1}{n_3} \leq 1$. Неважко відмітити, що коли виконується умова $\frac{x_{O_2} \cdot n_1 \cdot x_{N_{2II}}}{n_3 \cdot x_{N_2}} \leq x_{O_{2II}}$, і коефіцієнт a завжди позитивний при $x_{O_2} < 0,23$. При $x_{O_2} = x_a = 0,23$ рівняння перетворюється в тотожність при будь-якому G_{II} , що відповідає статичному режиму, тобто відсутності пожежі. З (2.14) виходить, що $\eta - \eta_0 \cdot K > 0$, а так як $\eta \in [0; 1]$, то $c > 0$ і рівняння (2.20) набуває вигляду: $ag^2 + bg - c = 0$ і має корені: $g_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$.

З отриманого рівняння видно, що $\forall (a > 0, b > 0, c > 0) \exists g > 0$, а саме $g^* = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$ як рішення рівняння (2.20), що задовольняє умові $g > 0$.

У режимі стабілізації пожежі (III фаза пожежі, рис. 1.1) рівняння (2.20) набуде вигляду $ag^2 - c = 0$, що має корінь $g^* = \sqrt{\frac{c}{a}}$. У фазі гасіння пожежі (IV фаза пожежі, Рис. 1.1) рівняння (2.19) набуває вигляду $ag^2 + bg - c = 0$, що має корінь $g^* = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$.

Таким чином, можна зробити висновок, що для пожежі в будь-який його стадії розвитку існує рішення оберненої задачі динаміки пожежі, виключаючи момент початку пожежу. Для визначення координат шуканого вектора \vec{L}^* отримані оцінки G_{II} , G_I і ψ (2.22) підставляються в (2.10). Загальна блок-схема алгоритму визначення класу пожежі, яка пояснює етапи моніторингу пожежі, приведена на рисунку 2.9.

Перерахуємо переваги отриманого рішення: можливість проведення експрес-аналізу пожежі (оцінка швидкості горіння, витрат впадає й покидає приміщення пожежі повітря, оцінка виду палаючої речовини і, відповідно, класу пожежі); мала кількість апріорної інформації про приміщення пожежі, немає необхідності знати кількість отворів, через які проходить газообмін з суміжними приміщеннями та навколишнім середовищем, їх стан (відкриті або закриті), габарити і взаємне розташування.

Зазначимо наявні недоліки рішення: необхідність застосування операції наближеного диференціювання при знаходженні оцінок $G_{П}$, $G_{Г}$, і ψ ; похибка оцінки \vec{L}^* , пов'язана з необхідністю знання вільного об'єму моніторингового приміщення; непряме вимірювання координати площини рівних тисків і середньооб'ємної щільності газоповітряного середовища.

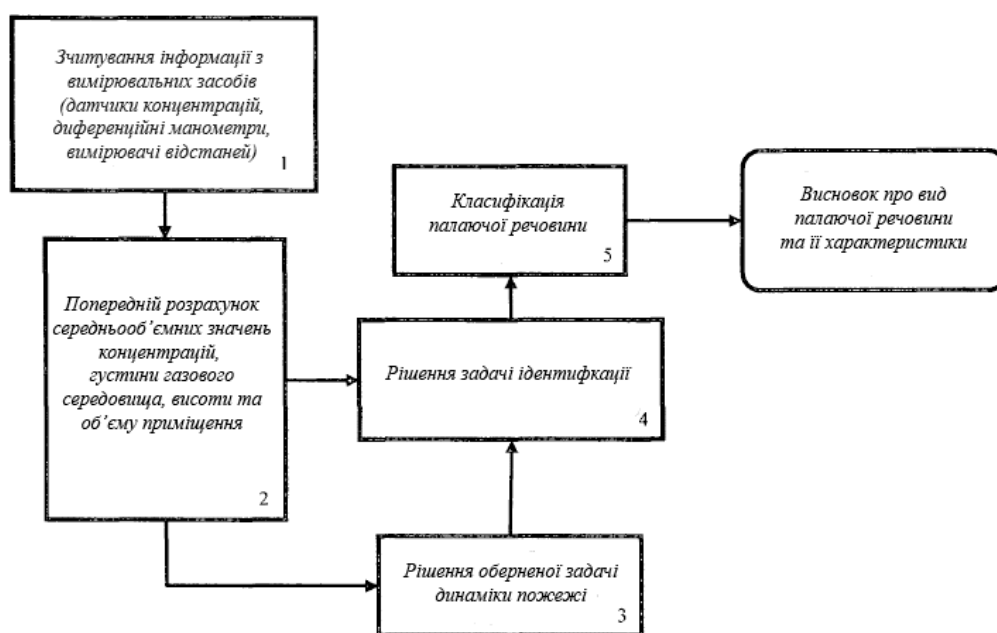


Рисунок 2.9 Блок-схема алгоритму визначення класу пожежі

2.3 Моніторинг закритої пожежі із застосуванням мобільної пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

Моніторинг пожежі, в своїй більшості, проходить в групі пов'язаних між собою приміщень (рисунок 2.10а), при цьому, як зазначалося раніше, завданням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи є пошук вогнища загоряння і його оцінка.

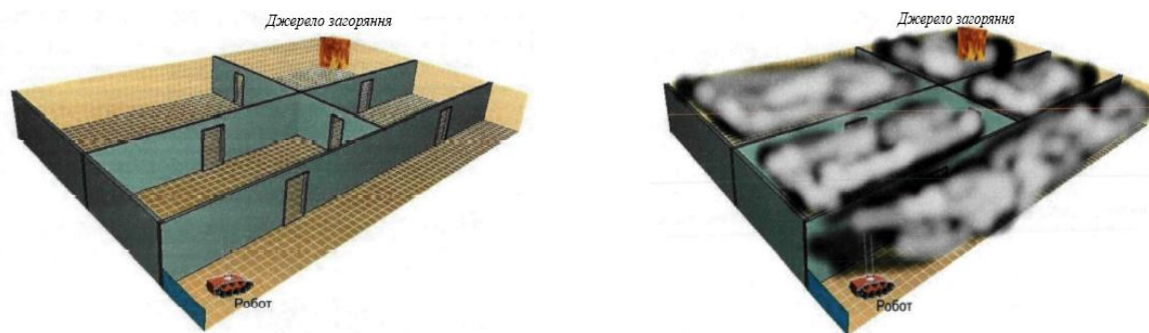


Рисунок 2.10 Завдання моніторингу пожежі з використанням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

Пошук отвору палаючого приміщення, через який газоповітряна суміш і дим залишають його, відбувається, як правило, при сильному задимленні (рисунок 2.10б). Також, часто, пожежній моніторинговій мікропроцесорній системі не вдається близько підійти до знайденого вогнища для його візуальної оцінки через сильний вплив променистого (радіаційного) теплообміну вогнища, тому при проведенні моніторингу пропонується використовувати розглянутий в розділі 2.2 інструментальний метод визначення класу пожежі та його основних характеристик.

Для його практичного використання при веденні моніторингу, як це слід зі способу визначення середньооб'ємної щільності газового середовища в приміщенні, пожежна моніторингова мікропроцесорна система повинна розташовуватися в прорізі, через який продукти горіння залишають приміщення (рисунок 2.11), поза зоною впливу на неї променистого теплообміну вогнища загоряння.

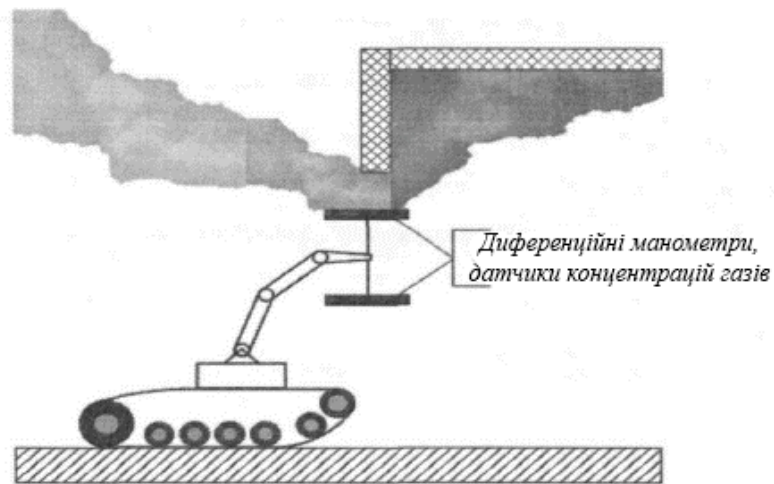


Рисунок 2.11 Ведення моніторингу пожежі за допомогою пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

Отже, завдання переміщення моніторингового робота повинна складатися в пошуку цього отвору і в розташуванні сенсорів (вимірювального комплексу), які утримуються, наприклад, маніпулятором робота відповідно до рисунком 2.11. Координати сенсорів щодо рівня підлоги, необхідні для визначення середньооб'ємних концентрацій небезпечних факторів пожежі, в цьому випадку можна визначати за координатами схвата маніпулятора.

Для ведення моніторингу пропонується оснастити пожежну моніторингову мікропроцесорну систему наступним вимірювальним обладнанням: двома диференціальними манометрами для вимірювання перепаду тиску в двох точках отвору, що розрізняються по висоті, сенсорами концентрацій O_2 , CO , CO_2 і водяної пари.

Концентрацію азоту можна визначати за формулою $x_{N_2} = 1 - (x_{O_2} + x_{CO} + x_{CO_2} + x_{H_2O})$, де x_{H_2O} - концентрація водяної пари, беручи до уваги той факт, що середньооб'ємні концентрації інших газів, що виділяються при горінні, на порядок менше зазначених компонентів.

У типових випадках в розквіті 0,5 м від рівня підлоги видимість становить не більше 2-х м [12]. У цих умовах система технічного зору, якої нині штатно оснащується пожежна моніторингова мікропроцесорна система, стає малоефективною при здійсненні просування робота до осередку пожежі в

системі суміжних приміщень через дверні прорізи. У зв'язку із цим потрібна розробка методу навігації, заснованого на аналізі супутніх пожежі факторів зовнішнього середовища, який би дозволив здійснювати пересування мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою до вогнища спалаху в умовах сильного задимлення. В якості таких чинників виступають: температурні поля, поля концентрацій продуктів горіння CO , CO_2 .

Розглянемо систему пов'язаних приміщень, яка може бути представлена у вигляді графа [4-6]. Даний підхід пояснений на рисунку 2.12.

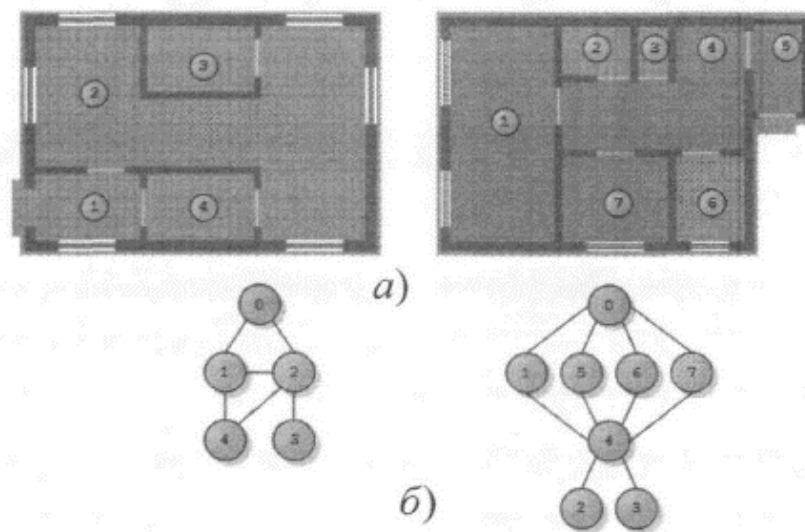


Рисунок 2.12. Планування (а) і граф (б) фрагмента поверху

Вузли моделюють приміщення будівлі, зв'язку - шляху поширення продуктів горіння. Завдання робота полягає в пошуку градієнта полів небезпечних факторів пожежі при переміщенні з приміщення в приміщення через дверні прорізи. Тоді, рух робота можна представити у вигляді деякої опорної траєкторії (рисунок 2.13), заданої проміжними (опорними) точками руху (дверними отворами, поворотами коридорів і т.д.).

У загальному випадку в одному приміщенні може бути кілька отворів, через які продукти горіння надходять в нього. Тоді, в приміщенні, що має перепони (перегородки або інші перешкоди на шляхах руху диму), температурне поле будується з урахуванням впливу цих перешкод, що виражається у відмінностях температури до них і за ними [12].

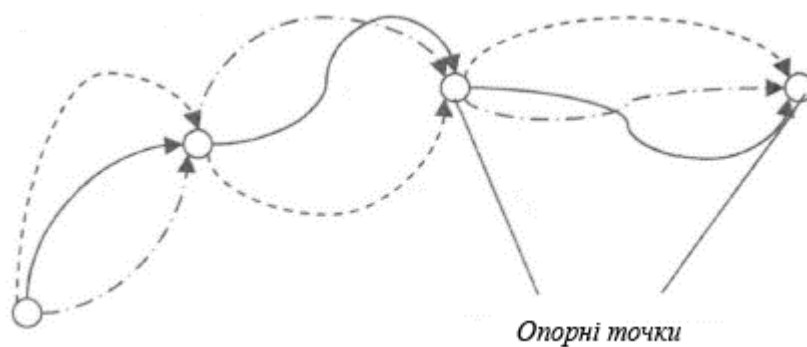


Рисунок .2.13 Сімейство опорних траєкторій руху робота

Розмір площі отвору в перешкоді для проходження диму забезпечує пропорційна йому кількість проходячого диму і переносного їм тепла. При рівній віддаленості двох точок простору на висоті 1,6 м від вогнища температура диму буде більше в тієї точки, де при інших рівних умовах на шляху руху диму площа прорізів більше. Тому слід вибирати той напрямок, де проходить основна кількість димових газів, а значить і найбільш вірний шлях до осередку пожежі [12]. Іншими словами, рух робота має будуватися по траєкторії, яка визначається градієнтом скалярного поля температур або концентрацій продуктів горіння (лінії найменшого гідравлічного опору). На рисунку 2.14 представлені результати моделювання температурних полів у групі суміжних приміщень час горіння етанолу, проведеного автором в пакеті PyroSim з використанням польової моделі динаміки пожежі в рівняннях Нав'є-Стокса. Рис. 2.14 підтверджує гіпотезу, що температура диму буде найбільше в тій точці, де за інших рівних умов на шляху руху диму площа прорізів більше.

З рисунка 2.14 видно, що в різні моменти часу розвитку пожежі існує градієнт температури в області стелі в кожному з приміщень. При цьому кожен дверний отвір (опорна точка) виступає джерелом осесиметричного температурного поля. У роботах [26; 27; 32; 33; 37] зарубіжними дослідниками Д. Мартінез, Т. Лохматтером, Г. Ковальдо, Ю. Ченом і іншими розглядалася задача навігації робота в осесиметричному полі при пошуку джерела газу в приміщенні в разі його дифузійного поширення. Ними пропонувалися різні алгоритми - градієнтні, безградієнтні, випадкового пошуку, що

інтерпретуються в рамках біонічного підходу. Підходу, при якому ідея і основні елементи пристрою запозичуються з живої природи. Як приклад автори вказують алгоритми пошуку джерела запахів, які використовуються метеликами, лангустами і деякими видами риб.

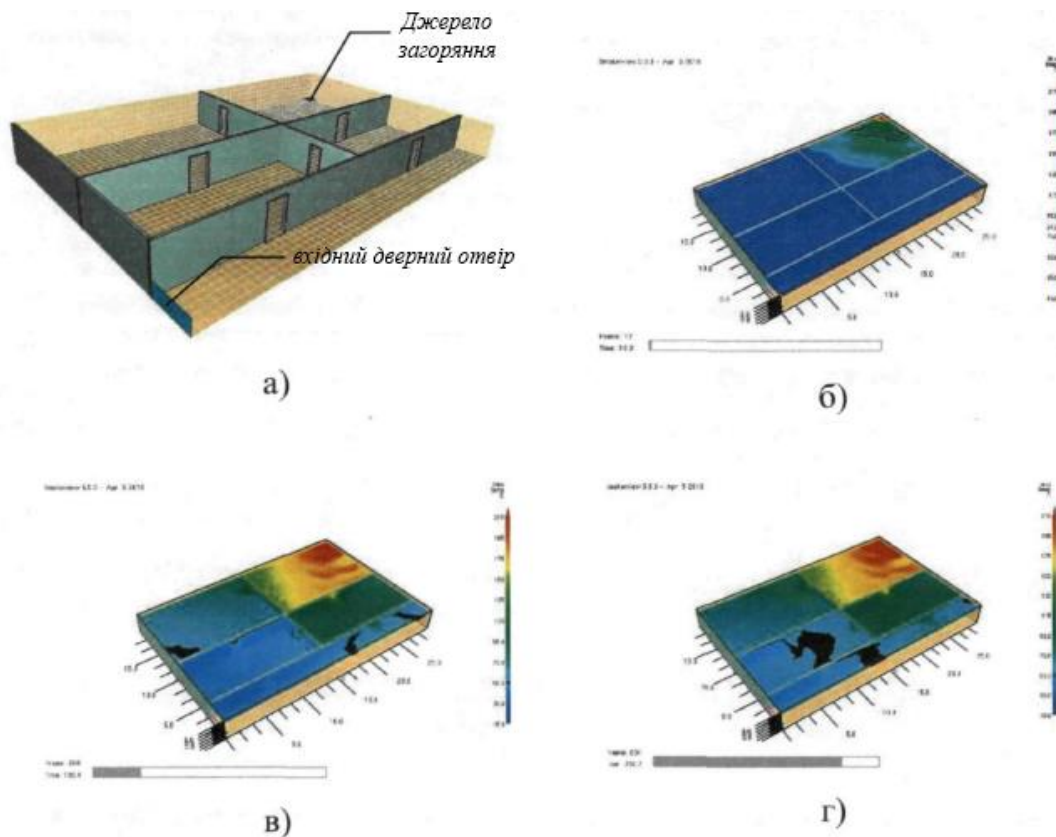


Рисунок 2.14. Температурні поля в системі пов'язаних приміщень (а - система пов'язаних приміщень, б - температурне поле через 11 з після початку пожежі (висота 2,5 м від рівня поля, ізотерма 84°C), в - температурне поле через 185 з після початку пожежі (висота 2,5 м від рівня підлоги, ізотерма 55°C), г - температурне поле через 750 с після початку пожежі (висота 2,5 м від рівня підлоги, ізотерма 55°C))

Відзначимо, що поняття «дифузія» може використовуватися в узагальненому значенні, включаючи не лише дифузію хімічних компонентів, викликану градієнтами концентрації, а й тепловий потік. При цьому конвективний член $\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \Phi)$, включений у рівняння Нав'є-Стокса,

безпосередньо пов'язаний з дифузійним $\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right)$, та їх розглядають як ціле [9]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S$$

де ρ - щільність середовища; Φ - узагальнена змінна, в даному випадку температура; i_j - поле швидкості течії; j - приймає значення 1,2,3 відповідно до трьох просторовими координатами; Γ - коефіцієнт дифузії; S - додатковий член.

Також слід взяти до уваги гіпотезу про подібність полів температур і концентрацій [25] і осесиметричних полів температур (рисунок 2.15), що дозволяє використовувати ряд результатів роботи [10], що стосуються зв'язування характеристик полів джерела з законом зміни кутової швидкості робота, для отримання закону навігації робота в умовах пожежі. Особливістю завдання навігації робота є те, що опорна точка через задимлення візуально не спостерігається (але має для даного приміщення максимум температури). Нижче буде показано, що закон зміни кутової швидкості робота ідентичний методу пропорційного наведення.

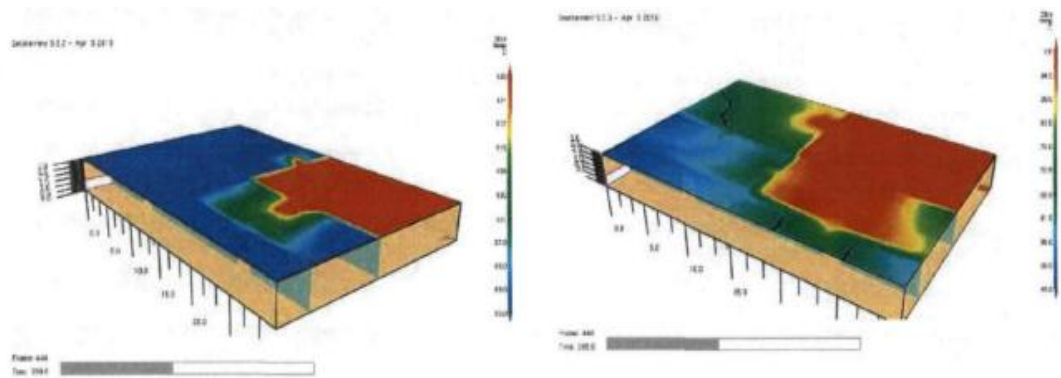


Рисунок 2.15. Осесиметричні поля температур при пожежі

Введемо позначення:

$T_l(t)$ - температура по лівому борту робота на висоті $h_{зМ}(K)$;

$T_r(t)$ - температура по правому борту робота на висоті $h_{зМ}(K)$.

