

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

Інтелектуальна комп'ютерна система підтримки прийняття рішень при
пожежній небезпеці

Виконав:

здобувач другого року навчання,
групи КІТм-23-1

Данило СІДЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Комп'ютерні інтелектуальні
технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. каф. КІТС Микола КОРАБЛЬОВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Олег РУДЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Комп'ютерної інженерії та управління
Кафедра	Комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютерні інтелектуальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Сіденку Данилу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальна комп'ютерна система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці

затверджена наказом по університету від “ 28 ” жовтня 2024 р. № 1156Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 15 січня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

1) дані Міністерства надзвичайних ситуацій України;

2) побудова ІСППР при пожежній небезпеці;

3) середовище моделювання – Matlab;

4) мови програмування – Java і Python.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

5) Аналіз стану протипожежної безпеки

6) Основні принципи побудови СЦПС

7) Інтелектуальна система центрального пожежного спостереження

8) Система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці

9) Організація виходу людей з будівель під час пожежі

10) Прведення експериментальних досліджень

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Видача та узгодження теми роботи.	11.11.2024	
2.	Аналіз стану протипожежної безпеки.	12.11 - 17.11	
3.	Основні принципи побудови СЦПС	18.11 - 01.12	
4.	Побудова інтелектуальної СЦПС..	02.12 – 15.12	
5.	Побудова СЦПС при пожежній небезпеці..	16.12 – 22.12	
6.	Організація виходу людей з будівель під час пожежі.	23.12 – 29.12	
7.	Прведення експериментальних досліджень.	30.12 – 12.01	
8.	Підготовка пояснювальної записки.	13.01 - 19.01	
9.	Підготовка графічного матеріалу.	20.01 - 22.01	
10.	Захист кваліфікаційної роботи.	25.01.2025	

Дата видачі завдання 11.11.2024

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

професор кафедри КІТС Микола КОРАБЛЬОВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 84 с., 14 рис., 2 дод., 24 джерел.

ПРОТИПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА, РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОЖЕЖІ, ПОЖЕЖНЕ СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПРОГНОЗУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці, що дозволить підвищити ефективність інформаційних і телекомунікаційних систем управління діяльністю аварійно-рятувальних підрозділів та організації виходу людей з приміщень при пожежі.

Об'єктом дослідження являються системи пожежного спостереження.

Предметом дослідження є методи та моделі прогнозування розповсюдження пожежі та організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі.

У роботі проведено аналіз існуючих інформаційних систем протипожежної безпеки та розглянуто принципи побудови інтелектуальних систем централізованого пожежного спостереження. Розглянуті математичні моделі прогнозування і програмні засоби моделювання процесу розповсюдження пожежі, а також побудова гібридної нейронної мережі і програмних засобів для організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі.

ABSTRACT

The explanatory note of qualification work 84 pages, 24 figures, 2 appendices, 24 sources.

FIRE SAFETY, FIRE PROPAGATION, FIRE SURVEILLANCE, INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM, NEURAL NETWORK, FORECASTING, OPTIMIZATION

The qualification work aims to develop an intelligent computer system for supporting decision-making in case of fire danger, which will increase the efficiency of information and telecommunication systems for managing the activities of emergency and rescue units and organizing the exit of people from premises in case of fire.

The object of the study is fire surveillance systems.

The subject of the study is methods and models for predicting the spread of fire and organizing optimal exit of people from premises in case of fire.

The paper analyzes existing fire safety information systems and considers the principles of building intelligent centralized fire surveillance systems. Mathematical forecasting models and software tools for modeling the fire spread process are considered, as well as the construction of hybrid neural networks and software tools for organizing optimal exit of people from premises in case of fire.

АНОТАЦІЯ

Сіденко Д.І. Інтелектуальна комп'ютерна система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці. – Магістерська кваліфікаційна робота.

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу побудови інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці на основі застосування системного підходу, моделювання та інтелектуального аналізу даних.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці, що дозволить підвищити ефективність інформаційних і телекомунікаційних систем управління діяльністю аварійно-рятувальних підрозділів та організації виходу людей з приміщень при пожежі.

Об'єктом дослідження являються системи пожежного спостереження.

Предметом дослідження є методи та моделі прогнозування розповсюдження пожежі та організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі.

Методами досліджень являються: системний аналіз та системний підхід до побудови гібридних нейронних мереж для пошуку рішень в умовах інформаційної невизначеності, методи функціонального аналізу, теорії оптимізації, теорії диференційних рівнянь, теорії прийняття рішень та теорії графів.

Наукова новизна полягає у розв'язанні задачі визначення сил і засобів, необхідних для гасіння пожежі, прогнозування меж поширення пожежі, а також створення системи евакуації відвідувачів з торгівельних центрів при виникненні пожежі, яка базується на використанні нейронних мереж і теорії графів.

Практична цінність отриманих результатів полягає у тому, що розроблені методи і алгоритми доцільно використовувати в інформаційних пожежних системах для дистанційного визначення категорії пожежі, вибору сил і засобів для її гасіння, визначення оптимальних шляхів евакуації відвідувачів, що дозволить скоротити кількість людських жертв, час гасіння пожеж і знизити матеріальні збитки.

У першому розділі розглянуто актуальність задачі побудови системи централізованого пожежного спостереження (СЦПС). Проведено аналіз системи протипожежної безпеки в Україні, який вказав на необхідність покращення протипожежного захисту об'єктів та своєчасного реагування аварійно-рятувальними підрозділами на спрацьовування систем пожежної автоматики.

Розглянуто приклади реалізації систем пожежного спостереження та проаналізовані різні підходи щодо функціональних можливостей програмного забезпечення існуючих автоматизованих СЦПС, які повинні забезпечувати надійність доставки повідомлень, контроль прийняття сигналу про пожежу, ведення відповідного обліку про об'єкти пожежного спостереження, інформаційний обмін між підсистемами, передачу та отримання даних у відповідному форматі.

Проведено аналіз існуючих інформаційних систем пожежної безпеки, таких як система тривожних повідомлень «СОС 112», яка виконує функції спостереження за роботою систем пожежної, охоронної та техногенної автоматики і дозволяє виконувати цілодобовий online-моніторинг об'єкту. Система розроблена так, щоб можна було резервувати канали зв'язку. Пульт спостереження має незалежні інтернет-канали, через які можна здійснювати прийом повідомлень, а кожен комунікатор має не менше двох незалежних SIM-карт. За допомогою програмного забезпечення пульта можна заповнювати, змінювати базу даних апаратури і об'єктів, переглядати статистичні звіти та журнали, але основною їх функцією являється цілодобове спостереження за станом об'єктів, які слід захищати.

Даний комплекс може бути ефективно використаний при створенні пультів пожежного, техногенного та охоронного спостереження, пультів спостереження за технічним обладнанням, при моніторинзі рухомих об'єктів, а також при здійсненні спостереження за системами диспетчеризації об'єктів та збору сигналів.

Розглянуті основні принципи побудови СЦПС, яку можна віднести до класу інформаційно-телекомунікаційних систем. При створенні даної системи дотримання принципу системності є основоположним, який дозволяє спостерігати СЦПС як єдине ціле; на цій основі виявляти між структурними елементами різні типи зв'язків, що забезпечує цілісність системи.

У другому розділі розглянуті питання побудови інтелектуальної інформаційної система пожежної безпеки. Обґрунтована необхідність створення інтелектуальної СЦПС. На основі проведеного аналізу багатьох систем зроблено висновок, що економічно і функціонально доцільно будувати трирівневу систему, яка має верхній рівень (єдина база даних МНС), середній рівень (ГУМНС в областях) та нижній рівень (комерційні пульти пожежного спостереження). Така трирівнева система може забезпечити своєчасну і гарантовану передачу оповіщення про пожежу, яке прийшло до автоматичного робочого місця оператора від комерційного пульта пожежного спостереження.