$T_l(t)$ і $T_r(t)$ залежать від радіус-вектора $\vec{r}(t)$ і поточного значення кута повороту робота $\theta(t)$ в абсолютній системі координат OXY (рисунок 2.16).

Значення температур по бортах шасі робота можна записати як $T_{l/r}(t) = T_{l/r}(\vec{r}_{l/r}(t), t)$, де $\vec{r}_{l/r}(t) = \vec{r} \pm u\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{b}{2}$, тобто $\vec{r}_l(t) = \vec{r} + u\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{b}{2}$, $\vec{r}_r(t) = \vec{r} - u\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{b}{2}$, де $u(x)$ – орт, x, b – ширина колії робота. Для вимірювання температури використовуються два вимірювальні перетворювача: чутливі елементи диференціального каналу першого перетворювача рознесені на ширину b , другий розташований в геометричному центрі A шасі робота.

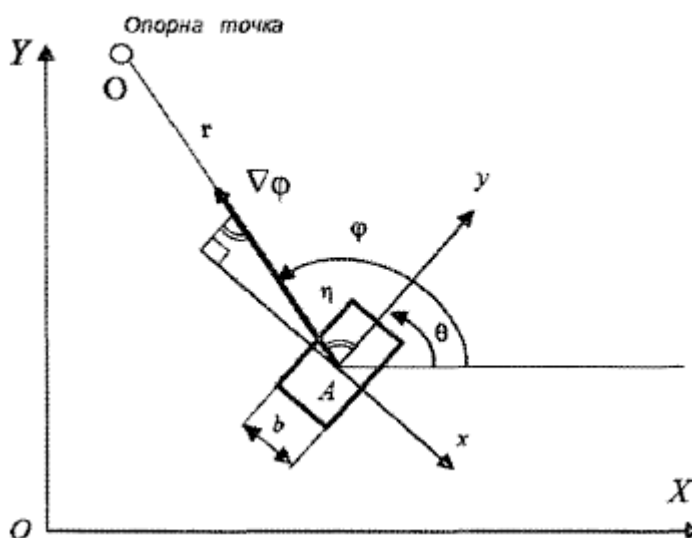


Рисунок 2.16 Наведення робота на опорну точку в разі осесиметричного поля

Нехай, напрямок вектора градієнта температур задано кутом $\varphi(\vec{r}, t)$, тоді згідно з рисунком 2.16 справедливий вираз:

$$\varphi(\vec{r}, t) = \theta(t) + \eta(t) \quad (2.23)$$

де $\eta(t)$ – кут попередження (рад).

Диференціюючи обидві частини рівняння (2.23) за часом, отримаємо наступну оцінку для швидкості зміни кута попередження:

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{d}{dt}(\varphi(\vec{r}, t)) - \frac{d\theta}{dt}$$

$$\text{Чи } \frac{d\eta}{dt} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \cdot \nabla\varphi(\vec{r}(t), t) + \frac{\partial\varphi(\vec{r}(t), t)}{\partial t} - \omega,$$

Що можна записати як $\frac{\partial\eta}{\partial t} = v \cdot \vec{u}(\theta) \cdot \nabla\vec{\varphi} - \omega + \frac{\partial\varphi}{\partial t}$ (2.24)

Де $-\nabla\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x}i + \frac{\partial\varphi}{\partial y}j$ градієнт температури в точці розташування робота в напрямку φ (рад / м), v - швидкість лінійного пересування робота (м/с), ω - кутова швидкість робота (рад / с), $\vec{u}(\theta)$ - орт осі OX .

Вираз (2.24) містить кінематичне рівняння наведення, як окремий випадок для нерухомої цільової точки [3,15]:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = -v \cdot \cos(\varphi - \theta) \\ r \frac{d\varphi}{dt} = v \cdot \sin(\varphi - \theta) \end{cases}$$

$$\text{Відповідно, } \vec{u}(\theta) \cdot \nabla\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \frac{v \cdot \sin \eta}{r}.$$

Доданок $\frac{\partial\varphi}{\partial t}$ будемо розглядати як шумову компоненту, що спричинюється турбулентністю потоку суміші газів, і врахуємо її при моделюванні. Для здійснення повороту для будь-якого η і місця розташування робота щодо опорної точки необхідно щоб довжина хорди BA не перевищувала r (рисунок 2.17).

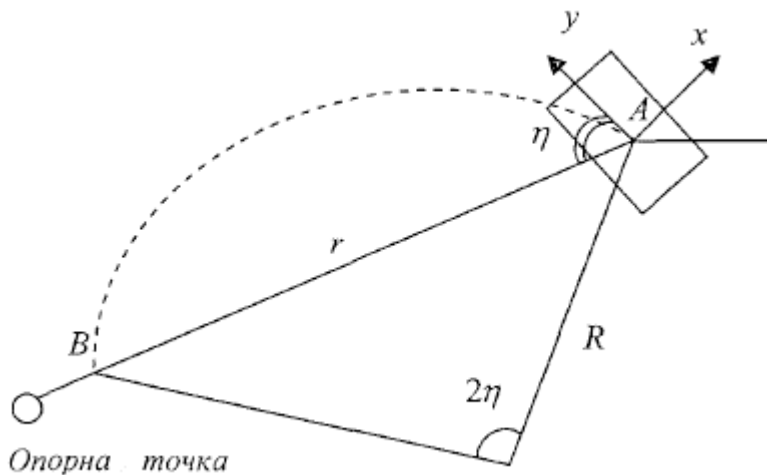


Рисунок 2.17 Умова зближення робота з опорною точкою в осесимметричному полі.

Дана умова є не що інше як накладання кінематичного зв'язку, що визначає метод наведення, в даному випадку - метод пропорційного наведення: кутова швидкість повороту $\dot{\varphi}$ пропорційна швидкості обертання лінії візування $\dot{\varphi}$ (в нашому випадку, швидкість зміни напрямку градієнта). дійсно:

$$|AB| = 2R|\sin \eta|$$

$$r = K \cdot |AB|$$

де K - деякий позитивний коефіцієнт, R - радіус повороту, $R = \frac{v}{\omega}$.

$$\text{Отже } r = 2K \cdot \frac{v}{\omega} \cdot \sin \eta,$$

$$\omega = \frac{2Kv \cdot \sin \eta}{r} \quad (2.25)$$

Чи $\omega = K_H \cdot \varphi$, де $K_H = 2K$ - коефіцієнт пропорційного наведення.

На рисунках 2.18а - 2.18г наведено приклади температурні поля в суміжних приміщеннях в різні моменти часу, змодельовані автором в пакеті PyroSim [34].

В одному з приміщень знаходиться вогнище пожежі, стрілками на рисунку 2.18 зазначено напрям градієнта температури. З наведеного рисунка добре видно осесиметричні поля, з чого слідує

$$\vec{\nabla}\varphi = \left| \frac{dT}{dr}(r) \right| \cdot \vec{u}(\varphi)$$

Коли температури по бортах робота не надто різні, то різниця температур, що фіксується диференціальним каналом вимірювання температур, дорівнює:

$$\Delta T = T_l - T_r \approx -b \cdot \left| \frac{dT}{dr}(r) \right| \sin \eta, \bar{T} = T(\bar{r}) = \frac{T_l + T_r}{2}.$$

В умовах пожежі розподіл температури $T(r)$ в залежності від відстані r , який починається від опорної точки O (Рис. 2.17), визначається законом струменевої течії, яке описується системою рівнянь Навьє-Стокса, у загальному випадку не має аналітичного рішення [4]. Тому для аналітичного опису осесиметричного температурного поля в фіксований момент часу використовувався вираз (2.26), отриманий І.С. Молчадським [24]:

$$T(r) - T_0 = \frac{(T_{o.m} - T_0) \cdot H^{0,62}}{(H + r)^{0,62}} \quad (2.26)$$

де T_0 - температура в координаті початку руху робота, $T_{o.m}$ - температура потоку, що набігає в дверному отворі, H - висота приміщення. З останнього виразу

$$\frac{dT}{dr}(r) = -\frac{0,62}{r+H}(T(r) - T_0) \quad (2.27)$$

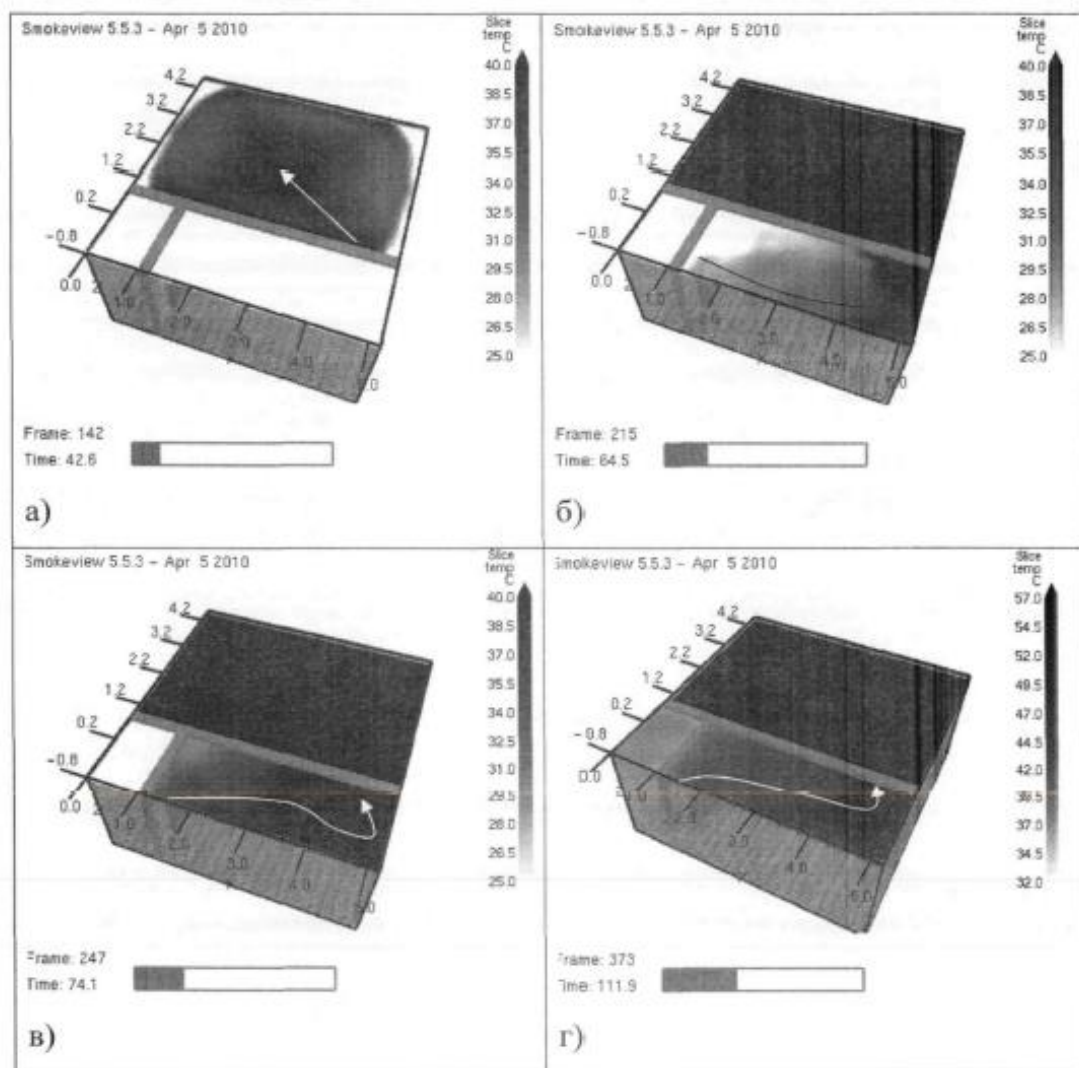


Рисунок 2.18 Поширення поля температур під перекриттям в групі суміжних приміщень: а) через 42 секунди від початку пожежі, б) через 64 секунди, в) через 74 секунди, г) через 111 секунд

Підставляючи отримане вираження (2.27) в (2.25) і враховуючи, що $\frac{dT}{dr} = \frac{1}{v} \cdot$

$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{v} \cdot \dot{T}$ и $\Delta T \approx -b \cdot \left| \frac{dT}{dr}(r) \right| \sin \eta$, отримаємо:

$$\omega = \frac{2K \cdot v^2 \cdot \sin \eta \cdot \left(-\frac{dT}{dr} \right)}{H \cdot \dot{T} + 0,62(T(r) - T_0)} \quad (2.28)$$

Де $\omega = \frac{K_H \cdot v^2 \cdot \Delta T}{b \cdot (0,62 \cdot v \cdot (T(r) - T_0) \cdot v + H \cdot \dot{T})}$ (рад/с) являється оцінкою швидкості повороту

градієнта температури.

Вираз (2.28) є **законом наведення** на опорну точку в умовах розглянутої пожежі і визначає залежність кутової швидкості робота з показників скалярного температурного поля пожежі, що визначаються на основі показань бортових сенсорів температур, розташованих на роботі, наприклад, на телескопічній штанзі.

Відзначимо, що в умовах сильного задимлення (рисунок 2.19 б) опорні точки (отвори) можуть виявитися невидимими для оператора, керуючого роботом, і завдання робота полягає в послідовному виході в райони опорних точок.

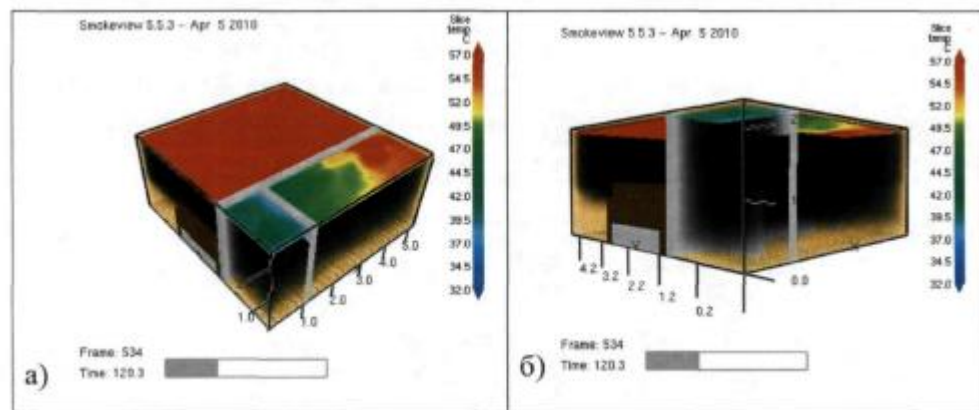


Рисунок 2.19 Задимлення при пожежі: а) температурне поле в зоні стелі, б) задимлення в приміщеннях

Після цього система технічного зору робота або оператор можуть перехоплювати управління і виконувати дії по проїзду через дверні отвори. Вимірювання температур необхідно проводити у просторі, близькому до стелі (рисунок 2.19а), де зберігається область усталеного тепломасопереноса.

Можлива ситуація, коли пожежній моніторинговій мікропроцесорній системі потрібно виходити самостійно в безпечні зони (зони більшого впливу низьких температур), наприклад, в разі аварійної ситуації - при тривалій втраті зв'язку з постом оператора. Важливо відзначити, що метод наведення по градієнту може бути використаний в цьому випадку. Для цього в вираз (2.28)

необхідно підставляти від'ємне значення коефіцієнта наведення K_H , тоді рух робота буде здійснюватися вздовж лінії антиградієнта:

$$\omega = \frac{K_H \cdot v^2 \cdot \Delta T}{b \cdot (0,62 \cdot v \cdot (T(r) - T_0) \cdot v + H \cdot \dot{T})}$$

Так як рух здійснюється в область більш низьких температур, то $(T(r) - T_0)$ і T змінюють знак на протилежний.

На основі розроблених методів вирішення завдань моніторингу закритої пожежі (метод пропорційного наведення, метод оберненої задачі динаміки пожежі, метод нечіткої класифікації виду палаючої речовини) пропонується тактика (методика) моніторингових дій з використанням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, представлена у вигляді блок-схеми на рисунку 2.20. Методика включає в себе:

1) здійснення пошуку отвору палаючого приміщення (з обходом зустрічних перешкод) через який суміш газів залишає його.

2) позиціонування пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в отворі і розміщення в ньому вимірювального обладнання.

3) вимірювання концентрацій CO , CO_2 , O_2 , перепадів тисків у двох точках отвору, і висоти приміщення. Обчислення середньооб'ємних концентрацій, щільності газового середовища за формулами (2.11) і (2.13).

4) Рішення оберненої задачі динаміки (Обчислення оцінки вектора $(G_{П, G_{Г, i} \psi)$ (2.22), ідентифікація вектора стехометричних коефіцієнтів \vec{L}^* (2.10) і класифікація палаючого речовини по вектору \vec{L}^* .

5) передача даних моніторингу оператору.

6) вихід в безпечну зону по команді оператора або в автоматичному режимі.

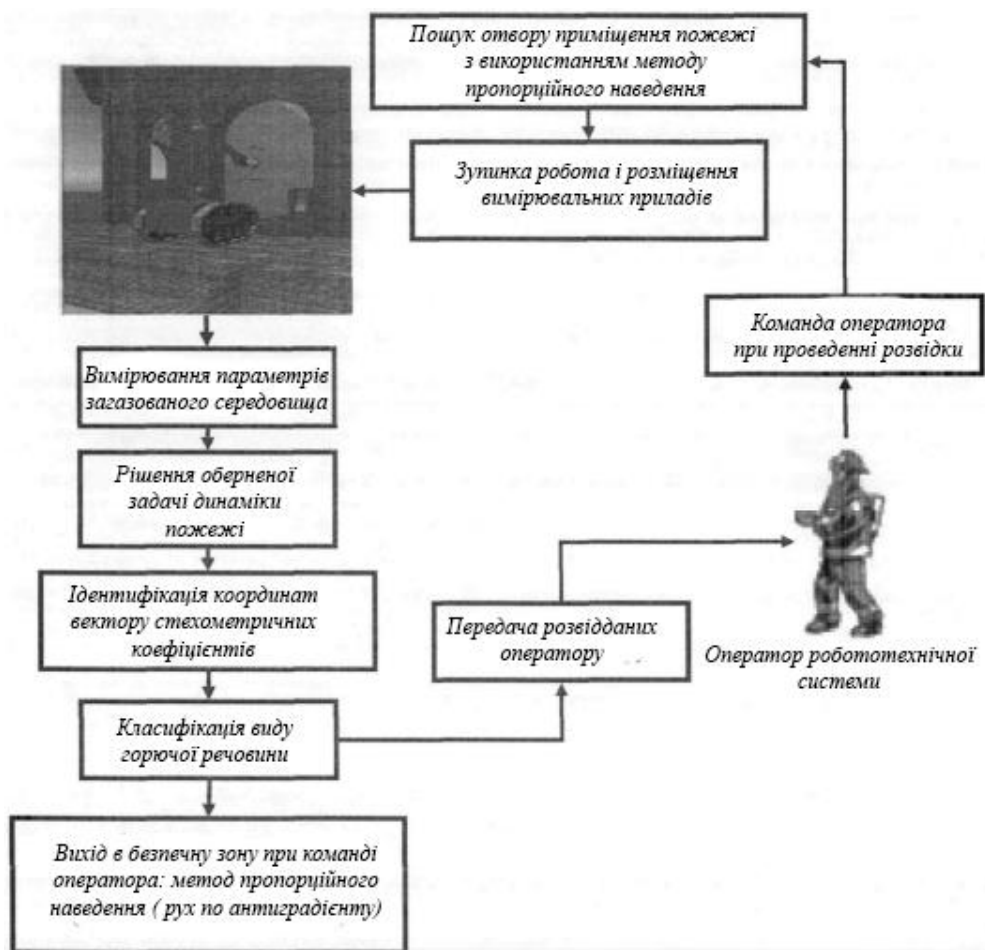


Рисунок 2.20 Блок-схема ведення моніторингу пожежі за допомогою пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮМОНІТОРИНГОВОЮМІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ

3.1 Узагальнена багаторівнева структура підсистеми управління пожежноюмоніторинговоюмікропроцесорною системою

Перейдемо до вирішення другого завдання нашого дослідження: розробці структури багаторівневої підсистеми управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що відповідає вимогам і реалізує запропоновану у другому розділі методику моніторингу, згідно якої процес моніторингу закритої пожежі пропонується розглядати як ряд функціонально пов'язаних етапів.