Розроблено функціональні структура та схема інтелектуальної інформаційної системи пожежної безпеки, до складу якої входять наступні програмні модулі: програмний модуль узгодження з апаратними засобами, програмний серверний модуль, програмний модуль оператора і адміністратора та база даних. Розглянуті функціональна структура та функціональна схема інформаційної системи пожежної безпеки були основою для розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці, для якої були визначені: категорії приміщень щодо пожежної небезпеки, площі пожежі, сили і засоби для гасіння пожеж.

Для розв'язання задачі визначення сил та засобів для гасіння пожежі використані нейронні мережі. Виконувався структурно-параметричний синтез системи при пожежній небезпеці, в результаті якого визначалася структура досліджуваного об'єкта і знаходилися значення параметрів її складових елементів.

В якості вхідних змінних нейронної мережі (НМ) були взяті: загальна кількість датчиків в приміщенні; площа приміщення; кількість датчиків, що спрацювали; категорія приміщення з пожежної небезпеки; наявність системи пожежогасіння, яка задається логічними змінними 0 або 1. До вихідних даних НМ віднесли наступні: площа пожежі; маршрут руху пожежних до епіцентру пожежі, що може розраховуватися окремо; кількість особового складу; обсяг води і піни та інші. Навчання НМ виконувалося з використанням алгоритму зворотного поширення помилки.

Розглянуто математичні моделі прогнозування розповсюдження пожежі, такі як

зонна модель, інтегральна модель, польова модель та еволюційне моделювання. Ефективність застосування тієї чи іншої моделі залежить від кількості експертів, кількості ділянок проходження пожежі та процедур, які використовують навчальні та контрольні вибірки. На сьогодні існує велика кількість програмних засобів, які застосовуються для моделювання процесу розповсюдження пожежі. Були розглянуті деякі з них, а саме «СІГМА ПБ» та програмний комплекс «PyroSim».

У третьому розділі розглянута інтелектуальна інформаційна система організації виходу людей з будівель під час пожежі. В якості об'єкта дослідження обрано торговий зал (ТЗ), який розташовується в багатоповерховому торговому центрі на одному з поверхів. Для розв'язання задачі знаходження оптимального шляху виходу людей із приміщення була застосована нейронна мережа Хопфілда, використання якої базується на функції Ляпунова. При використанні мережі Хопфілда для побудови найкоротшого шляху застосовано теорію графів, де стану нейрона ставиться у відповідність наявність зв'язку між вузлами графа.

Були розглянуті програмні засоби для організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі, які враховують ті чи інші способи представлення внутрішнього середовища будинків, індивідуальний або груповий рух людей, психологічний стан поведінки людей та їх дії при пожежі, вибір різних маршрутів, вплив різних пожежних факторів тощо.

ПРОТИПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА, РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОЖЕЖІ, ПОЖЕЖНЕ СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПРОГНОЗУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ

Публікації здобувача за темою роботи:

1. Сіденко Д.І. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці // Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі. Матеріали XVII Всеукраїнської науково практичної WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених (26-28 березня 2024 р.). – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – С. 231-234.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

МНС – міністерство з надзвичайних ситуацій

СМТ – селище міського типу

АСРВО – автоматизована система раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення

СППР – система підтримки прийняття рішень

ПЦПС – пульт централізованого пожежного спостереження

СЦПС – система централізованого пожежного спостереження

СОДУ – система оперативно-диспетчерського управління

ЄБД – єдина база даних

ПЗП – пристрій з'єднання пультавий

АРМ – автоматизоване робоче місце

ПСМ – програмний серверний модуль

ШНМ – штучна нейронна мережа

ЗМІСТ

ВСТУП	14
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ	16
1.1 Аналіз системи протипожежної безпеки	16
1.2 Приклади реалізації систем пожежного спостереження	19
1.3 Структурна організація та функціонування СЦПС	20
1.4 Аналіз інформаційних систем пожежної безпеки	26
1.5 Основні принципи побудови СЦПС	30
2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ	32
2.1 Необхідність створення інтелектуальної СЦПС	32
2.2 Структура системи пожежної безпеки	37
2.2 Функціональна схема системи пожежної безпеки	39
2.3 Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці	41
2.3.1 Визначення категорії приміщення щодо пожежної небезпеки.....	42
2.3.2 Визначення площі пожежі	43
2.3.3 Визначення сил та засобів для гасіння пожежі.....	44
2.4 Математичні моделі прогнозування розповсюдження пожежі	48
2.5 Програмні засоби моделювання процесів розповсюдження пожежі	53
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ З ПРИМІЩЕНЬ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ	56
3.1 Пошук оптимального шляху виходу людей з будівель під час пожежі	56
3.2. Гібридна нейронна мережа для знаходження оптимального шляху виходу людей із приміщення	58
3.3 Програмні засоби для організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі	64
3.4 Приклад роботи програмного забезпечення для організації оптимального виходу людей з будівель при пожежі	67
ВИСНОВКИ	68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 70

Додаток А

Е

rror! Bookmark not defined.

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Е

rror! Bookmark not defined.

Додаток Б

Е

rror! Bookmark not defined.

Наукова публікація

Е

rror! Bookmark not defined.

ВСТУП

В останні роки в Україні однією з актуальних проблем є боротьба з надзвичайними ситуаціями природного і техногенного характеру, які можуть виникати в результаті пожеж, аварій на небезпечних хімічних об'єктах, вибухів, катастрофічних повеней, зсувів, що може щороку призводити до значних матеріальних збитків і великої кількості жертв, які неухильно ростуть і можуть досягати значних розмірів. Так, у 2021 році в житловому секторі і на виробничих об'єктах зареєстровано понад 50 тисяч пожеж і загорань, що призвело до економічних втрат понад 2-х млрд. грн., а під час пожеж загинуло майже 5 тис. осіб та більше 2 тис. осіб отримали травми.

В Україні щодня виникало в середньому понад 200 пожеж, кожна пожежа наносила державі значні фінансові збитки, кожного дня в результаті пожеж гинули десятки і отримували травми сотні людей, гинуло декілька голів худоби, знищувалися та ушкоджувалися вогнем десятки будівель та одиниць техніки. Більшість пожеж має місце у великих селах та містах. Так, у великих селах та містах виникло понад 5 тис. пожеж, але їх кількість зменшилася майже на 20%.

Для забезпечення надійної охорони об'єктів у надзвичайних ситуаціях природного і техногенного характеру та від вогню необхідно підвищити технічну оснащеність підрозділів МНС України. Тому останнім часом в аварійно-рятувальних підрозділах МНС України стали приділяти значну увагу підвищенню оснащеності бойових бригад електрифікованим та механізованим інструментом, придбанню відповідних приладів і агрегатів, придбанню сучасних нових пожежних автомобілів, озброєнню новими ізолюючими протигазами а також збільшенню кількості підрозділів МНС України. Також суттєва увага приділяється особовому складу, що забезпечує пожежну охорону.

На сьогодні проводиться великий комплекс організаційних та технічних робіт, орієнтованих на удосконалення і впровадження систем пожежної автоматики (ПА) та систем оповіщення, зростає їх кількість систем, що дозволяє щорічно зберігти тисячі

людських життів та матеріальні цінності на мільйони гривень.

Сьогодні використання в практичній діяльності аварійно-рятувальних підрозділів нових інформаційних та телекомунікаційних технологій і систем управління дозволяє суттєво підвищити ефективність їх роботи, що може забезпечуватися впровадженням нових методів передачі, обробки та отримання управлінської інформації.

В теперішній час розв'язання задач, які виникають при пожежній небезпеці, неможливе без використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР), або вони майже не піддаються реалізації. Для розв'язання таких задач доцільно використовувати різні технології інтелектуальної обробки інформації, зокрема штучні нейронні мережі, еволюційні обчислення, нечітку логіку тощо. Тому розробка інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці являється актуальною задачею.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

1.1 Аналіз системи протипожежної безпеки

В теперішній час важливою є проблема виявлення надзвичайних ситуацій різного характеру, що мають місце на пожежах, після вибухів, при зсувах, після аварій на небезпечних хімічних об'єктах, після катастрофічних повеней тощо, кількість жертв і матеріальні збитки від яких щороку постійно зростають і можуть досягати значних розмірів. В результаті пожеж кожного день гинуть десятки і отримують травми сотні людей, гине худоба, вогнем знищуються або ушкоджуються будівлі та техніка.