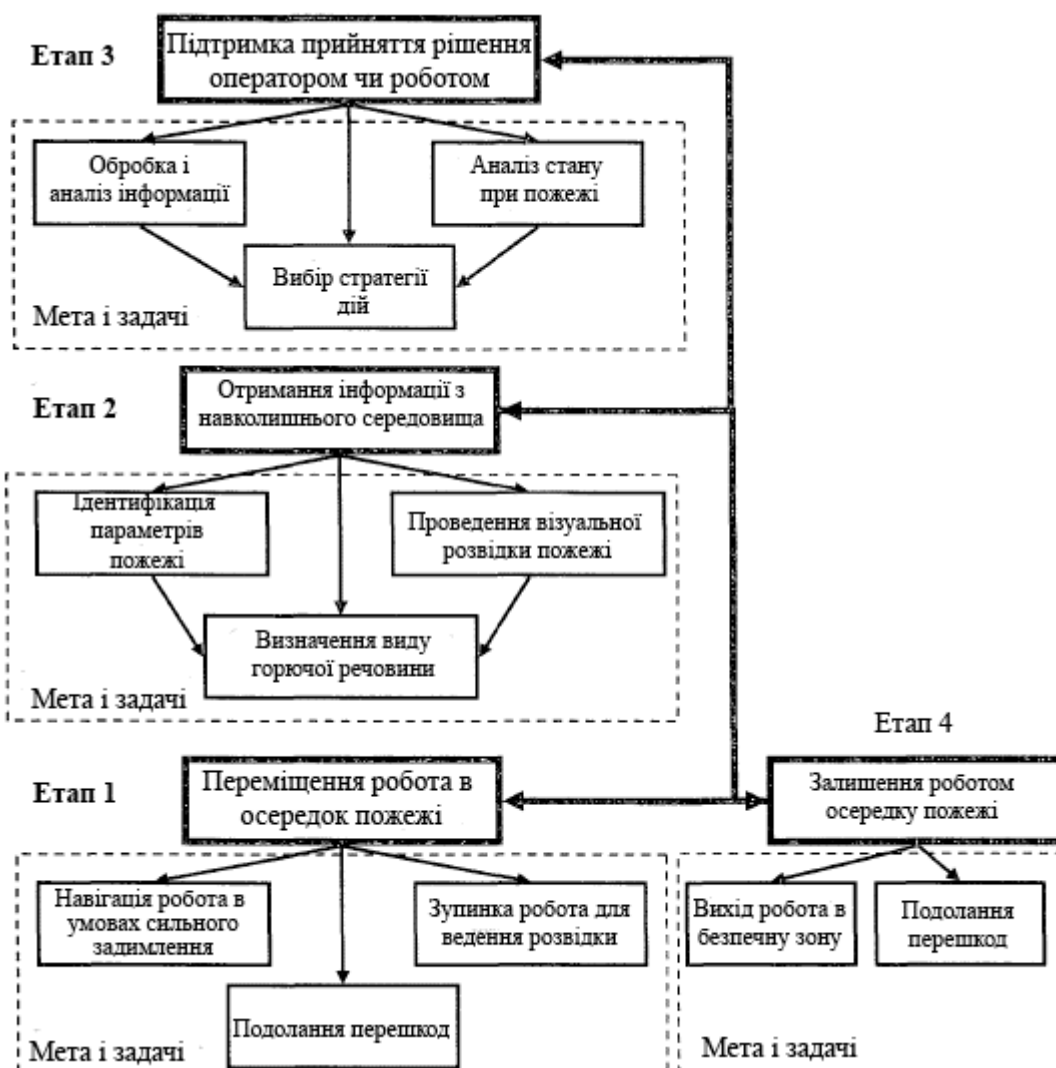


Рисунок 3.1 Структура етапів при веденні моніторингу пожежі

Схема процесу представлена на рисунку 3.1 і включає в себе наступні етапи:

- 1) переміщення робота в зону вогнища загоряння;
- 2) вилучення інформації з навколишнього середовища;
- 3) підтримка прийняття рішення оператора;
- 4) покидання роботом зони вогнища загоряння.

Відповідно до наведеної структури (рисунок 3.1) на кожному етапі формуються цілі і завдання управління, які можуть уточнюватися при введенні нових структурних елементів у міру появи нових і більш досконаlih тактик дії роботизованих підрозділів моніторингу.

Прийнятий вище поділ цілей і завдань передбачає багаторівневу організацію підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою, що володіє розвиненими інтелектуальними здібностями з аналізу і розпізнавання обстановки, формування стратегії поведінки, планування послідовності дій пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, а також синтезу виконавчих законів.

Структура подібної підсистеми управління відповідає ієрархічним принципом побудови і включає стратегічний, тактичний і виконавчий рівні, а також комплекс вимірювально-інформаційних засобів (рис. 3.2) [13]. Робота підсистеми управління здійснюється наступним чином. Інформація про стан зовнішнього середовища від бортової інформаційно-вимірювальної підсистеми по радіоканалу або кабелю зв'язку надходить в блок стратегічного рівня управління. Отримана інформація обробляється в блоці «інтерпретатор» і передається оператору в графічній формі і в формі мовних повідомлень.

Команда (цілевказування) оператора аналізується «інтерпретатором» і пересилається стратегічному рівню (рис. 3.2), що відповідає за планування доцільної поведінки робота і надання допомоги в ухваленні рішення оператору і керівнику гасіння пожежі.

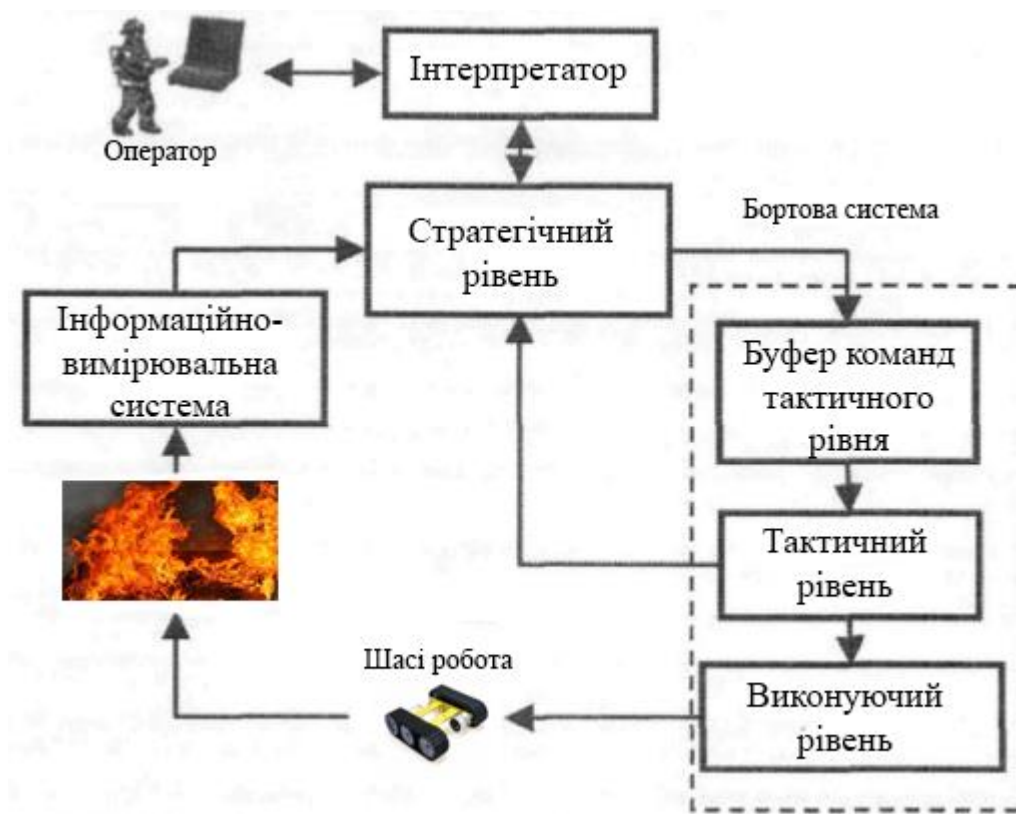


Рисунок 3.2 Структура підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою

Результатом роботи підсистеми стратегічного рівня управління є план (сценарій) дій. Зокрема, послідовність рекомендованих робіт дій надходить в буфер команд тактичного рівня (рисунок 3.2), на якому здійснюється планування траєкторії переміщення робота в середовищі з перешкодами, виявленими інформаційно-сенсорною системою тактичного рівня. Спланована траєкторія відпрацьовується виконуючим (приводним) рівнем.

3.2 Стратегічний рівень підсистеми управління мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою

Управління на стратегічному рівні пропонується реалізувати на основі технології експертних систем реального часу, тобто систем, що працюють зі змінними в часі знаннями і вихідними даними. Це обумовлено тим, що, по-перше, дана технологія надає можливість роботи з явними формами представлення знань, що включають продукційні правила, предикати і

фреймоподібні структури (факти) [15]. По-друге, застосування технології експертних систем для пожежної моніторингової мікропроцесорної системи дозволяє узгодити її систему управління зі сторонніми системами підтримки прийняття рішень керівником гасіння пожежі [16].

На рисунку 3.3 представлена структура стратегічного рівня підсистеми управління, що включає експертну систему знань про процес протікання пожежі, його поточний стан і навігаційні можливості робота.

Заповнення слотів даних, які є однією з форм представлення експертних систем [7], здійснюється за допомогою інформації, що надходить від відповідних інформаційно-вимірювальних систем:

- інформаційно-вимірювальні системимоніторингового обладнання, склад якого розглянуто у другому розділі;
- інформаційно-вимірювальні системистану робота, до складу якої входять сенсори температур, діагностичне обладнання;
- інформаційно-вимірювальні системи навігації робота, що включає, наприклад, систему технічного зору і комплекс дальнометричного обладнання.

Факти, які використовуються в підсистемі знань про процес протікання пожежі, формуються на основі інформації, одержуваної в результаті рішення задач з моніторингу пожежі, за допомогою математичного забезпечення розглянутого у другому розділі.

Логічний висновок в тій чи іншій ситуації, в якій знаходиться пожежна моніторингова мікропроцесорна система, здійснюється машиною логічного висновку, позначеної на рисунку 3.3 блоком «Аналіз ситуації, вироблення стратегії». Результат логічного висновку надходить оператору як відповідь на його запит або на тактичний рівень у вигляді команди. Пропонована архітектура стратегічного рівня є модульною і відкритою, а тому цей рівень при необхідності завжди може бути функціонально розширено.

Питання практичної реалізації експертної системи стратегічного рівня зачіпають важливу проблему взаємодії оператора з підсистемою управління

пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою за допомогою комунікаційної підсистеми - завдання проектування інтерфейсу.

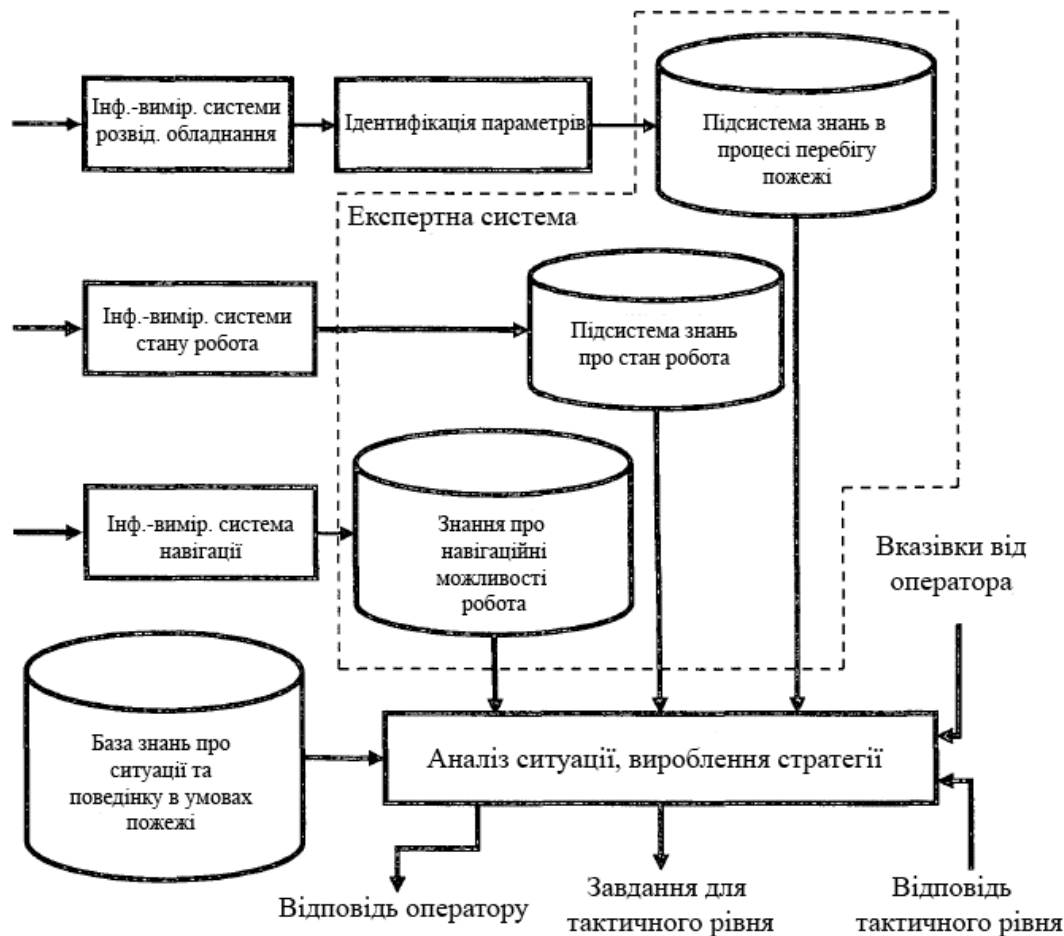


Рисунок 3.3. Структура стратегічного рівня системи управління

Справа в тому, що специфікою завдання моніторингу є екстремальність ситуації, тобто ситуації, пов'язаної з ризиком для життя, що наближає її до класу, так званих, бойових завдань, про що зазначалося в першому розділі. При роботі оператора в подібних умовах від нього вимагається не тільки фіксованих сенсомоторних навичок, але і включення продуктивних (творчих) форм психічної діяльності [2]. При цьому головними факторами, які дезорганізують поведінку, є дефіцит часу на прийняття рішення, а також дефіцит і невизначеність інформації. У зв'язку з цим фахівці зазначають, що в подібних ситуаціях емоційна напруженість виступає в своїй негативній якості тільки за однієї умови, коли людина не розуміє ситуацію і не знає що робити. Готовність до дій навіть в екстремальних умовах пов'язана не стільки з

емоційною стійкістю як такою, скільки з особливостями психічної регуляції дій в цих умовах. Тому скорочення часу на прийняття рішення досягається, як правило, шляхом використання тренажерних систем, що дозволяють формувати додатковий спосіб орієнтації, що забезпечує високу пластичність раніше сформованих автоматизованих дій.

У той же час, як наголошується в [7] дослідження операторської діяльності, наприклад, пілота літака, раніше ніяк не зв'язувалися з роботами в галузі дистанційного управління, які значно відрізняється від традиційних завдань ергономіки. Зокрема, було визнано непотрібним застосовувати тут методи, розроблені стосовно до авіаційних тренажерів, які використовуються для відтворення у оператора всіх кінестетичних відчуттів з метою досягнення телесімбіоза (стан оператора, при якому у нього створюється повне враження про виконання операції власними руками) на реальну обстановку за рахунок організації зворотних зв'язків із середовищем. Тут можна відзначити також, що більшість помилок оператора відбувається в момент виконання так званих автоматизованих дій, здійснюваних на тлі більш складних рухових актів. Оскільки при реалізації навичок активна увага залучається лише до деталей руху, які суттєво в ньому потребують, контроль правильності дій здійснюється за допомогою тільки проприцептивного почуття, тобто відчуття положення частин власного тіла відносно один одного. І якщо в цих умов джерелами тактильної і проприцептивної інформації служать подібні органи управління, то може виникати закономірна помилка. Тому система управління роботом крім підтримки напівавтоматичного методу управління, повинна мати можливість підтримки методів супервізорного управління. Також слід зазначити, що при управлінні роботом в умовах задимленості важко створити ефект присутності оператора за допомогою візуального каналу, так як навіть у випадках пошуку вогнища загоряння пожежними нерідкі випадки втрати орієнтації в просторі [12].

З огляду на обмежені можливості візуального каналу зв'язку в цих умовах можна говорити, що управління

пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою вимагає використання засобів відображення інформації в якості основного джерела інформації (графічна умовна модель на екрані), що тісно пов'язано з поданням знань в експертній системі. Тут доводиться мати справу з інформаційною моделлю моніторингу закритих пожеж, на основі якої оператор формує образ реальної обстановки, проводить аналіз і оцінку ситуації, що склалася. Цю модель узагальнено можна представити як $Pz=(I,O,M)[5]$, де Pz - поле знань (інформаційна модель), I - структура вихідних даних, що підлягають обробці і інтерпретації в експертній системі; O - структура вихідних даних (результат роботи системи, що передається оператору); M - модель предметної області, на підставі якої відбувається модифікація I в O .

В якості вихідних даних I пропонується використовувати запити оператора, інформацію, що надходить від тактичного рівня і вимірювального обладнання. Тоді як вихідних даних O виступає відповідь експертної системи оператору і команда для тактичного рівня. Таким чином, організовується взаємодія оператора з пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою.

Як приклади правил можна привести такі: «якщо прийшов запит від оператора про клас пожежі (даних моніторингу) і всі слоти класу» пожежа »заповнені, то передати оператору всю інформацію про клас пожежі», «якщо прийшов запит від оператора рекомендований тип гасячого складу і клас пожежі визначено і клас пожежі В2, то повідомити, що для гасіння рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові типу АВСЕ або ВСЕ ».

Відзначимо, що в експертній системі використовується інформація про характеристики пожежі, одержуваних в ході ведення його моніторингу, на основі яких даються рекомендації оператору і керівнику гасіння пожежі. Модель предметної області M можна назвати концептуальною моделлю - сукупністю уявлень про робочі операції, стан і функціонування робота і способах дій, що управляють на нього.

Взаємодія оператора з пожежно-моніторинговою мікропроцесорною системою здійснюється за допомогою діалогу на професійно-орієнтованій мові, наближеної до природньої. Для подібної мови характерно, що його лексична одиниця виступає вже як спеціальний сигнальний знак, і така лексична одиниця однозначна [22]. Однозначність трактування подібних лексичних одиниць в разі моніторингу пожежі характерна для дій, наближених до бойових. Через дефіцит часу уточнення дій виконується тільки в разі крайньої необхідності. При цьому команда, за аналогією з бойовою, може бути попередньою і виконавчою або тільки виконавчою. У таблиці 2.1 наведені приклади команд обох видів. Наприклад, команда «**вправо швидко**» ділиться на попередню «**вправо**» і виконавчу «**швидко**», а команда «**стій**» - тільки виконавча. Оператору надається можливість робити запити системі управління пожежно-моніторинговою мікропроцесорною системою з метою уточнення поточної ситуації.

Таблиця 2.1 Приклади команд пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

Тип	Найменування команди	опис
Команда	стій	Команди мають більш високий пріоритет по відношенню до запитів і поточних дій робота. Завинятком аварійної ситуації. Команди роботуподаються оператором за допомогою голосового аботекстового інтерфейсу.
	Скасувати	
	Вліво дуже повільно	
	вліво повільно	
	вліво швидко	
	Вправо дуже повільно	
	вправо повільно	
	вправо швидко	
	Назад дуже повільно	
	назад повільно	
	назад швидко	
	Назад дуже швидко	

	Вперед дуже повільно	
	вперед повільно	
	вперед швидко	
Запит	Доповісти дані моніторингу. Який тип гасячої речовини застосувати?	Пріоритет запитів більш низький. Використовуються для уточнення поточної ситуації оператором
	Доповісти про готовність дороботи	
	Якою буде команда?	Пріоритет запитів нижчий. Використовуються для уточнення поточної ситуації пожежні моніторингові мікропроцесорні системи

При відсутності у робота вирішення поставленого завдання, він може звернутися за допомогою до оператора. Такий діалог відноситься до типу керування оператором з використанням директивної форми (проблемно-орієнтованої мови). При діалоговому режимі роботи враховуються і психологічні особливості сприйняття інформації оператором. По-перше, час реакції системи управління, на команду оператора, не повинно перевищувати 2-5 секунд. По-друге, відповіді стратегічного рівня оператору надаються в текстовій і голосовій формі. Залежно від типу інформації текст виділяється не більше ніж трьома кольорами: при критичній ситуації використовується червоний колір, для штатних повідомлень - чорний, а для інформації про хід веденого моніторингу - синій. По-третє, введення даних в діалоговому режимі за допомогою голосу дозволяє зменшити час виконання завдання в два рази. Тут необхідно зазначити, що завдання побудови мовного інтерфейсу представляють окрему складну проблему і є предметом окремих досліджень.