Більша частина пожеж приходить на міста та селища міського типу (СМТ), але у порівнянні з аналогічними періодами минулих років їх кількість суттєво зменшилася. В організаціях, установах і на підприємствах у порівнянні з минулими роками кількість пожеж також зменшилася майже на четверть. Від пожеж в організаціях, установах і на підприємствах прямі збитки склали десятки млн. гривень.

Разом з тим на об'єктах приватної власності сталася найбільша кількість пожеж, при цьому на об'єктах з правами колективної власності кількість пожеж становить більше 20%, а на об'єктах із загальнодержавною власністю вона невелика і становить всього 1,5%. Велика кількість пожеж виникає на транспортних засобах. Велика кількість осіб гине від невірної експлуатації електрообладнання, теплогенеруючих агрегатів, установок та пічного опалення, а також від інших причин.

Для забезпечення необхідного ступеня надійності охорони об'єктів у надзвичайних ситуаціях природного та техногенного характеру та від вогню необхідно підвищити технічну оснащеність особового складу. Тому у відповідних підрозділах приділяється значна увага придбанню нових приладів і агрегатів, сучасних пожежних автомобілів, оснащенню бойових бригад електрифікованим і механізованим інструментом, збільшенню кількості підрозділів та їх озброєнню новими ізолюючими протигазами тощо.

Разом з тим, ні використання нової техніки, ні високий рівень професіоналізму рятувальників не допоможуть виявленню і ліквідації надзвичайних ситуацій, зокрема в гасінні пожеж та їх локалізації, без використання надійних систем централізованого спостереження за надзвичайними ситуаціями і пожежною автоматикою (ПА), без застосування відповідних систем виявлення та оповіщення, які встановлені на об'єкти спостереження.

На сьогодні проводиться великий комплекс організаційних та технічних робіт, орієнтованих на удосконалення і впровадження систем ПА і АСРВО, розробляються для них нові методичні матеріали та керівні документи. Неухильно зростає кількість таких систем, що монтуються на різних об'єктах, що дозволяє щорічно зберігти людські життя та матеріальні цінності. Як висновок, необхідні зміни в організації відповідних підрозділів та в системах керування ними.

Створення автоматизованих систем виявлення надзвичайних ситуацій на ранніх стадіях їх виникнення, систем оповіщення та систем ПА забезпечать своєчасне надходження відповідних тривожних сповіщень в оперативно-диспетчерську службу підрозділів МНС, що в підрозділах МНС є невід'ємною складовою частиною системи управління. Тому для ефективної роботи аварійно-рятувальних підрозділів МНС необхідно провести подальші роботи у цьому напрямку.

Сьогодні використання нових інформаційних і телекомунікаційних технологій управління в реалізації практичної діяльності аварійно-рятувальних підрозділів дозволить суттєво підвищити ефективність їх роботи, яка може забезпечити підрозділи шляхом впровадження нових підходів та методів для передачі, обробки та отримання інформації для управління.

За умов, коли об'єкт обладнаний пожежною автоматикою, то, в кращому випадку, від неї інформація може надійти на відповідні пункти зі значним запізненням. При використанні систем виявлення і оповіщення сигнал про загрозу передається мовним оповіщенням

У випадку ж з АСРВО, інформація про загрозу виникнення пожежі або виникнення надзвичайної ситуації передається в ОДС ОКЦ ГУ МНС шляхом здійснення автоматичного обдзвону та передачею мовного тривожного оповіщення,

що інформативно недостатньо, щоб прийняти управлінські рішення по виконанню ефективних дій для локалізації та ліквідації надзвичайної ситуації.