Застосування мовного інтерфейсу в системі управління фактично призводить до використання апарату лінгвістичних змінних - змінних, які можуть набувати значень фраз природної або професійно-орієнтованої мови і використовуються при описі явищ за допомогою нечітких множин. Пропонується використовувати вказаний апарат не тільки на стратегічному

рівні для здійснення діалогу з оператором, але і для двосторонньої взаємодії стратегічного рівня з тактичним. Розглянемо основну ідею подібної взаємодії на наступному прикладі. Згідно функціональної схеми стратегічного рівня (рис. 3.3) на даний рівень з тактичного рівня може надходити інформація про виконувани дії.

В цьому випадку неважко визначити відповідність отриманої оцінки з виконуваних дій (проміжної змінної, переданої на стратегічний рівень) за допомогою правил типу «якщо кутова швидкість нульова і лінійна швидкість висока, то швидкий рух прямо» (оцінка $\{0.4,0\}$), «якщо кутова швидкість невисока і лінійна швидкість нульова, то розворот на місці вліво» (оцінка $\{0,0.5\}$) і т.д. При збільшенні розмірності вектора стану робота, наприклад, шляхом введення двовісного гіроскопа по крену і диференту, можна задавати і складніші описи типу «рухаюся по похилій площині вгору», «можливо подальше перекидання», «виконую гальмування» та ін.

При цьому для опису проміжного змінної досить задати лише термножини («рухаюся», «поворот вліво» і т.д.), без визначення функцій приналежності, так як результат логічного висновку у представляється у вигляді нечіткої множини як це робиться і в ієрархічних нечітких системах:

$$\tilde{y} = \left(\frac{\mu_{d_1}(y)}{\tilde{d}_1}, \frac{\mu_{d_2}(y)}{\tilde{d}_2}, \dots, \frac{\mu_{d_m}(y)}{\tilde{d}_m} \right)$$

де $\mu_{d_m}(y)$ - ступінь приналежності нечіткому терму \tilde{d}_m , m - кількість термів.

З наведеного прикладу неважко помітити, що, таким чином, на стратегічному та тактичному рівні управління ми маємо класифікатори, аналогічні розглянутому в розділі 2.1 класифікатором пожежі. Крім того, з'являється можливість здійснення лінгвістичного взаємодії [6] між верхніми рівнями управління, що дозволяє вести проектування системи в єдиному ключі з розробкою мовного інтерфейсу взаємодії з оператором.

Таким чином, нами розглянута структура експертної системи стратегічного рівня, що підтримує прийняття рішень оператора, яка координує

роботу нижчих за ієрархією рівнів управління і здійснює діагностику роботи підсистем пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.

3.3 Розробка тактичного рівня підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою при пошуку осередку пожежі

Тактичний рівень є вищим рівнем управління рухами робота, який реалізує їх шляхом розбиття на більш прості [7]. Для планування такого розбиття при веденні моніторингу пожежі потрібно знати зовнішню обстановку і стан робота. У другому розділі представлені результати аналізу умов, при яких доводиться вести моніторинг пожежі, і зроблено висновок, що для її успішного виконання доцільно використовувати метод пропорційного наведення при переміщенні робота до вогнища спалаху. У свою чергу, цей метод вимагає врахування динамічних характеристик виконавчого рівня підсистеми управління пожежним моніторинговим мікропроцесорними системами, які визначають вибір настройки коефіцієнта пропорційного наведення K_n . Планування траєкторії руху робота на тактичному рівні здійснюється не тільки з використанням кількісних показників небезпечних факторів пожежі (що є основою методу пропорційного наведення), але і геометричних характеристик навколишнього простору (дальність до перешкод, габарити приміщення і т.д.). У зв'язку з цим, заздалегідь не можна закласти жорсткий алгоритм, що передбачає всі можливі ситуації, тому тактичний рівень будуватиме з використанням методів нечіткої логіки, оскільки можна апріорі виділити стереотипи поведінки робота, визначаються сформованою ситуацією. Ці стереотипи поведінки мають вигляд продукційних правил «якщо ситуація S_i , то тактика T_i » [8]. Під тактикою розуміється сукупність правил поведінки, виражених за допомогою лінгвістичних змінних і визначаються поставленою метою. Ці правила ставлять у відповідність типовій ситуації заздалегідь певний рух робота, при цьому типові ситуації закладаються в нечітку базу знань робота. Порівняння спостережної (поточної) ситуації з однією з еталонних, що

містяться в базі знань проводиться з використанням тих чи інших критеріїв нечіткої близькості ситуації, що задаються функціями належності. Отримана таким чином оцінка ситуації роботом є формалізованою і опосередкованою оцінкою аналогічної ситуації людиною.

З урахуванням вищесказаного завдання синтезу структури підсистеми управління на тактичному рівні з використанням апарату нечіткої логіки сформулюємо наступним чином. потрібно:

1. визначити коефіцієнт наведення K_n , який при заданих динамічних характеристиках виконавчого рівня і вимірювальної системи забезпечував би рух робота з заданими показниками якості при його переміщенні в район вогнища загоряння;

2. провести дослідження впливу величини модуля градієнта скалярного температурного поля на вибір K_n ;

3. здійснити вибір необхідних лінгвістичних змінних і функцій приналежності, які забезпечують роботу тактичного рівня і його зв'язок зі стратегічним рівнем;

4. розробити продукційні правила, які визначають стереотипи поведінки пожежної моніторингової мікропроцесорної системи;

5. розробити методику, яка дозволяє реалізувати метод пропорційного наведення на тактичному рівні з використанням нечіткої логіки.

По першому пункту зробимо додаткове зауваження. Завдання визначення коефіцієнту K_n в широкому сенсі може бути визначена як багатокритеріальна задача оптимізації, в якій в якості приватних критеріїв повинні виступати критерій швидкодії, а також критерій точності і енергетичний критерій. Але в той же час, як наголошується в роботі [28], застосування класичних методів для управління динамічними об'єктами істотно обмежується труднощами формування єдиного критерію, що охоплює суперечать один одному вимоги, наприклад, швидкодію системи і забезпечення максимальної точності. Тому в дослідженні як визначальних показників якості при виборі K_n пропонується використовувати точність наведення пожежної моніторингової

мікропроцесорної системи і ступінь загасання траєкторії руху пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою.

Відповідно до завдань управління пожежної моніторинговою мікропроцесорної системи, які розв'язуються на тактичному рівні, функціональна схема його взаємодії з виконавчим можна приведена на рисунку 3.6.

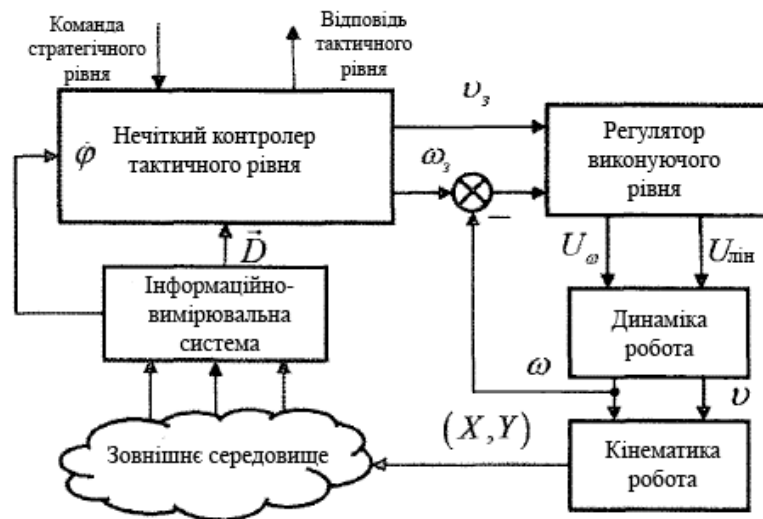


Рисунок 3.6. Функціональна схема сполучення тактичного і виконавчого рівнів

Тактичний рівень представлений нечітким контролером, які реалізують стереотипи поведінки робота в залежності від поточної ситуації, яка визначається координатами вектора значень температури (X, Y) , діяльностей до перешкод \bar{D} і командою стратегічного рівня.

При пошуку вогнища загоряння в контролер надходить також оцінка швидкості зміни напрямку градієнта температури φ . У результаті логічного висновку контролер формує команду відповіді для стратегічного рівня і значення заданої швидкості лінійного переміщення робота v_3 і заданої кутової швидкості повороту ω_3 , що передаються на виконавчий. Регулятор виконавчого рівня підтримує задані значення v_3 і ω_3 шляхом зміни двох складових напруги, що подається на приводу робота: $U_{\text{лін}}$ - напруги, що визначає лінійну швидкість робота і U_ω - напруги, що визначає кутову швидкість робота.

Під впливом керуючих сигналів $U_{\text{ліні}}$ і U_{ω} робот здійснює переміщення в температурному полі. Рух робота щодо опорної точки описується кінематичною ланкою (Рис. 3.7), на виході якої формуються два сигнали дальність до опорної точки r і кут попередження η . На їх основі вимірювач параметрів неузгодженості оцінює швидкість зміни напрямку градієнта температури $\dot{\phi}$, а обчислювальний пристрій визначає ω_3 відповідно до закону $\omega_3 = K_H \cdot \dot{\phi}$.



Рисунок 3.7. Структурна схема системи пропорційного наведення

Для вибору K_H з урахуванням динамічних характеристик робота і вимірювальних систем автором розроблено структурну схему моделі системи наведення пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в скалярному температурному полі, яка в розгорнутому вигляді розкриває схему системи пропорційного наведення (рис. 3.7).

Вибір коефіцієнта наведення K_H залежить від впливу різних збурень (властивості ґрунту, перешкоди - через яких змінюється радіус повороту) на кутову швидкість ω при налаштованому регуляторі приводів виконавчого рівня. Досліджуємо характер руху пожежної моніторингової мікропроцесорної системи при наявності зовнішніх збурень на канал кутової швидкості для встановлення достатності застосування постійних налаштувань регулятора.

Прийmemo наступні допущення. Будемо розглядати робота з гусеничним типом шасі, найхарактерніших для пожежної моніторингової мікропроцесорної

системи. Будемо також вважати, що рух робота при пошуку вогнища загоряння відбувається в горизонтальній площині з постійною швидкістю i . Механізм робота є абсолютно жорстким, і відсутня поздовжнє проковзування гусениць робота. Приводна система робота побудована на базі двигунів постійного струму. Допущення щодо руху в горизонтальній площині справедливо для гусеничного типу шасі, так як нерівності поверхні не роблять істотного впливу на рух робота. Допущення про відсутність прослизання є більш сильним. Тому при моделюванні будемо враховувати його в динамічній моделі виконавчого рівня у вигляді збурення по каналах лінійної і кутової швидкостей.

При розробці моделі виконавчого рівня використовувалися результати робіт [4; 10; 19]. Математична модель руху гусеничного робота має вигляд (3.1):

$$\begin{cases} T_v \dot{v} + v = K_v \cdot U_{\text{лин}} - K_{fv} F_{CK} \\ T_{\Omega} \dot{\omega} + \omega = K_{\Omega} U_{\omega} - K_{f\Omega} M_C \end{cases} \quad (3.1)$$

де T_v , T_{Ω} - постійні часу каналів управління лінійної швидкістю і кутовий швидкістю відповідно, K_v , K_{Ω} - коефіцієнти передачі по каналах управління лінійної швидкістю і кутовий швидкістю відповідно, K_{fv} , $K_{f\Omega}$ - коефіцієнти передачі по впливам в каналах лінійної та кутової швидкості, F_{CK} - сила опору коченню, M_C - момент опору повороту.

Момент опору повороту визначається наступним чином:

$$M_C = \frac{3\mu mg(L - 2a)}{8} \quad (3.2)$$

де L - довжина опорної поверхні гусениці, μ - коефіцієнт опору повороту, залежить від його радіуса, a - координата центра ваги попоздовжній осі щодо геометричного центру шасі, g - прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт опору повороту визначається як:

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{c + (1 - c) \frac{R_{\Pi}}{B}} \quad (3.3)$$

де R_{Π} - радіус повороту по забігають гусениці, c – постійний коефіцієнт, що приймається в розрахунках в середньому 0,85, μ_{max} – максимальний коефіцієнт опору повороту, залежить від властивостей поверхні (грунту).

На рисунках 3.8 і 3.9 представлені графіки перехідного процесу в каналі управління кутовою швидкістю і змін керуючого впливу при варіюванні моменту опору повороту M_c , що визначається за формулами 3.2 і 3.3. Номінальний коефіцієнт опору повороту згідно з розрахунком дорівнює $K_{f\Omega} = 20$.

Як впливає з наведених графіків, час перехідного процесу при варіюванні радіусу повороту змінюється не суттєво і становить 2,25 секунди. Зі зменшенням радіусу повороту, або зі збільшенням v (рис. 3.10 графіки 1-3) спостерігається відхилення перехідного процесу від аперіодичного процесу, викликаного подоланням моменту опору повороту.

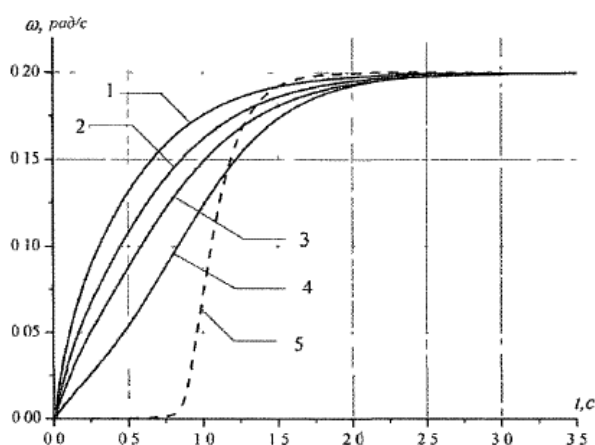


Рисунок 3.8. Перехідний процес в каналі управління кутовою швидкістю повороту при різних лінійних швидкостях руху і центру мас робота (1 - $v = 0,25$ м / с (радіус повороту 1,25 м); 2 - $v = 0,15$ м / с (радіус повороту 0,75 м); 3 - $v = 0,1$ м / с (радіус повороту 0,5 м); 4 - $v = 0,05$ м / с (радіус повороту 0,25 м); 5 - $v = 0,05$ м / с (розворот на місці))

Для радіуса повороту менше 0,25 м (рисунок 3.10, графік 4) характерна поява на графіку перехідного процесу точки перегину, після якої процес відповідає аперіодичним. При розвороті дома (рисунок 3.10, графік 5), коли момент опору максимальний, спостерігається запізнювання перехідного

процесу, що становить близько 0,7 секунд, а потім швидкий вихід робота на задане значення кутової швидкості.

З рисунка 3.9 видно, що до тих пір, поки не подолана момент опору повороту, накопичується інтегральна складова помилки (пряма ділянка керуючого впливу - графік 5). після подолання зовнішнього моменту процес зміни керуючого впливу стає близький до аперіодичного.

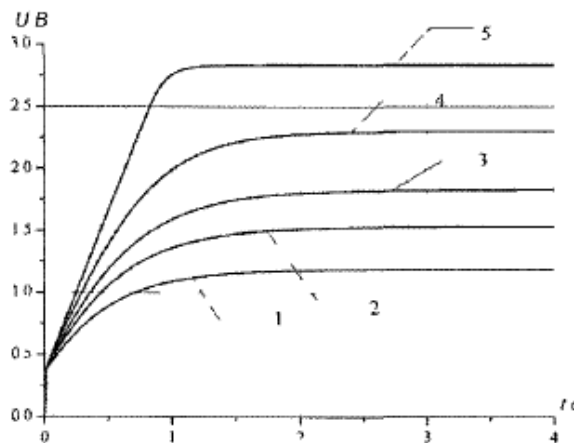


Рисунок 3.9. Керуючий вплив для каналу управління кутовою швидкістю повороту робота при різних лінійних швидкостях руху і центру мас робота (1 - $v = 0,25$ м/с (радіус повороту 1,25 м); 2 - $v = 0,15$ м/с (радіус повороту 1,25 м), 3 - $v = 0,1$ м/с (радіус повороту 1,25 м); 4 - $v = 0,05$ м/с (радіус повороту 1,25 м); 5 - $v = 0$ м/с (розворот на місці))

Слід зазначити, що на час перехідного процесу при розвороті на місці впливає і задане значення кутової швидкості $\omega_{зад}$. Збільшення заданого значення кутової швидкості призводить до зменшення часу перехідного процесу (рисунок 3.10). При малих значень $\omega_{зад}$ (наприклад, 0,1 рад / с) спостерігається запізнювання виконання повороту, що становить близько 2 секунд. В даному випадку отримане значення часу запізнювання виконання команди повороту межує з часом реакції системи управління на команду оператора, що визначається його психологічними особливостями і складову 2-5 секунди.

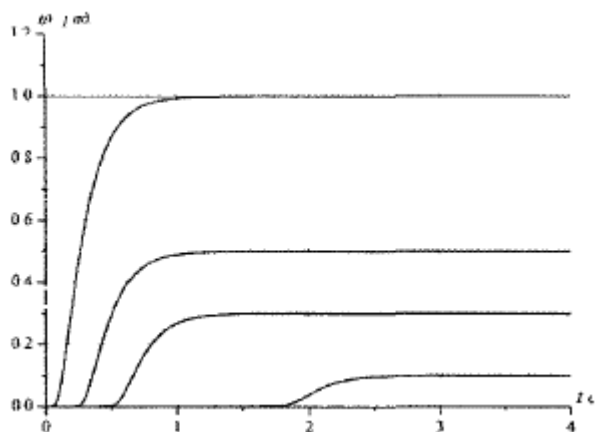


Рисунок 3.10. Перехідний процес в каналі управління швидкістю повороту робота для різних значень $\omega_{\text{зад}}$ при розвороті робота на місці

На час перехідного процесу при повороті робить також вплив і тип ґрунту (опорної поверхні), на рисунку 3.11 наведені результати моделювання повороту робота на місці при варіюванні коефіцієнта опору повороту μ . Номінальному значенню відповідає максимальне значення коефіцієнта опору $\mu_{\text{max}} = 0,3$ (дерев'яна підлога).

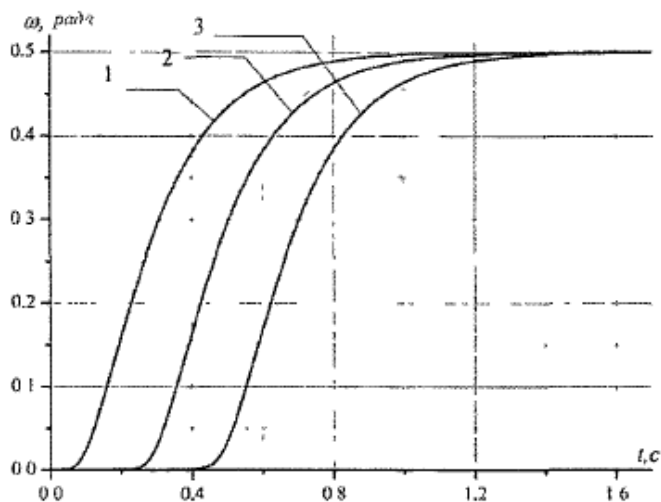


Рисунок 3.11. Перехідний процес в каналі управління кутовою швидкістю при моделюванні різних ґрунтів (1 - $\mu_{\text{max}} = 0,15$ (гладка кам'яна поверхню), 2 - $\mu_{\text{max}} = 0,3$ (дерев'яна підлога), 3 - $\mu_{\text{max}} = 0,6$ (Лінолеум)) і здійсненні повороту на місці

При зменшенні коефіцієнта опору повороту, зменшується час перехідного процесу і запізнювання виконання розвороту. Зі збільшенням радіусу повороту (рисунок 3.12) загальна тенденція характеру зміни кутової швидкості зберігається, але при цьому зникає запізнювання у виконанні повороту.