Таким чином видно, що існуючі системи управління, які працюють сьогодні, використовують застарілу техніку ХХ-го сторіччя і відповідне їй програмне забезпечення. Як наслідок цього має місце низька технічна оснащеність аварійно-рятувальних підрозділів, що призводить до пізнього надходження інформації в ОДС і відповідно пізніє реагування на події.

МНС України повинне забезпечити державний пожежний нагляд за станом пожежної безпеки як в населених пунктах, так і на різних об'єктах з використанням сучасних інформаційних технологій, незалежно від форм власності, що є одним з головних напрямків по підвищенню рівня державного захисту від пожеж та своєчасного надходження сигналів оповіщення в ОДС МНС України.

Щоб покращити протипожежний захист об'єктів незалежно від форм власності та своєчасно реагувати аварійно-рятувальними підрозділами на спрацьовування систем ПА, останнім часом в МНС України були прийняті відповідні заходи по впровадженню систем пожежного спостереження. Так, затверджені правила побудови, експлуатації та технічного обслуговування систем виявлення надзвичайних ситуацій на ранніх стадіях та у разі їх виникнення оповіщення про це людей. Вони регламентують передачу до пультів централізованого спостереження тривожних повідомлень, а також повідомлень про можливу загрозу виникнення пожежі або виникнення НС. Для виконання цих правил вживаються заходи по впровадженню систем спостереження за АСРВО.

Вітчизняна практика і світовий досвід показали доцільність створення інтегрованих інформаційних систем централізованого спостереження. Сьогодні у цьому напрямку діяльності державою розробляються відповідні документи, що на законодавчому рівні встановлюють правила діяльності систем техногенного та пожежного спостереження, а також встановлюють правила щодо використання відповідного обладнання та їх випробування та експлуатації. Такі документи зобов'язують власників об'єктів передавати до служб оперативного реагування тривожні сповіщення.

1.2 Приклади реалізації систем пожежного спостереження

На ринку України сьогодні представлено широкий асортимент обладнання, що виконує функції ПЦПС. В залежності від комунікаційних можливостей та розташування замовника завдяки застосуванню трьох видів каналів передачі інформації може бути використаний гнучкий підхід до підключення об'єкта щодо використання провідних комунікацій.

Для передачі даних раніше використовувалися в основному SMS-повідомлення, що не завжди являється зручним. Об'єктна телеметрія може губитися або спізнюватися, що особливо стосується періодів високої завантаженості мобільних мереж, а GPRS поки що не є достатньо надійною альтернативою такому формату. Більш стабільно працює система передачі цифрових даних і голосовий GSM-канал, які використовують багато компаній. Недоліком об'єктного обладнання, яке використовується в мобільних мережах, є невисока надійність моделей, що основані на серійних телефонах. Ця проблема знімається, коли використовуються GSM-модеми.

Нестандартний формат зв'язку організовано в Орлана. зв'язок в якому може здійснюватися в голосовому, цифровому або в SMS форматах. При зростанні кількості абонентів розширення систем передбачає необхідність суттєвого оновлення програмного забезпечення

Основним запитам споживачів відповідає кількість зон охорони ППК, яка знаходиться в межах від 4 до 24. Існують виробники, які пропонують велику ємність, наприклад, «Венбест» – до 128, але такої потреби майже не виникає. Тому в середньому ємність систем становить близько 2000 абонентів, за виключенням VIRIAL-RFM – 65536 × 8 абонентів, який має локальний пульти на 64 абоненти по 8 шлейфів. Більшість систем для розширення ємності в цілому допускають можливість своєї доукомплектації.

До можливих недоліків існуючих систем слід віднести наступні:

1. При роботі системи на радіоканалі може виникнути потреба у встановленні дорогих ретрансляторів, не зважаючи на те, що необхідності в ретрансляторних в

більшості систем мережі немає. Ця проблема може бути вирішена двома способами: використовується стандартна мережа GSM, а об'єктні прилади або телефонні лінії працюють самі як ретранслятори.

2. Можливість інтеграції об'єктних приладів інших систем з обладнанням пульта не завжди існує, а також не завжди існує можливість використання власного обладнання.