З наведених результатів (рисунок 3.8-3.12) видно складний нелінійний характер впливу моменту опору повороту на перехідний процес зміни кутової швидкості робота, який має такі особливості. По-перше, зі збільшенням радіусу повороту вплив моменту опору зменшується, по-друге, на час перехідного процесу при заданих настройках регулятора впливає і задане значення кутової швидкості, при малих $\omega_{зад}$ при розвороті на місці істотно зростає запізнювання у виконанні маневру.

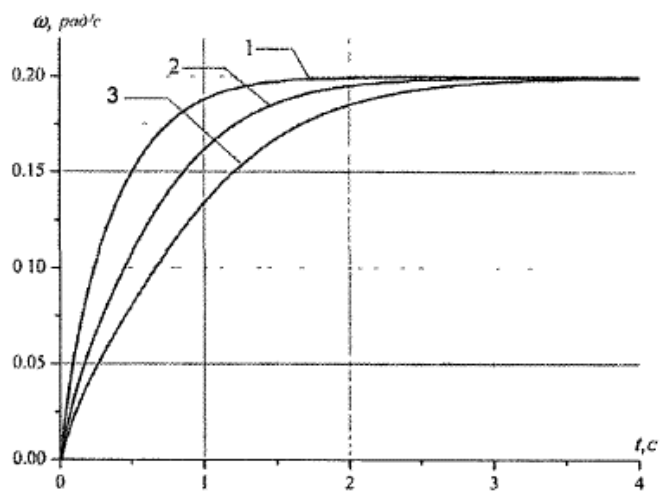


Рисунок 3.12. Перехідний процес в каналі управління кутовою швидкістю при моделюванні різних ґрунтів (1 - $\mu_{max}=0,15$, 2 - $\mu_{max}=0,3$, 3 - $\mu_{max}=0,6$) при радіусі повороту 0,75 м

У зв'язку із цим модель виконавчого рівня підсистеми управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою можна апроксимувати стаціонарною аперіодичною ланкою першого порядку з прийнятною для практичного використання результатів моделювання точністю, тож при визначенні K_H будемо застосовувати модель (3.1), структурна схема якої наведена на рисунку 3.7.

Таким чином, установивши вид динамічної моделі виконавчого рівня і дослідивши динаміку руху пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, перейдемо до визначення впливу модуля градієнта скалярного температурного поля і динамічних параметрів вимірювальної системи на вибір K_n .

Розглянемо модель системи наведення, що відповідає рисунку 3.7. Робот переміщається в скалярному температурному полі (рис. 3.13) в опорну точку (дверний проріз), що знаходиться від нього на відстані $r_0 = 5$ м. Значення відстані r_0 вибрано, виходячи з габаритів типових приміщень, в яких доводиться вести моніторинг в типових умовах. Чисельні значення параметрів моделі відповідають параметрам, розглянутим в попередньому розділі, сталі часу вимірювальної системи температури $T_1 = T_3 = 3$ с. Результати чисельного моделювання, в таблиці наведено початкових умов, пояснення рисунком 3.13.

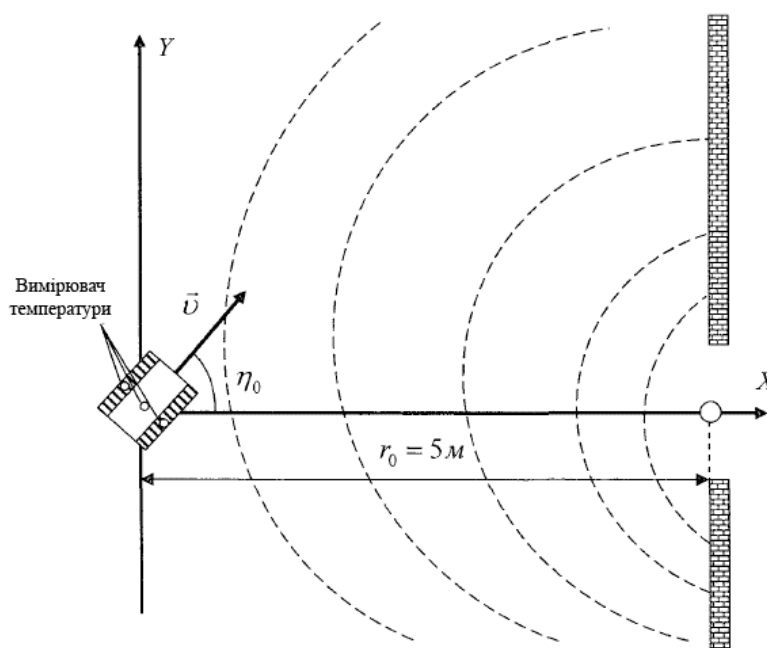


Рисунок 3.13. Наведення робота в температурному полі (пунктирними лініями вказані ізотерми поля)

На рисунку 3.16 представлені траєкторії руху робота при різних значеннях коефіцієнта наведення K_n для фіксованих значень модуля градієнта температури і початкового кута випередження $r_0 = 1$ рад в безперервній моделі

системи наведення. З рисунка видно, що кут виходу на опорну точку щодо початкового положення лінії візування істотно залежить від K_n . Величина даного коефіцієнта визначає також ступінь коливання траєкторії руху робота відносно лінії градієнта температури. Слід також зазначити, що коливання траєкторії визначається оцінкою швидкості повороту градієнта температури $\dot{\phi}$ (вираз (2.28)).

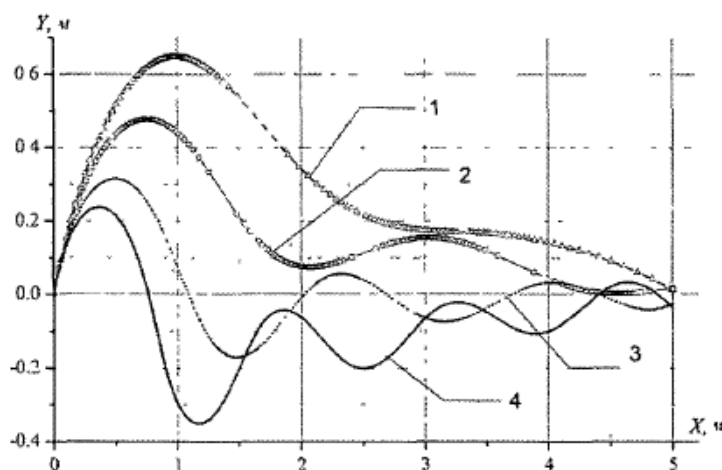


Рисунок 3.14. Траєкторії руху робота при різних Do_n , відстань до опорної точки 5 м (1 - $K_n = 20$; 2 - $K_n = 30$; 3 - $K_n = 50$; 4 - $K_n = 70$)

По мірі наближення робота до опорної точки зростає температура $T(r)$, як наслідок, збільшується різниця $T(r) - T_0$, що призводить до зменшення оцінки $\dot{\phi}$. При прагненні до нуля $\dot{\phi}$ (в міру наближення до опорної точки) відбувається стабілізація траєкторії. Це відрізняє метод пропорційного наведення в скалярному температурному полі від методу пропорційного наведення, наприклад, балістичних об'єктів. Для останнього характерне зростання поблизу мети швидкості повороту лінії візування $\dot{\phi}$, що приводить до появи нестійкої ділянки траєкторії, тому для стабілізації робота в початковий момент часу використовувався модифікований закон зміни кутової швидкості:

$$\omega = \frac{K_n \cdot v^2 \cdot \Delta T}{b \cdot (0,62 \cdot v \cdot (T(r) - T_0 + \varepsilon) \cdot v + H \cdot \dot{T})}$$

З цим пов'язана можливість застосування значень $K_n > 10$, але з одночасним зменшенням ступеня згасання коливань. Дослідження впливу

величини градієнта температури на характер траєкторії при фіксованому значенні K_n показує, що в безперервній системі величина модуля градієнта має слабкий вплив на ступінь коливання траєкторії руху робота (Рис. 3.15).

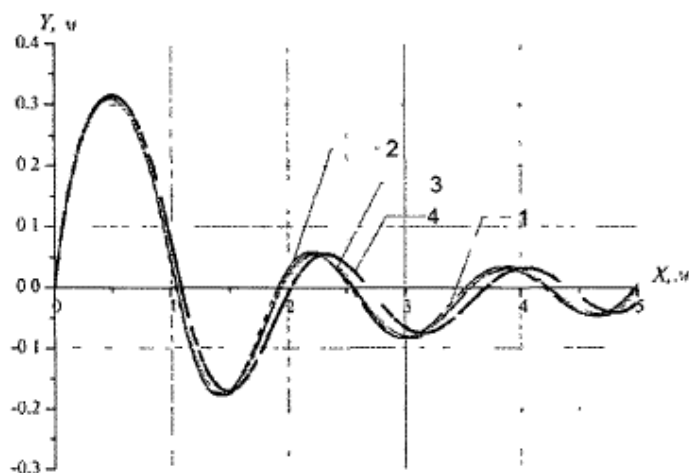


Рисунок 3.15. Траєкторії руху робота при $K_n = 50$ і різних значеннях градієнта температури при відстані до опорної точки 5 м: 1 - 32 °/м; 2 - 8 °/м; 3 - 6 °/м; 4 - 2 °/м

Це дозволяє використовувати в системі управління фіксоване значення K_n , яке визначається шляхом моделювання по заданому максимальному значенні початкового руху попередження і заданим динамічним властивостям виконуючого рівня і системи виміру температури.

У разі, коли система управління дискретна (під час моделювання використовувалися дані для 10-бітного АЦП), вибір K_n складніший. Моделювання наведення робота на опорну точку з урахуванням дискретного характеру обчислення похідної швидкості зміни температури при фіксованому коефіцієнті наведення показує, що, по-перше, для отримання стійкої траєкторії значення K_n необхідно зменшити на порядок ($K_n < 10$).

По-друге, на ступінь загасання коливань траєкторії руху, період вагань і кут виходу на опорну точку істотно впливає величина градієнта температури (рисунок 3.16). Точність попадання в опорну точку зберігається: промах не перевищує 10 см.

При дискретному характері визначення різниці температур на додаток до дискретного характеру обчислення похідної швидкості зміни температури \dot{T} при значеннях градієнта температур порядку $20 \text{ }^\circ/\text{м}$ траєкторія руху робота (Рис. 3.17, графік 1) зберігає свій вигляд як для випадку безперервного вимірювання температури ΔT .

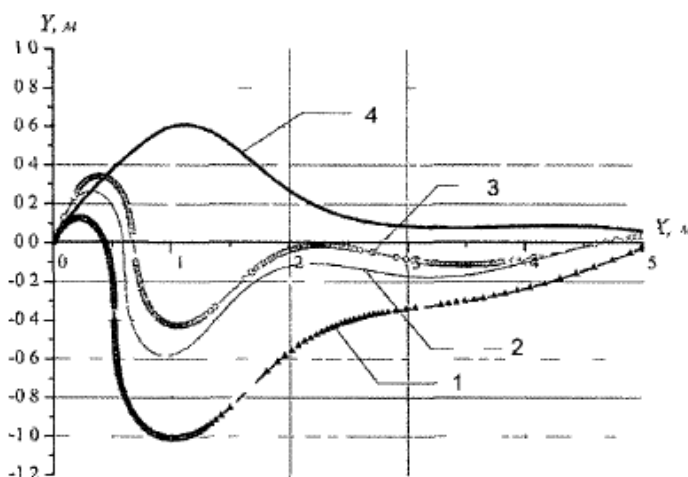


Рисунок 3.16. Траєкторії руху робота при $K_n = 6$ і різних значеннях модуля градієнта температур; відстань до опорної точки 5 м, період квантування за часом $\Delta t = 0,02$ с, період квантування за рівнем в каналі вимірювання температури $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 - $2 \text{ }^\circ/\text{м}$; 2 - $6 \text{ }^\circ/\text{м}$; 3 - $8 \text{ }^\circ/\text{м}$; 4 - $32 \text{ }^\circ/\text{м}$)

Зменшення величини градієнта температури призводить до істотної зміни траєкторії руху (графіки 2,3 Рис. 3.17) і кутів виходу на опорну точку.

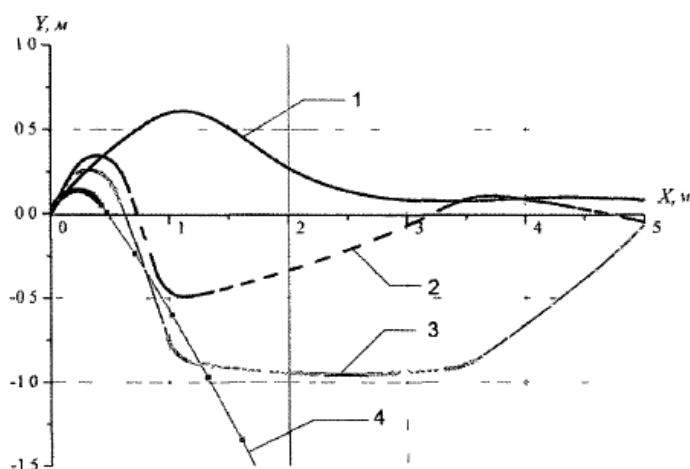


Рисунок 3.17. Траєкторії руху робота при $K_n = 6$ і різних значних модуля градієнта; відстань до опорної точки 5 м, період квантування за часом $\Delta t = 0,02$

с; період квантування за рівнем в каналі вимірювання температури $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$;
 період квантування за рівнем в диференціальному каналі вимірювання
 температури $0,037 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 - 16075м; 2 - 4075м; 3 - 3075м; 4 - 1075м)

При подальшому зменшенні модуля градієнта спостерігається втрата роботом лінії градієнта (графік 4 Рис. 3.17) і опорної точки. З рисунків 3.14-3.17 видно, що мінімальна відстань до опорної точки при якому можливе здійснення наведення при заданому $t_0 = 1$ рад становить 2-3 метри.

Результати моделювання показують, що на вибір K_n не впливає величина зміни модуля градієнта температури при малому кроці квантування рівня в каналах вимірювання температури. Дана умова виконується в разі застосування АЦП з розрядністю більше 14 біт, наприклад прецизійних 24-бітних АЦП AD7714 виробництва Analog Devices. В цьому випадку система близька до безперервної, і кут виходу в опорну точку визначається початковою ділянкою траєкторії, який в свою чергу залежить від поставлених значень η_0 і K_n . Оскільки розглянута система наведення цифрова, нестационарна і нелінійна, то вибір коефіцієнта наведення K_n пропонується здійснювати методом імітаційного моделювання з урахуванням динамічних характеристик застосовуваного класу мікропроцесорної системи, вимірювальної системи наведення і значень модулів градієнта температури:

- 1) якомога більшої значення η_0 , виходячи з геометрії приміщень;
- 2) певних (фіксованих) постійних часу вимірювальних каналів температури;
- 3) задається кроку квантування за рівнем АЦП каналів вимірювання температури;
- 4) динамічних характеристик приводний частини пожежної моніторингової мікропроцесорної системи.

Для застосування в системі наведення постійного коефіцієнта, необхідно, щоб вимірювати температуру проводилося з кількістю ступенів квантування за рівнем не менше 16384 на один градус. Тоді з урахуванням динамічних

параметрів вимірювальної системи (постійні часу не перевищують 3-х секунд) значення K_n не перевищуватиме 10, а характер траєкторії руху робота близький до аперіодичного процесу.

При пошуку вогнища загоряння роботу необхідно подолати кілька опорних точок, в якості яких виступають дверні прорізи. Результати моделювання, наведені в попередньому розділі, підтвердили, що під час руху робота до опорної точки відбувається стабілізація його траєкторії вздовж деякої прямої. У зв'язку з цим по досягненню опорної точки і подолання отвору, потрібна повторна ініціалізація значення початкової температури T_0 для наступного приміщення. В іншому випадку робот продовжить рух по прямій, так як температура, що фіксується розташованим в геометричному центрі робота термоелектричним перетворювачем, буде зростати, а оцінка ϕ - зменшуватися.

Алгоритм роботи тактичного рівня, враховує дану особливість. Поки не надійшла команда зі стратегічного рівня - «Пошук», робот виконує дії, визначені поточною ситуацією, відповідно до бази правил тактичного рівня. При надходженні команди «Пошук» відбувається підключення контуру наведення, ініціалізація початкової температури в точці старту робота T_0 і оцінки швидкості повороту лінії градієнта, розрахунок необхідної кутової швидкості повороту (за формулою 2.28), а також вироблення завдань для виконавчого рівня. Далі здійснюється перевірка умови, чи досягнута опорна точка. Виконання даної процедури передбачає перевірку значення логічної змінної «досягнення опорної точки», ініціалізація якої здійснюється стратегічним рівнем, наприклад, за даними системи технічного зору [8] або команди оператора після проходження отвору.

Якщо опорна точка не досягнута, то переміщення робота здійснюється у відповідність з методом пропорційного наведення. Якщо опорна точка досягнута, то перевіряється умова досягнення зони вогнища пожежі.

Якщо вона не досягнута, який визначається, наприклад, за даними системи технічного зору, переходимо до мітки ініціалізації початкової температури, а

якщо досягнута, то відбувається відключення контуру наведення і робота тактичного рівня триває згідно поточної ситуації. Передбачається, що рух пожежної моніторингової мікропроцесорної системи за розробленим алгоритмом здійснюється в середовищі з перешкодами, тобто на шляху його руху до опорної точки або осередку пожежі доводиться об'їжджати предмети, долати отвори і т.д. У розділі 3.2 пропонувалося реалізовувати тактичний рівень з використанням методів нечіткої логіки, оскільки можна апіорі виділити стереотипи поведінки робота, визначаються ситуацією, що склалася. Згідно за схемою взаємодії тактичного рівня з виконавчим і стратегічним (рисунок 3.6) пропонується використовувати наступні лінгвістичні змінні: **вхідні змінні.**

- **«Дальність до перешкод в правому секторі»** = { «відстань справа до перешкод мала», «відстань справа до перешкод середня», «відстань справа до перешкод велика»};

- **«Діяльність до перешкод в лівому секторі»** = { «відстань зліва до перешкод мала», «відстань зліва до перешкод середня», «відстань зліва до перешкод велика»};

- **«Діяльність до перешкод у фронтальному секторі»** = { «відстань прямо до перешкод мала», «відстань прямо до перешкод середня», «відстань прямо до перешкод велика»};

- **«Навколишнє температура»** = { «навколишня температура низька», «навколишнє температура нормальна», «навколишнє температура висока»};

- **«Швидкість повороту градієнта»** = { «швидкість повороту градієнта негативна», «швидкість повороту градієнта нульова», «швидкість повороту градієнта позитивна»};

- **«Команда стратегічного рівня у напрямку руху»** = { «команда стратегічного рівня вліво», «команда стратегічного рівня прямо», «команда стратегічного рівня вправо»};

- **«Команда стратегічного рівня за швидкістю руху»** =

{ «Команда стратегічного рівня назад», «команда стратегічного рівня стоп», «команда стратегічного рівня вперед»};

вихідні змінні

• **«Лінійна швидкість руху робота»** = { «лінійна швидкість негативна велика», «лінійна швидкість негативна середня», «лінійна швидкість нульова», «лінійна швидкість позитивна середня», «лінійна швидкість позитивна велика»};

• **«Кутова швидкість повороту робота»** = { «кутова швидкість негативна дуже велика», «кутова швидкість негативна велика», «кутова швидкість негативна середня», «кутова швидкість нульова», «кутова швидкість позитивна середня», «кутова швидкість позитивна велика», «кутова швидкість позитивна дуже велика»}.

Дальність до перешкод визначається в трьох секторах, змінні «дальність до перешкод в правому секторі», «дальність до перешкод в лівому секторі», «дальність до перешкод у фронтальному секторі» задають відповідність вимірюваних чітких значень дальності в кожному з секторів з їх лінгвістичною оцінкою. Для стислості в безлічі імен лінгвістичних значень представлених лінгвістичних змінних «правий сектор» замінений на термін «справа», «лівий сектор» - «зліва», «фронтальний сектор» - «просто».

База правил, що визначає поведінку робота в типових ситуаціях має вигляд:

1) ЯКЩО «відстань прямо до перешкод мала» І «відстань справа до перешкод мала» ТО «лінійна швидкість нульова» І «кутова швидкість позитивна велика»

2) ЯКЩО «відстань прямо до перешкод мала» І «відстань зліва до перешкод мала» І НЕ («відстань праворуч до перешкод мала») ТО «лінійна швидкість нульова» І «кутова швидкість негативна велика»

3) ЯКЩО «відстань прямо до перешкод велика» І «команда стратегічного рівня вперед» ТО «лінійна швидкість позитивна велика»

4) ЯКЩО «відстань прямо до перешкод середня» ТО «лінійна швидкість позитивна середня»

5) ЯКЩО «відстань справа до перешкод мала» І «відстань зліва до перешкод мала» І «відстань прямо до перешкод мала» ТО «лінійна швидкість негативна велика» І «кутова швидкість позитивна велика»

6) ЯКЩО «швидкість повороту градієнта нульова» І НЕ («навколишня температура висока») ТО «кутова швидкість нульова»

7) ЯКЩО «швидкість повороту градієнта позитивна» І НЕ («навколишня температура висока») ТО «кутова швидкість позитивна середня»

8) ЯКЩО «швидкість повороту градієнта негативна» І НЕ («навколишня температура висока») ТО «кутова швидкість негативна середня»

9) ЯКЩО «навколишня температура висока» ТО «кутова швидкість нульова»

10) ЯКЩО «відстань справа до перешкод мала» ТО «лінійна швидкість нульова»

11) ЯКЩО «команда стратегічного рівня стоп» ТО «лінійна швидкість нульова» І «кутова швидкість нульова»

12) ЯКЩО «команда стратегічного рівня вперед» ТО «лінійна швидкість позитивна середня»

13) ЯКЩО «команда стратегічного рівня назад» ТО «лінійна швидкість негативна середня»

14) ЯКЩО «команда стратегічного рівня вправо» ТО «кутова швидкість негативна дуже велика»

15) ЯКЩО «команда стратегічного рівня вліво» ТО «кутова швидкість позитивна дуже велика»

16) ЯКЩО «команда стратегічного рівня прямо» ТО «кутова швидкість нульова»

Правила 1-5 бази знань описують поведінку робота при виконанні маневрів по обходу перешкод, правила 6-9 є правилами, що реалізують пропорційне наведення робота. Правила 10-16 регламентують поведінку робота по команді у напрямку руху зі стратегічного рівня.

В даний час відомі кілька методик синтезу нечітких регуляторів: методики налаштування, засновані на експертних методах, наприклад, представлені в роботі [7], методика, заснована на основі ймовірнісної моделі об'єкта управління, побудованої з використанням теорії марковських процесів та узагальнених потоків Ерланга [24]. Перевагою методики, заснованої на ймовірніській моделі об'єкта управління, є можливість отримання аналітичного виду функцій належності вхідних змінних нечіткого контролера. Однак, не дивлячись на свою універсальність, дана методика вимагає планування активного експерименту і досить складної обробки отриманих експериментальних даних.

Розглянемо пропонований автором більш простий метод аналітичної настройки функцій приналежності вхідної змінної для окремого випадку - однозв'язної моделі. Однозв'язна модель має на увазі зв'язок вихідний з вхідної змінної у вигляді правил: ЯКЩО X ТО Y. В нашому випадку лінгвістична змінна «кутова швидкість» пов'язана зі змінною «Швидкість повороту градієнта» в базі правил саме такою моделлю. Вважаємо, що значення змінної «навколишня температура висока» дорівнює нулю, тобто штатний режим роботи (ЯКЩО X І НЕ (0) ТО Y еквівалентно ЯКЩО X ТО Y).

Форму функцій приналежності вихідних змінних зручно задавати прямокутну, що є розширеною формою Сінглтона і використовується в ряді контролерів нечіткої логіки. Розглянемо можливість синтезу логіко-лінгвістичної моделі в разі, коли функції належності вихідної змінної мають прямокутну форму а вхідні - кусочно-лінійну апроксимацію або довільну. Для більшості випадків характерно опис лінгвістичної змінної двома-трьома термами [28]. Припустимо, що лінгвістична змінна «швидкість повороту градієнта» описується трьома термами: «нульова», «негативна», «позитивна». Вихідна лінгвістична змінна «рекомендована кутова швидкість» характеризується термами: «мала», «позитивна», «негативна».

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ПОЖЕЖНОЮ МОНІТОРИНГОВОЮ МІКРОПРОЦЕСОРНОЮ СИСТЕМОЮ

4.1 Програмно-апаратне забезпечення виконавчого рівня системи пожежної моніторингу

Метою дослідження є перевірка адекватності розроблених моделей виконавчого, тактичного рівнів і практична перевірка запропонованих методів управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою на стратегічному та тактичному рівнях.

В якості об'єкта управління в експериментальному дослідженні застосовувалася розроблена і виготовлена автором фізична модель пожежної моніторингової мікропроцесорної системи (макетний зразок робота), представлена на рисунку 4.1.

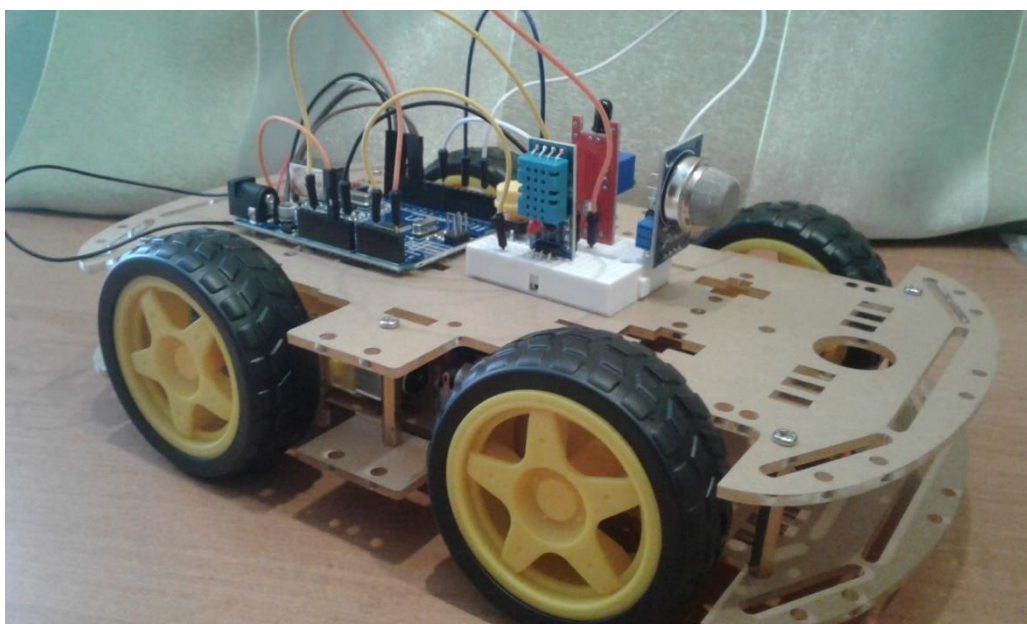


Рисунок 4.1. Макетний зразок пожежної моніторингової мікропроцесорної системи

Даний зразок виконаний на базі робота-автомобіля Arduino. Дві платформи зведені за допомогою болтів та латунних стійок, на які кріпляться елементи руху: двигуни – 4 одиниці, що в свою чергу приводять в рух 4 колеса. На

нижній платформі за допомогою прижимних болтів кріпиться драйвер двигунів L298N, а також блок живлення у вигляді 4 акумуляторів (рис. 4.2), а також підключення драйвера двигунів та плати Arduino Uno (рис. 4.3).

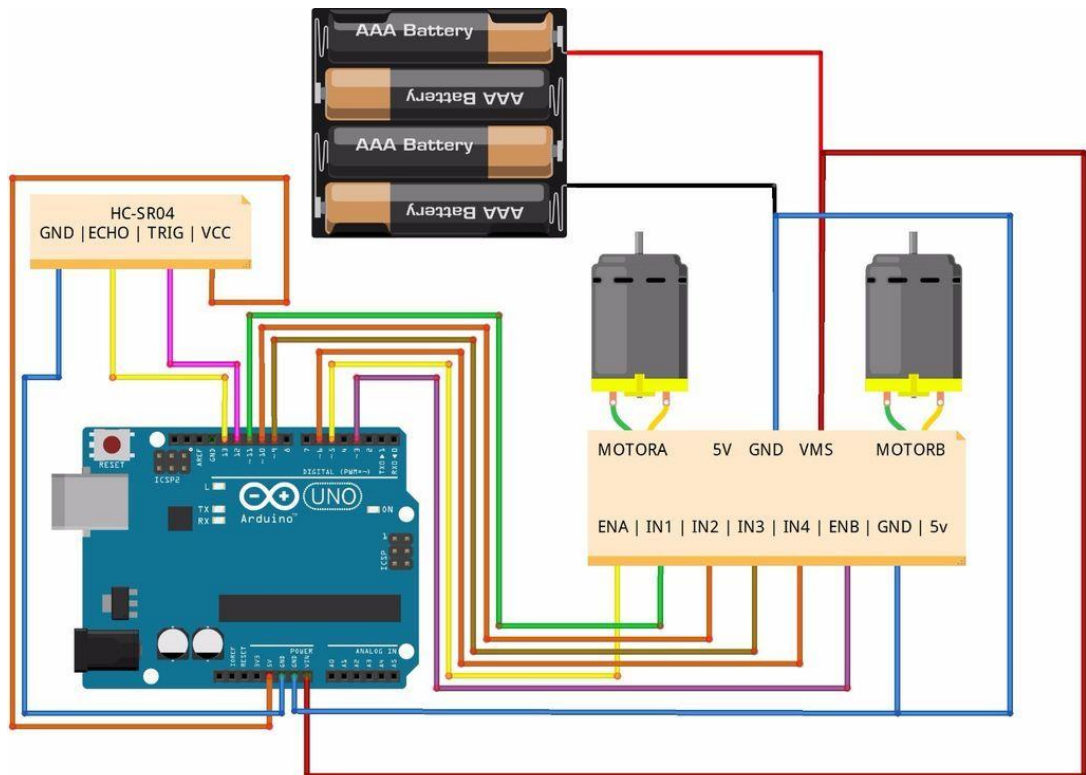


Рисунок 4.2 Склад мікропроцесорного модуля підключення двигунів та елементів живлення робота

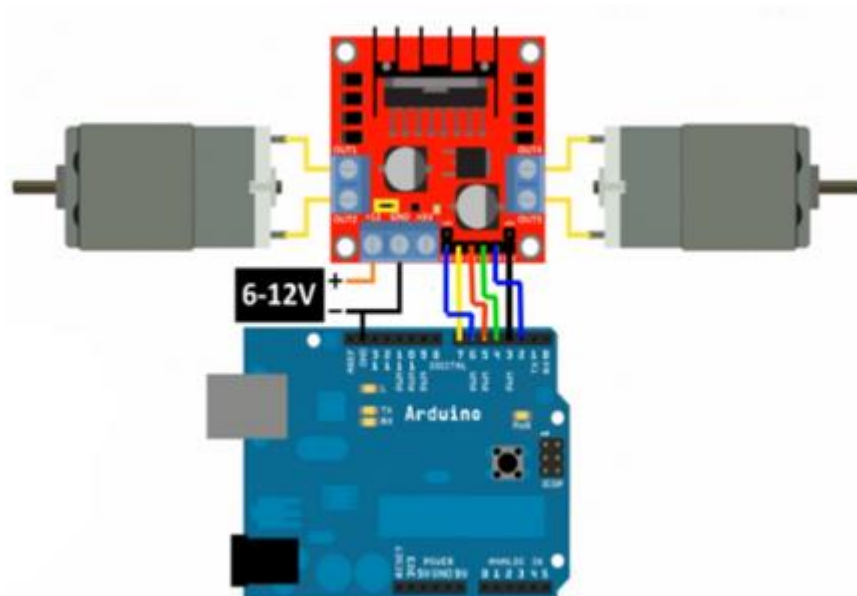


Рисунок 4.3 Склад мікропроцесорного модуля підключення драйвера двигунів та плати ArduinoUno

На верхній платформі кріпляться плата Arduino Uno R3 та додаткова макетна плата, до якої під'єднані модуль сенсора вогню, модуль сенсора газу MQ-4, модуль температури і вологості DHT11.

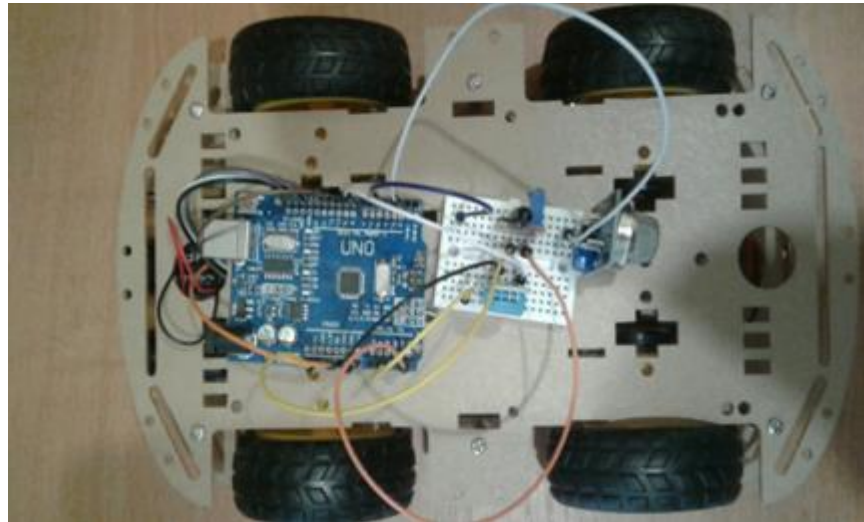


Рисунок 4.4 Склад мікропроцесорного пристрою підключення сенсорів до платформи ArduinoUno

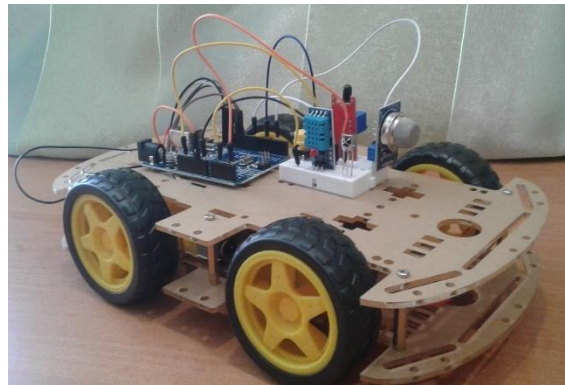
Модуль сенсора вогню дозволяє виявляти вогонь або джерело світла з довжиною хвилі $760\text{nm} \sim 1100\text{nm}$. Робоча напруга 3.3 - 5 В. Впевнено виявляє полум'я на відстані до 80 см. Кут спрацьовування до 60 градусів. Чутливість регулюється потенціометром. Вихід у сенсора цифровий, 0 або 1. Побудований на компараторі LM393.

Сенсор газу MQ4 може бути використаний в побутових і промислових приміщеннях, для виявлення витoku наступних газів: метан, природний газ і великі концентрації парів алкоголю, диму. Він має високу чутливість і малий час відгуку. Чутливість може бути налаштована за допомогою потенціометра на платі сенсора. Даний модуль може бути легко підключений до Arduino-сумісного контролера.

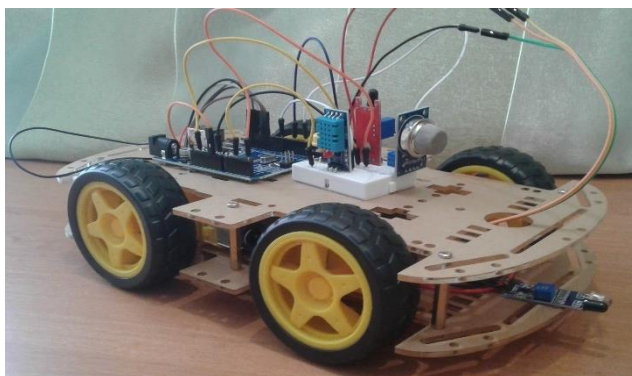
Сенсор DHT11 - це цифровий сенсор температури і вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається з емнісного сенсора вологості і термістора. Також, сенсор містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури.

При виконанні скретчу програми Arduino значення величин вимірювані сенсорами газу та температури та вологості виводяться на «Монітор порта». При виявленні полум'я спрацьовує модуль сенсора вогню – загоряється лампочка. Можна до схеми приєднати зумер, який видаватиме звук при появі полум'я.

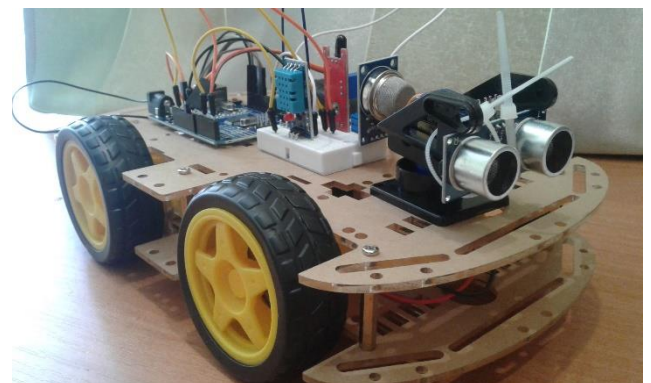
Плата Arduino дозволяє модифікувати та удосконалювати різні схеми. Робот-пожежник приводився в рух за допомогою смартфона програмою ArduinoBluetoothCar (Додаток Д), сенсора лінії KY-033 на TCRT5000 (робот переміщується вздовж виконаної лінії) (Додаток Е), модуля відстані HC-SR04 (при виникненні перешкоди на певній відстані робот змінить траєкторію руху) (Додаток В) (рис. 4.5).



а)



б)



в)

Рисунок 4.5 Схеми підключення елементів керування роботом:

а) модуль Bluetooth; б) сенсор лінії KY-033; в) модуль відстані HC-SR04

4.2 Дослідження роботи макетного зразка методом натурального моделювання

В рамках досліджень розробленого прототипу наведені результати натурних експериментів, проведених для кожного з рівнів керуючої підсистеми – від виконавчого до стратегічного.

Розглянемо роботу пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в умовах наближених до реальних. Відтворимо наступну тактичну ситуацію згідно запропонованої в роботі методики ведення моніторингу закритої пожежі. Пожежні розрахунки прибули на місце пожежі, що проходить в підвальному приміщенні, можливість оперативно визначити місцезнаходження вогнища пожежі відсутня. Видимість, при якій потрібно вести моніторинг, менше 1,5 метрів. Проаналізувавши ситуацію, що склалася, керівник гасіння пожежі приймає рішення застосовувати мікропроцесорні засоби і ставить перед оператором завдання виявити осередок загоряння і доповісти дані моніторингу.

Оператор, отримавши завдання, в ручному режимі підводить пожежну моніторингову мікропроцесорну систему до доступного дверного отвору, через який продукти горіння залишають підвальне приміщення, і запускає. Стратегічна система, проаналізувавши команду на коректність, передає її на тактичний рівень, на якому автоматично відбувається підключення контуру наведення. Використовуючи метод пропорційного наведення, пожежна моніторингова мікропроцесорна система, долаючи кілька приміщень, автономно досягає дверного отвору приміщення пожежі. Припустимо, в якості пожежі приміщення виступає приміщення з протокою етилового спирту площею 0,2x0,2 м, розглянуте вище (горіння спирту відбувається бездимний, але ми будемо використовувати дані експерименту).

Оцінюючи ситуацію, що склалася, керівник гасіння пожежі дає оператору команду продовжувати вести моніторинг і посилає пожежний розрахунок для ліквідації пожежі. Пожежна моніторингова мікропроцесорна система продовжує постачати оператора інформацією щодо характеристик пожежі. Розрахунок, вийшовши до роботи, ліквідує загоряння. Переконавшись, що горіння більше не

спостерігається і задимлення зменшилася, оператор в ручному режимі виводить пожежну моніторингову мікропроцесорну систему назад.

Аналогічно до наведеної ситуації, нами була змодельована наступна ситуація: робот рухався вздовж лінії, по обидва боки якої з певною дистанцією розташовувались тліючий матеріальний об'єкт та джерело вогню – свічка. За допомогою різних застосувань, що визначають траєкторію руху (Arduino Bluetooth Car, сенсора лінії KY-033, модуля відстані HC-SR04), робот починав рух до заданих об'єктів. Наближаючись до матеріального об'єкта та свічки, значення показників рівня CO та CO₂ змінювались залежно від відстані до цих точок та виводились до «Монітору порта» за допомогою WiFi-модуля. При наближенні до свічки спрацьовував модуль сенсора вогню. Алгоритми роботи програм представлені у додатках З, И, І.