1.3 Структурна організація та функціонування СЦПС

Структурна схема, що відображає побудову і функціонування структури СЦПС, наведена на рис. 1.1. СЦПС складається з наступних компонентів:

- доставка та прийом сповіщень про пожежну небезпеку;
- реєстрація пультів пожежного спостереження;
- інтеграція з системою оперативно-диспетчерського управління (СОДУ);
- регіональний розподіл даних та резервування функцій СЦПС;
- забезпечення контрольованого доступу до об'єктів, які входять в базу даних СЦПС;
- моніторинг наявних каналів зв'язку;
- прийом та архівація сповіщень про пожежну небезпеку;
- контроль роботи операторів та створення документів про їх дій в СЦПС;
- управління роботою СЦПС.

Доставка та прийом сповіщень про пожежну небезпеку орієнтована на забезпечення маршрутизації (доставки) тривожних сповіщень до Регіональної ЄБД та ЄБД СЦПС, забезпечуючи резервування сповіщень про пожежу, що приходять по певних каналах зв'язку від пультів пожежного спостереження. Сповіщення, які надходять до ЄБД СЦПС, потім пересилаються до Регіональної ЄБД.

Реєстрація пультів пожежного спостереження орієнтована на забезпечення оператором СЦПС реалізації механізмів реєстрації з використанням Internet-технологій і повинна бути відповідною згідно правил пожежного спостереження.