Таким чином, дана модель дозволяє зробити моніторинг пожежної ситуації, виявити клас пожежі та провести вимірювання величин, які дозволяють визначити клас палаючої речовини.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Результатом магістерської кваліфікаційної роботи «Методи та мікропроцесорні засоби мобільного пожежного моніторингу» є розробка мікропроцесорного засобу, який дозволяє зробити моніторинг пожежної ситуації, виявити клас пожежі та провести вимірювання величин, які дозволяють визначити клас палаючої речовини. Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності. Для проведення технологічного аудиту залучено трьох незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами є: Кожем'яко Андрій Вікторович (к.т.н., доц. кафедри), Захарченко Сергій Михайлович (к.т.н., доц. кафедри), Колесник Ірина Сергіївна (к.т.н., доц. кафедри). Оцінювання комерційного потенціалу буде здійснене за критеріями, що наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 - Критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 5.1

11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу експертами розробки зведено в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	1 – Кожем'яко	2 – Захарченко	3 – Колесник
	Бали, виставлені експертами:		
1	4	3	4
Ринкові переваги (недоліки):			
2	3	3	3
3	4	4	4
4	3	3	3
5	3	3	4
Ринкові перспективи			
6	4	4	4
7	3	3	3
Практична здійсненність			
8	4	3	4
9	2	2	3
10	4	4	4
11	4	4	4
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₁ =41	СБ ₂ =39	СБ ₃ =43
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	41		

За даними таблиці 5.2 можна зробити висновок, щодо рівня комерційного потенціалу розробки. Зважимо на результат й порівняємо його з рівнями комерційного потенціалу розробки, що представлено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Рівень комерційного потенціалу розробки, становить 41 балів, що відповідає рівню «високий».

Розробка є модифікацією існуючих пристроїв на ринку, але застосовані в ній моделі та методи є новими в даній предметній області. Відмінними рисами розробки є: простота й зручність у використанні, висока якість та розвинений функціонал. Дану розробку планується реалізовувати на вітчизняному ринку. Розробка готова і знаходиться на стадії дослідного зразка.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи складається з таких етапів:

1. розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи;
2. розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи;
3. прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів даної роботи.

Основна заробітна плата для розробника розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, [\text{грн}], \quad (5.1)$$

де M - місячний посадовий оклад конкретного розробника, $M = 8000$ грн.;

T_p - кількість робочих днів у місяці, $T_p = 21$ день;

t - число днів роботи розробника, $t = 66$ дні.

$$Z_o = \frac{8000,00}{21} \cdot 66 = 25142,85 \text{ (грн).}$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Розробник	8000,00	572,72	66	37800,00
Керівник проекту	13000,00	590,91	3	1772,72
Всього				39572,72

Додаткова заробітна плата розраховується як 12 % від суми основної заробітної плати за формулою:

$$Z_d = 0,12 \cdot Z_o [\text{грн}]. \quad (5.2)$$

$$Z_d = 0,12 \cdot 39572,72 = 4748,73 \text{ (грн).}$$

Нарахування (ЕСВ) на заробітну плату становлять 22%:

$$H_{zn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ [грн]}, \quad (5.3)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників, грн;

β – ставка єдиного соціального внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

$$H_{zn} = (39572,72 + 4748,73) \cdot 0,22 = 9750,72 \text{ (грн)}.$$

Амортизація обладнання та приміщення, яке використовувалось для проведення розробки, розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ [грн]}, \quad (5.4)$$

де $Ц$ – балансова вартість обладнання, грн.;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань;

T – термін використання під час розробки, місяців.

Норма амортизації розраховується за формулою:

$$H_a = \frac{B_n - B_l}{B_n \cdot T_{kv}} \cdot 100 \text{ [грн]}, \quad (5.5)$$

де B_n і B_l – відповідно первісна та ліквідаційна вартість основних фондів;

T_{kv} – строк корисного використання, 5 роки.

Норма амортизаційних витрат становитиме:

$$H_a = \frac{20000 - 2000}{20000 \cdot 5} \cdot 100 = 18\% \text{ (грн)}.$$

Розрахуємо амортизаційні витрати на ноутбук, балансова вартість якого становить 20000 грн, а термін використання – 3 місяців:

$$A = \frac{20000 \cdot 18}{100} \cdot \frac{3}{12} = 900 \text{ (грн)}.$$

Зроблені розрахунки наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 5.5 – Амортизаційні відрахування

Найменування	Балансова вартість, грн	Термін використання, р	Фактична трив. використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Ноутбук	20000,00	5	3	900,00
Офісне приміщення	380000,00	20	3	4275,00
Всього:				5175,00

Інформацію про витрати на матеріали та комплектуючі, що використані при розробці внесено до таблиці 4.6 та 4.7.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали, що були використані для розробки продукту.

Найменування матеріалу	Одиниці виміру	Ціна за одиницю, грн	Витрачено, шт	Вартість витрачених матеріалів, грн
Папір	уп.	90	1	90,00
Ручка	шт.	15	2	30,00
Олівець	шт.	10	1	10,00
Загальна сума витрат за статтею				130,00

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали, що були використані для розробки продукту.

Найменування	Вартість, грн
Стартовий набір Arduino конструктор двоколісний CarKit 2 WD - ArduinoUNO	575,00
Акумулятори	40,00
Модуль датчика вогню	30,00
Модуль датчика газу MQ-4	61,00
Модуль температури і вологості DHT11	38,00
Універсальний інфрачервоний приймач VS1838B	4,00
Датчик лінії KY-033	19,00
Всього, грн.	767,00

Розрахунок витрат на силову електроенергію (V_e) здійснюється за формулою:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, [\text{грн}], \quad (5.6)$$

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, становить 1,69 грн./кВт.

Π – установлена потужність комп'ютера, кВт (у нашому випадку становить 0,4 кВт);

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання.

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, становить 0,3.

$$V_e = 1,69 \cdot 0,5 \cdot 528 \cdot 0,3 \approx 155 \text{ (грн)}.$$

Інші витрати $V_{\text{ін}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, Інтернет, оплату службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, Інтернет послуги. Інші витрати I_v можна прийняти як 150% від суми основної заробітної плати розробника:

$$V_{\text{ін}} = 150\% \cdot (Z_p)[\text{грн}]. \quad (5.7)$$

$$B_{\text{ін}} = 1,5 \cdot 39572,72 = 59359,08 \text{ (грн)}.$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – В:

$$B = 39572,72 + 4748,73 + 9750,72 + 5175 + 130 + 767 + 155 + 59359,08 = 119658,25 \text{ (грн)}.$$

Розраховуємо загальні витрати на виконання даної роботи $B_{\text{заг}}$ за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} \text{ [грн]}, \quad (5.8)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях ($\alpha = 1$.)

$$B_{\text{заг}} = \frac{119658,25}{1} = 119658,25 \text{ (грн)}.$$

Визначаємо загальні витрати на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи (ЗВ) за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} \text{ [грн]}, \quad (5.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи – 0,5.

$$ЗВ = \frac{119658,25}{0,5} = 239316,50 \text{ (грн)}.$$

Витрати на виконання наукової роботи та впровадження її результатів становитиме 239316,50 грн.

5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.

Виконання даної наукової роботи та впровадження її результатів складає приблизно 1 рік. Позитивні результати від впровадження розробки очікуються вже в перші місяці після впровадження.

Проведемо детальніше прогнозування позитивних результатів та кількісне їх оцінювання по роках.

Обчислимо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_{\text{я}} \cdot N + \Pi_{\text{я}} \cdot \Delta N)_i [\text{грн}], \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_{\text{я}}$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\Pi_{\text{я}}$ – основний якісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

Припустимо, що внаслідок впровадження результатів наукової розробки чистий прибуток підприємства збільшиться на 350,00 грн, а кількість одиниць реалізованої послуги збільшиться: протягом першого року – на 400 од., протягом другого року – ще на 800 од., протягом третього року – ще на 800 од. Орієнтовно: реалізація продукції до впровадження результатів наукової розробки складала 1 шт., а прибуток, що його отримувало підприємство на

одиницю продукції до впровадження результатів наукової розробки – 1200,00 грн.

Потрібно спрогнозувати збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_1$ протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1=1200\cdot 1+(1200+350)\cdot 400=621200,00 \text{ (грн).}$$

Обчислимо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_2$ протягом другого року:

$$\Delta\Pi_2=1200\cdot 1+(1200+350)\cdot (400+800)=1861200,00 \text{ (грн).}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_3$ протягом третього року становитиме:

$$\Delta\Pi_3=1200\cdot 1+(1200+350)\cdot (400+800+800)=3101200,00 \text{ (грн).}$$

Розрахунки показують, що комерційний ефект від впровадження розробки виражається у щорічному збільшенні чистого прибутку підприємства.

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Будемо вважати, що загальні витрати на виконання та впровадження результатів НДДКР (або теперішня вартість інвестицій PV) дорівнює 239316,50 грн. Очікуване збільшення прибутку $\Delta\Pi_i$, що його отримає підприємство від впровадження результатів наукової розробки: за 1 рік збільшення чистого прибутку відносно базового на 621200,00, 2 рік – на 1861200,00 грн, 3 рік – на 3101200,00 грн. Будуємо вісь часу, на яку наносимо всі платежі, що мають місце

під час виконання НДДКР та впровадження її результатів. Рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис. 5.1.

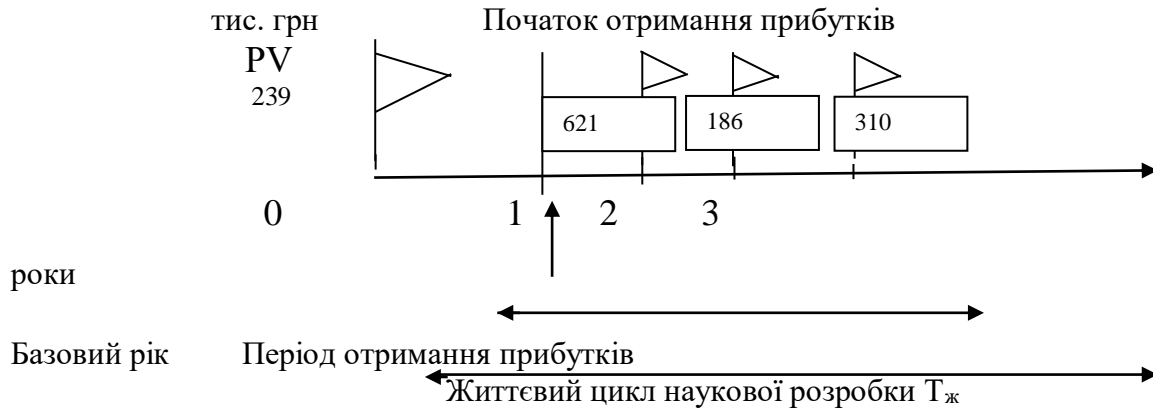


Рисунок 5.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ за формулою:

$$E_{\text{абс}} = (\text{ПП} - PV), [\text{грн}], \quad (5.11)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i}, [\text{грн}], \quad (5.12)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР,

роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки 0.

Розрахуємо вартість чистого прибутку:

$$\text{ПП} = \frac{621200}{(1 + 0,1)^1} + \frac{1861200}{(1 + 0,1)^2} + \frac{3101200}{(1 + 0,1)^3} = 4470237,33(\text{грн}).$$

Розраховуємо абсолютної ефективності вкладених інвестицій E_{abc} :

$$E_{abc} = 4470237,33 - 239316,50 = 4230920,83(\text{грн.})$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, а вкладання коштів у даний проект є доцільним.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v за формулою:

$$E_v = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 \quad (5.13)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_v = \sqrt[3]{1 + \frac{4230920,83}{239316,50}} - 1 = \sqrt[3]{18,67} - 1 = (2,65 - 1) = 1,65 \text{ або } 165\%$$

Порівнюємо відносну ефективність E_v з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування τ_{\min} , яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування τ_{\min} визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; $d = 0,2$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$, але може бути і значно більше, у нашому випадку $f = 0,05$.

$$\tau = 0,2 + 0,05 = 0,25$$

Оскільки $E_v = 165\% > \tau_{\min} = 0,25 = 25\%$, то інвестор буде зацікавлений вкладати гроші в дану наукову розробку, адже він отримає значно більші прибутки, ніж якщо просто покладе свої гроші на депозит у комерційному банку.

Визначаємо термін окупності вкладених інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_v} [\text{року}]. \quad (5.15)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{1,65} = 0,6(\text{року}).$$

Термін окупності інвестицій $T_{ок} 0,6 < 3 \dots 5$ років і свідчить, що фінансування даної наукової розробки є доцільним.

5.5 Висновок

В даному розділі було виконано оцінювання комерційного потенціалу розробки. Проведено технологічний аудит з залученням трьох незалежних експертів. Визначено, що рівень комерційного потенціалу розробки високий.

Аналіз комерційного потенціалу розробки показав, що нова розробка за своїми характеристиками випереджає аналоги, що підтверджує її перспективність. Він має кращі функціональні показники, а тому є конкурентоспроможним товаром на ринку.

Згідно із розрахунками всіх статей витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи загальні витрати на розробку складають 239316,50 грн.

Розрахована абсолютна ефективність вкладених інвестицій в сумі 4230920,83 грн свідчить про отримання прибутку інвестором від комерціалізації розробки.

Щорічна ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій складає 165 %, що вище за мінімальну бар'єрну ставку дисконтування, яка складає 25%. Це означає потенційну зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки. Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій становить 0,6 року, що також свідчить про доцільність фінансування нової розробки.

ВИСНОВКИ

У дослідженні вирішена актуальна науково-технічна задача з управління мобільною пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою в умовах закритих пожеж, що характеризуються високою щільністю задимлення і складним плануванням приміщень та об'єктів.

За результатами проведеного дослідження можна зробити наступні висновки.

1. Результати чисельного моделювання системи наведення пожежної моніторингової мікропроцесорної системи в скалярному температурному полі показують, що в разі безперервної системи наведення величина модуля градієнта температури не впливає на характер траєкторії при заданому коефіцієнті наведення, що дозволяє задавати постійне значення цього коефіцієнта в системі. В ході чисельного моделювання встановлено, що мінімальна відстань до опорної точки, при якому можливе здійснення точного наведення, становить 2-3 метри, що цілком достатньо для цілей моніторингу вогнища пожежі.

2. Порівняння результатів натурних експериментів і чисельного моделювання дозволяють стверджувати, що розроблена модель відповідає процесу наведення і експериментальному зразку пожежної моніторингової мікропроцесорної системи відповідно.

3. Розроблено методику моніторингу закритої пожежі з використанням пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що включає в себе рішення оберненої задачі динаміки пожежі з зосередженими параметрами і метод пропорційного наведення на джерело загоряння в скалярному температурному полі в групі суміжних приміщень.

4. Запропоновано реалізацію розробленої методики у вигляді багаторівневої підсистеми управління пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, що включає стратегічний, тактичний і виконавчий рівні.

5. Розроблено експертну систему стратегічного рівня управління, що підтримує прийняття рішень оператора, яка координує роботу тактичного рівня, що здійснює діагностику роботи підсистем робота і дає рекомендації щодо дій особового складу пожежних підрозділів при різних класах пожежі.

6. Визначено склад необхідного вимірювального обладнання пожежної моніторингової мікропроцесорної системи для оцінки основних характеристик пожежі (виду запалених речовин, стадії пожежі, швидкості вигорання) в режимі експрес-аналізу: модуль сенсора вогню, модуль сенсора газу MQ-4, модуль температури і вологості DHT11.

7. Розроблено макетний зразок пожежної моніторингової мікропроцесорної системи, розроблено програмно-апаратне забезпечення системи управління пожежною моніторинговою мікропроцесорною системою.

Наукові і практичні результати дослідження можуть бути використані при створенні систем управління мобільними моніторинговими мікропроцесорними системами пожежного призначення. Результати по дослідженню розв'язання оберненої задачі динаміки пожежі, а саме, метод розв'язання оберненої задачі, метод визначення стехометричних коефіцієнтів реакції горіння, класифікатор виду горючого навантаження, склад вимірювального обладнання, рекомендуються до використання при створенні засобів моніторингу пожежної обстановки в приміщеннях, а також для розробки перспективних алгоритмів виявлення пожежі в системах пожежної сигналізації.

Рекомендується використання АЦП з роздільною здатністю не нижче 14 біт (16384 ступенів квантування на один градус) при створенні систем наведення робота на вогнище пожежі в скалярному температурному полі або іншого небезпечного фактору пожежі на точність наведення. Отримані результати за рішенням завдання наведення робота на вогнище пожежі дозволяють розширити клас розв'язуваних задач екстремальної мікропроцесорної схемтехніки і можуть бути також застосовані для виявлення джерел полів з іншими фізико-хімічними характеристиками, наприклад витоку газу або епіцентрів хімічного зараження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азаров О. Д., Богомоллов С. В. Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем, – Вінниця, – 2013, – 142 с.
2. Азаров О. Д., Дудник О. В., Крупельницький Л. В. Багаторозрядні АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 2. — С. 66—72
3. Александер М. Б. Методи та моделі забезпечення захисту безпроводних сенсорних мереж : дис. докт. техн. наук : 05.13.21 / Національний авіаційний університет. Київ, 2016. 225 с.
4. Богомоллов С. В. Системи числення з ваговою надлишковістю для швидкодіючих АЦП послідовного наближення і ЦАП, що самокалібруються : [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, О. О. Решетнік. // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – №3. – С. 1-8.
5. Володин Ю.С., Михайлов Б.Б., Ющенко А.С. Нечеткая классификация препятствий мобильным роботом с использованием телевизионной системы пространственного зрения // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник научных трудов VI-й Международной научно-технической конференции, Коломна, 16-19 мая 2011г. М., 2011.Т.1, С.372-380.
6. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров [и др.]. М.: Наука, 2006. 333 с.
7. Крупельницький Л. В. Захист даних в системах ідентифікації об'єктів [Електронний ресурс] / Л. В. Крупельницький, В. П. Семеренко, О. І. Савчук // Матеріали XLVI Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 24-25 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2141>
8. Кузик А. Д. Математичне моделювання пожежної небезпеки лісів. Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2011. Вип. 21.16. С. 104 – 112.

9. Л. В. Крупельницький, В. О. Кінзерський Методи проектування мікропроцесорних пристроїв керування технологічними процесами // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Тези доповідей Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції. м. Вінниця, 28-30 травня 2014 року. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – с. 57-58 с.

10. Мельник Олексій, Куніцький Ярослав. Завдання і вимоги до системи управління мобільною мікропроцесорною системою. НАУКА. ОСВІТА. МОЛОДЬ : матеріали XIII Всеукр. наук. конф. студентів та молодих науковців (Умань. 22 квітня 2020 р.) / за ред. О. І. Безлюдного. -Умань : Візаві. 2020. С. 159-163.

11. Моторьгин Ю.Д. Системный анализ моделей описания процессов возникновения и развития пожаров: Автореф. дис. ... д-р. тех. наук: 05.13.01. СПб., 2011. 42с.

12. О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, Л. В. Крупельницький Математичні моделі динамічних похибок I-го роду для швидкодіючих порозрядних АЦП із ваговою надлишковістю / Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – №2. – С. 8–14.

13. Поляков Г. А., Шматков С. И., Толстолужская Е. Г., Толстолужский Д. А. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных времяпараметризованных вычислительных системах : монография. Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 672 с

14. Пузач СВ. Методы расчета тепломассобмена при пожаре в помещениях и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М.: Академия ГПС МВД России, 2005. С. 52-91.

15. Путренко В. В. Інтелектуальний аналіз небезпеки виникнення природних пожеж на основі геоінформаційних технологій. Технологічний аудит та резерви виробництва. Харків, 2016. № 4/3(30). С. 67–72.

16. Розробка системи контролю та управління роботизованими мобільними засобами для комплексного моніторингу стану середовища та наземних

об'єктів. 2017. URL: https://report.kpi.ua/files/2016_2835.pdf (дата звернення: 08. 12. 2017).

17. Система централізованого пожежного спостереження. URL: <http://isecurity.com.ua/sposterezhennya/>.

18. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист. Київ : Знання, 2013. 487 с. 158-119. Іванець Г. В., Бугайов А. Ю. Прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі статистичних даних моніторингу. Харків : НУЦЗУ, 2016. №. 23. С. 39–45.

19. Шеремет С. А. Система моніторинга лесных пожаров на основе сенсорных сетей : материалы Конференции ИКТМ 2013. URL: <http://k504.khai.edu/index.php/iktm-2013/1142-sistema-monitoringa-lesnykhpozharov-na-osnov-sensornykh-setej>.

20. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации : задачи и методы стохастического программирования. Москва : КРАСАНД, 2010. 400 с.

21. Ющенко А.С. К проблеме взаимодействия человека и интеллектуальной робототехнической системы [Электронный ресурс] / Мехатроника и робототехника: Доклад на международном научно-техническом конгрессе // URL: <http://www.mr.rtc.ru/doc/report/doc24.pdf>.

22. Ямненко Ю. С., Телега В. В., Немцінова К. С. Використання вейвлетперетворень Хаара та ОБ при аналізі сигналів. ElectronCommun. Теорія та засоби обробки сигналів і зображень 2017. Vol. 22, № 4. С. 51–58 DOI: 10.20535/2312-1807.2017.22.4.105272.

23. An experiment on squad navigation of human and robots/ L. Nomdedeu [etc.] // Proceedings of the 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Hanoi, Vietnam. 2008. P.1212-1218.

24. Bretschneider N., Brattke S., Rein K. Head Mounted Displays for Fire Fighters //Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC'2006). Citesser. 2006. P.109-125.

25. Distributed Search and Rescue with Robot and Sensor Team / Aveek K. Das [etc.] // Proceedings of the 4th International Conference on Field and Service Robotics (FSR 2003). Lake Yamanaka, Japan. 2003. P.567-573.
26. G. Kowaldo, D. Rawlinson. Bi-modal search using complementary sensing (olfaction/vision) for odour source localization // Robotics and Automation ICRA'2006: Proceedings of IEEE International Conference. Orlando FL. 2006. P.2041-2046.
27. G. Kowaldo, R.A. Russell. Advanced Airflow modeling using Naive Physics for odour localization // Australasian Conference on Robotics and Automation. Sydney. 2005. P. 215-230.
28. Hugues E., Rochel O., Martinez D. Navigation for a robot in a turbulent odor plume using bilateral comparison // Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Robotics ICAR'2003. Coimbra, Portugal. P.381-386.
29. J. Wang, M. Lewis, P. Scerri. Cooperating robots for search and rescue // Proceedings of AAMAS '06. Hakodate, Japan. 2005. P.92-99.
30. K. Schilling, F. Driewer. Remote Control of Mobile Robots for Emergencies // Proceedings IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium Analysis, Design and Evaluation of Human-Machine Systems. Prague, Czech Republic. 2005. P.3050-3056.
31. Kumar V., Rus D., Singh S. Robot and sensor networks for first responders // IEEE Pervasive computing. 2004. October-December. P.24-33.
32. Lochmatter T., Raemy X. A comparison of casting and spiraling algorithms for odor source localization in laminar flow // Robotics and Automation ICRA'2008, IEEE International Conference on Issue. Pasadena, CA. 2008. P.1138-1143.
33. Martinez D., Rochel O., Hugues E. A biomimetic robot for tracking specific odors in turbulent plumes // Autonomous Robots. 2006. V.20, Number 3. P. 185-195.
34. MatLab. The Language of Technical Computing URL: https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo.

35. Non-communicative robot swarming in the GUARDIANS project / J. Saez-Pont [etc.] // Proceedings of the International Workshop on Robotics for Risky Interventions and Surveillance of the Environment. Benicassim, Spain. 2008. P.125-137.

36. P. Perner (Ed.). Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. Lecture Notes in Artificial Intelligence : the refereed proceedings of the 6 th International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, MLDM 2009, held in Leipzig, Germany, in July 2009. Vol. 5632, P. 824.

37. Yu Chen. S-nets: smart sensor networks // Thesis for a degree of Master of Science. Utah, USA. 2000. 75P.

ДОДАТКИ

Додаток А

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри обчислювальної техніки

Мартинюк Т.Б.

« _____ » _____ 2020 року

**ТЕХНІЧНЕ
ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Мельника Олексія Сергійовича

Тема роботи: «Методи та мікропроцесорні засоби мобільного пожежного моніторингу»

керівник роботи Крупельницький Л.В., к.т.н, доц. затверджена наказом Вінницького національного технічного університету від 06.03.2020 року № 76.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Опрацювання літератури з теми дослідження</i>	<i>Лютий 2020</i>	
2	<i>Складання плану дипломної роботи</i>	<i>Лютий 2020</i>	
3	<i>Написання першого та другого розділів дипломної роботи</i>	<i>Лютий 2020</i>	
4	<i>Проведення експериментальної роботи</i>	<i>Березень 2020</i>	
5	<i>Написання третього, четвертого та п'ятого розділів дипломної роботи</i>	<i>Квітень 2020</i>	

Магістрант _____ Мельник О.С.

Керівник роботи _____ Крупельницький Л.В.

Рецензент _____ Дудатьєв А.В.

Додаток В

Скретч-програма використання модуля відстані HC-SR04 та підключення всіх сенсорів

```
#include "DHT.h"
#define Trig 8
#define Echo 9
#define INTERVAL_GET_DATA 2000
#define FLAMEPIN    A12
#define DHTPIN 2
const int in1 = 2; // IN4 pin 2
const int in2 = 4; // IN3 pin 4
const int in3 = 5; // IN2 pin 5
const int in4 = 7; // IN1 pin 7
int ENB1 = 3;
int ENA2 = 6;
void setup()
{
  pinMode(Trig, OUTPUT);
  pinMode(Echo, INPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
  pinMode (ENB1, OUTPUT);
  pinMode (ENA2, OUTPUT);
}
unsigned int impulseTime=0;
unsigned int distance_sm=0;
void loop()
```

```
{
digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10); //
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime=pulseIn(Echo, HIGH);
distance_sm=impulseTime/58;
if (distance_sm>20) //
{
digitalWrite(in1, HIGH);
delay(300);
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, HIGH);
delay(300);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
analogWrite(ENB1,250);
analogWrite(ENA2,250);
}
else
{
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
delay(500);
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, HIGH);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, HIGH);
```

```

analogWrite(ENB1,250);
analogWrite(ENA2,250);
delay(200);
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, HIGH);
digitalWrite(in3, HIGH);
digitalWrite(in4, LOW);
analogWrite(ENB1,250);
analogWrite(ENA2,250);
delay(100);
}
delay(50);
}

unsigned long millis_int1=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  if(millis()-millis_int1 >= INTERVAL_GET_DATA) {
    float flame= get_data_flame();
    Serial.print("flame=");
    Serial.print(flame);
    millis_int1=millis();
  }
}

float get_data_flame() {
float value=analogRead(FLAMEPIN);
  return (float)value;
}

```



```

const int analogInPin = A1;
int sensorValue = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  if (sensorValue >= 750)
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  else
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  Serial.print("sensor = ");
  Serial.println(sensorValue);
  delay(1000);
}

```

```

DHT dht(DHTPIN, DHT11);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}

void loop() {
  delay(2000);

  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("Не вдається визначити покази");
    return;
  }

  Serial.print("Вологість: "+h+" %\t"+"Температура: "+t+" *C ");

}

```

Додаток Д

Фрагмент скретч-програми використання Arduino Bluetooth Car

```

const int motorA1 = 5; // Pin 2 of L293
const int motorA2 = 6; // Pin 7 of L293
const int motorB1 = 10; // Pin 10 of L293
const int motorB2 = 9; // Pin 14 of L293
//Leds connected to Arduino UNO Pin 12
const int lights = 12;
//Buzzer / Speaker to Arduino UNO Pin 3
const int buzzer = 3 ;
//Bluetooth (HC-06 JY-MCU) State pin on pin 2 of Arduino
const int BTState = 2;
//Calculate Battery Level
const float maxBattery = 8.0;// Change value to your max battery voltage level!
int perVolt; // Percentage variable
float voltage = 0.0; // Read battery voltage
int level;
// Use it to make a delay... without delay() function!
long previousMillis = -1000*10;// -1000*10=-10sec. to read the first value. If you
use 0 then you will take the first value after 10sec.
long interval = 1000*10; // interval at which to read battery voltage, change it if
you want! (10*1000=10sec)
unsigned long currentMillis; //unsigned long currentMillis;
//Useful Variables
int i=0;
int j=0;
int state;
int vSpeed=200; // Default speed, from 0 to 255

void setup() {
  // Set pins as outputs:
  pinMode(motorA1, OUTPUT);
  pinMode(motorA2, OUTPUT);
  pinMode(motorB1, OUTPUT);
  pinMode(motorB2, OUTPUT);
  pinMode(lights, OUTPUT);
  pinMode(BTState, INPUT);
  // Initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  //Stop car when connection lost or bluetooth disconnected
  if(digitalRead(BTState)==LOW) { state='S'; }

```

```

//Save income data to variable 'state'
if(Serial.available() > 0){
  state = Serial.read();
}

//Change speed if state is equal from 0 to 4. Values must be from 0 to 255 (PWM)
if (state == '0'){
  vSpeed=0;}
else if (state == '1'){
  vSpeed=100;}
else if (state == '2'){
  vSpeed=180;}
else if (state == '3'){
  vSpeed=200;}
else if (state == '4'){
  vSpeed=255;}

/*****Forward*****/
//If state is equal with letter 'F', car will go forward!
if (state == 'F') {
  analogWrite(motorA1, vSpeed); analogWrite(motorA2, 0);
  analogWrite(motorB1, 0);  analogWrite(motorB2, 0);
}
/*****Forward Left*****/
//If state is equal with letter 'G', car will go forward left
else if (state == 'G') {
  analogWrite(motorA1, vSpeed); analogWrite(motorA2, 0);
  analogWrite(motorB1, 200);  analogWrite(motorB2, 0);
}
/*****Forward Right*****/
//If state is equal with letter 'I', car will go forward right
else if (state == 'I') {
  analogWrite(motorA1, vSpeed); analogWrite(motorA2, 0);
  analogWrite(motorB1, 0);  analogWrite(motorB2, 200);
}
/*****Backward*****/
//If state is equal with letter 'B', car will go backward
else if (state == 'B') {
  analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, vSpeed);
  analogWrite(motorB1, 0);  analogWrite(motorB2, 0);
}
/*****Backward Left*****/
//If state is equal with letter 'H', car will go backward left
else if (state == 'H') {

```

```

    analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, vSpeed);
    analogWrite(motorB1, 200); analogWrite(motorB2, 0);
}
/*****Backward Right*****/
//If state is equal with letter 'J', car will go backward right
else if (state == 'J') {
    analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, vSpeed);
    analogWrite(motorB1, 0); analogWrite(motorB2, 200);
}
/*****Left*****/
//If state is equal with letter 'L', wheels will turn left
else if (state == 'L') {
    analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 200); analogWrite(motorB2, 0);
}
/*****Right*****/
//If state is equal with letter 'R', wheels will turn right
else if (state == 'R') {
    analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0); analogWrite(motorB2, 200);
}
/*****Lights*****/
//If state is equal with letter 'W', turn leds on or of off
else if (state == 'W') {
    if (i==0){
        digitalWrite(lights, HIGH);
        i=1;
    }
    else if (i==1){
        digitalWrite(lights, LOW);
        i=0;
    }
    state='n';
}
/*****Horn sound*****/
//If state is equal with letter 'V', play (or stop) horn sound
else if (state == 'V'){
    if (j==0){
        tone(buzzer, 1000);//Speaker on
        j=1;
    }
    else if (j==1){
        noTone(buzzer); //Speaker off
        j=0;
    }
}

```

```

    state='n';
  }
  /*******Stop*****/
  //If state is equal with letter 'S', stop the car
  else if (state == 'S'){
    analogWrite(motorA1, 0); analogWrite(motorA2, 0);
    analogWrite(motorB1, 0); analogWrite(motorB2, 0);
  }
  /*******Battery*****/
  //Read battery voltage every 10sec.
  currentMillis = millis();
  if(currentMillis - (previousMillis) > (interval)) {
    previousMillis = currentMillis;
    //Read voltage from analog pin A0 and make calibration:
    voltage = (analogRead(A0)*5.015 / 1024.0)*11.132;
    //Calculate percentage...
    perVolt = (voltage*100)/ maxBattery;
    if (perVolt<=75) { level=0; }
    else if (perVolt>75 && perVolt<=80) { level=1; } // Battery level
    else if (perVolt>80 && perVolt<=85) { level=2; } //Min -----
Max
    else if (perVolt>85 && perVolt<=90) { level=3; } // | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | >
    else if (perVolt>90 && perVolt<=95) { level=4; } // -----
    else if (perVolt>95) { level=5; }
    Serial.println(level);
  }
}

```

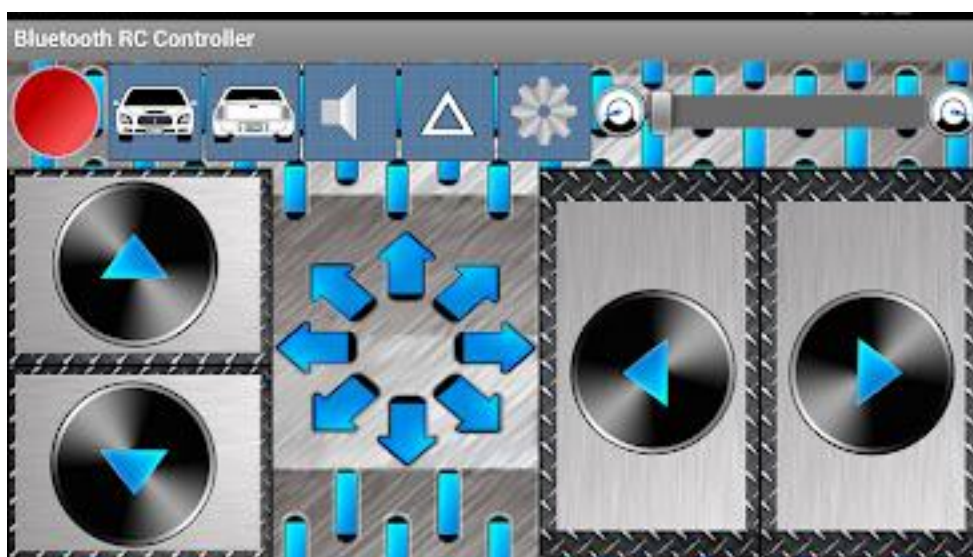
Додаток Е

Фрагмент скретч-програми використання KY-033 на TCRT5000

```
#define PIN_SENSOR 2
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_SENSOR, INPUT);
}

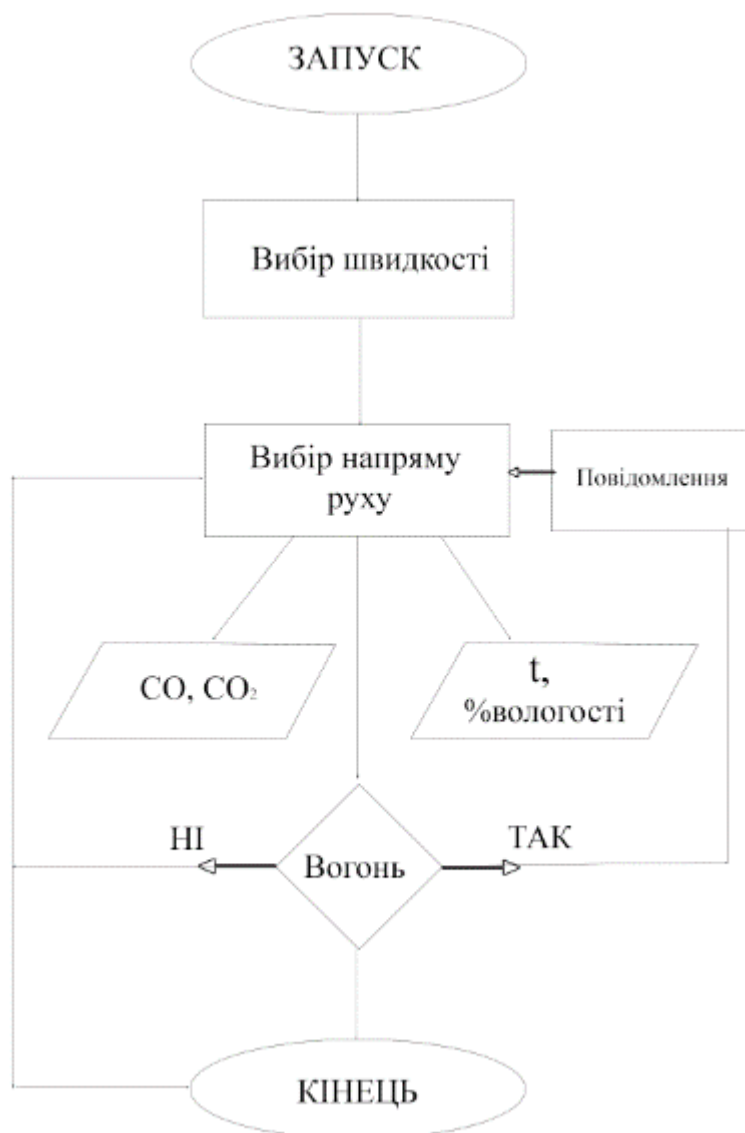
void loop() {
  if(digitalRead(PIN_SENSOR)) { //
    Serial.println("LIGHT");
  }
  else {
    Serial.println("BLACK");
  }
  delay(200);
}
```

Додаток Є
Вікно програми BluetoothRCController



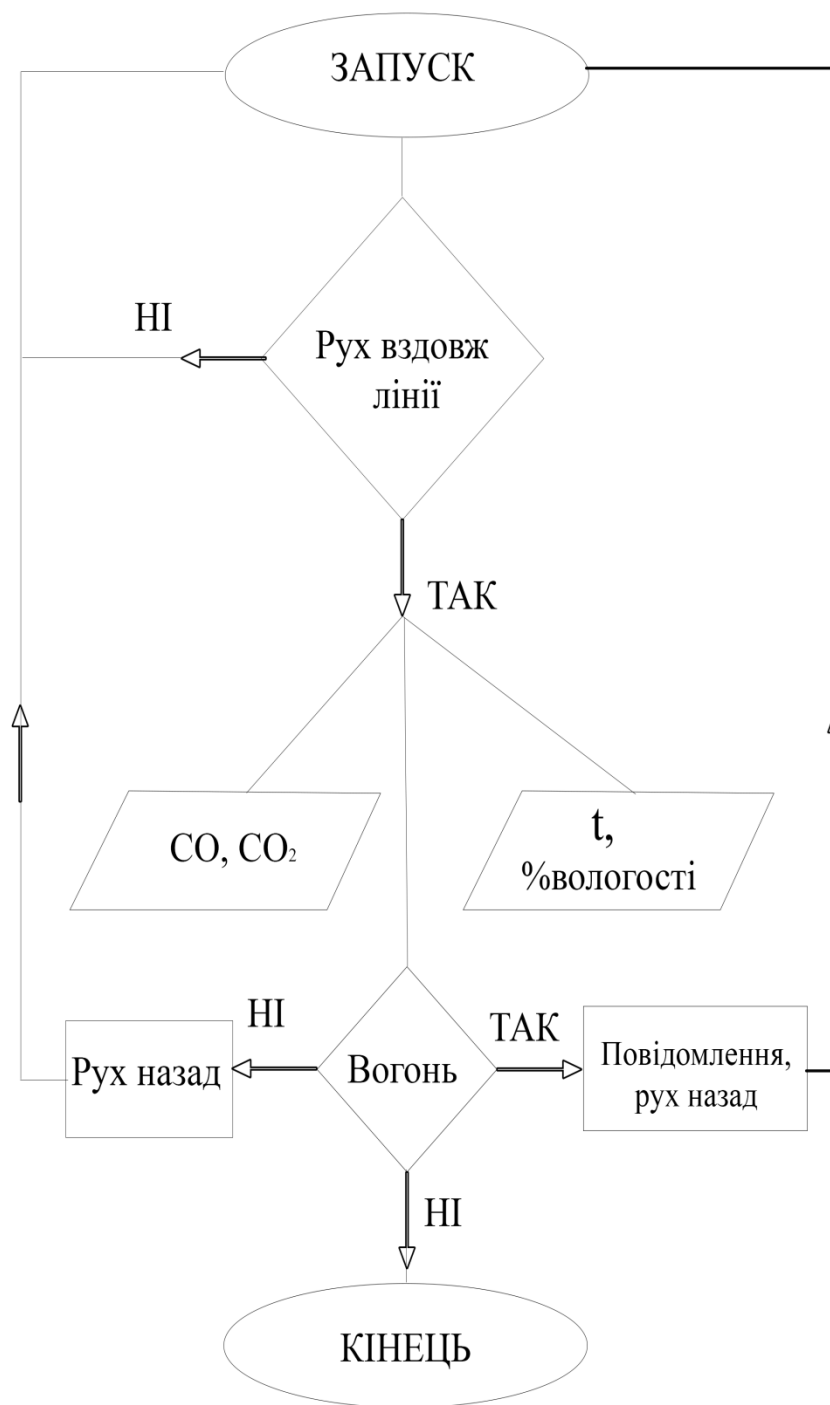
Додаток 3

Алгоритм роботи з використанням Arduino Bluetooth Car



Додаток И

Алгоритм робота з використанням сенсора лінії КУ-033



Додаток І

Алгоритм робота з використанням модуля відстані HC-SR04