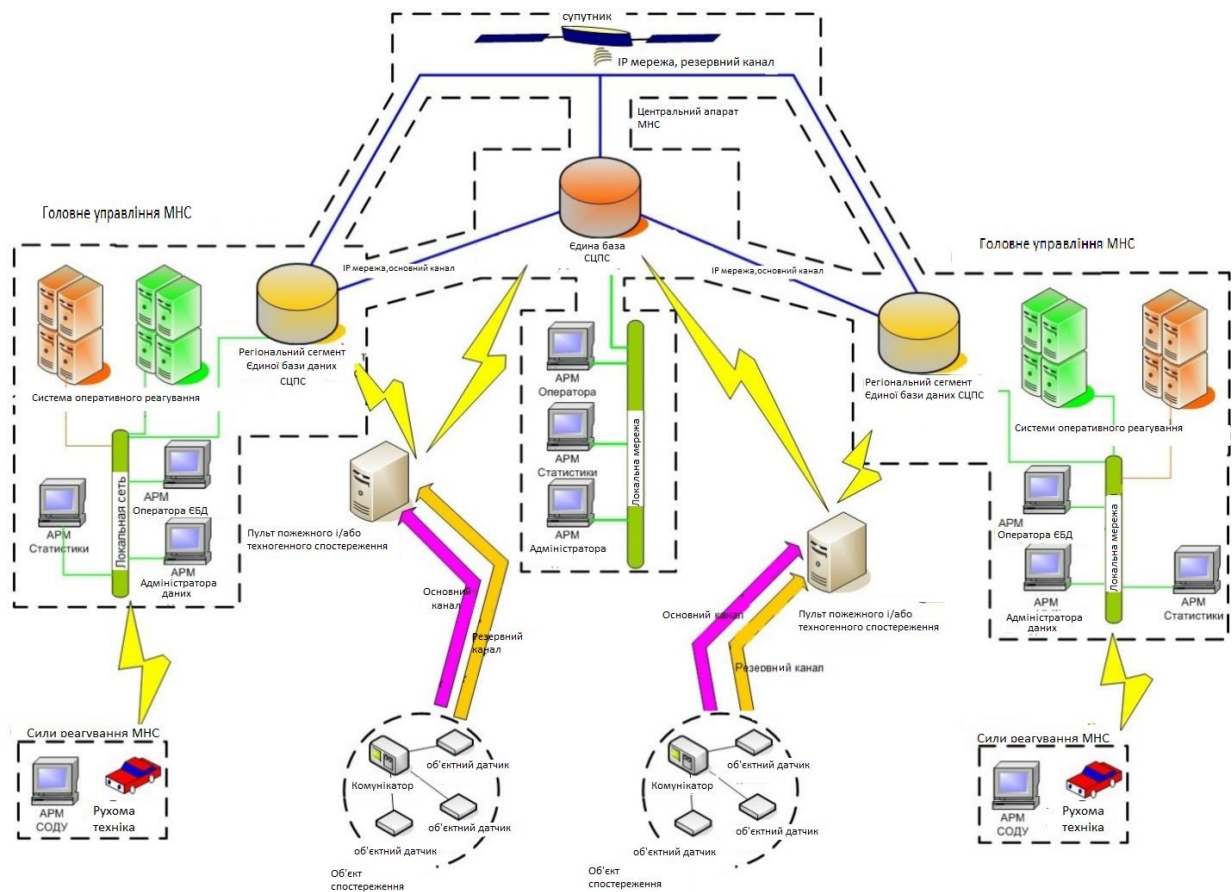


Рисунок 1.1 – Структурна схема побудови та функціонування СЦПС

Інтеграція з системою оперативно-диспетчерського управління (СОДУ) орієнтована на забезпечення зв'язку СЦПС з СОДУ згідно відповідних інтерфейсів, а саме:

- передача сповіщень в СОДУ про пожежну небезпеку для організації оперативного реагування;
- передача повідомлень про пожежну небезпеку для взаємодії дій організацій, які повинні ліквідувати пожежу та її можливі наслідки.

Резервування відповідних функцій СЦПС та розподіл ЄБД СЦПС, що орієнтоване на забезпечення:

- виконання вимог ДСТУ щодо надійності роботи СЦПС, резервуючи функції системи;
- відновлення інформації на пультах пожежного спостереження, що працюють у повному обсязі між ЄБД СЦПС та всіма Регіональними ЄБД;
- розподіл інформації в частині об'єктів пожежного спостереження ЄБД СЦПС

між регіональними ЄБД, які знаходяться в межах підпорядкування Головному Управлінню МНС;

- розподіл статистичних даних в частині об'єктів пожежного спостереження ЄБД СЦПС між регіональними ЄБД, які знаходяться в межах підпорядкування Головному Управлінню МНС. Статистичні дані повинні містити відмічені вибірки на виконання відповідних дій;

- реєстрація об'єктів;

- кількість підключених та відключених об'єктів за вказаний проміжок часу;

- число циклів спрацювання ПА при пожежі або помилкових викликів впродовж вказаного проміжку часу;

- число підключених до ПА об'єктів впродовж вказаного проміжку часу;

- динаміка зменшення або зростання кількості пожеж або помилкових викликів впродовж вказаного проміжку часу;

- число об'єктів, що були тимчасово зняті з пожежного спостереження;

- виділення функцій взаємодії інших систем з СЦПС та СОДУ.

Забезпечення контрольованого доступу до об'єктів, які входять в базу даних СЦПС, повинне організовувати контроль доступу до об'єктів згідно технології Web-доступу, видаючи в розрізі об'єктів дані ідентифікації співробітників пультової організації, які підпорядковані конкретному пульта пожежного спостереження, а також в розрізі карток об'єктів оператора АРМ СОДУ, що знаходяться під наглядом в межах своєї відповідальності згідно заданого СОДУ. При реєстрації в базі даних СЦПС ПЖП повинні надаватися в систему ім'я користувача, а також код доступу.

При необхідності надання двох рівнів доступу начальнику пульта надається верхній рівень доступу, а адміністраторам пульта надається нижній рівень доступу, які заносять дані про об'єкти в ЄБД СЦПС. У разі зміни персоналу начальник пульта може призупиняти права доступу нижнього рівня, а також може реєструвати нові. Відповідно до вимог ДСТУ підсистема моніторингу каналів зв'язку забезпечує контроль функціонування даних каналів зв'язку, по яких можуть передаватися на об'єкти автоматизації оповіщення про пожежу.

Архівація при надходженні сповіщень про пожежну небезпеку повинна

забезпечувати архівацію цих сповіщень з подальшим їх записом у відповідний журнал подій з можливістю їх відновлення.

Документація дій операторів АРМ СЦПС орієнтована на проведення документування та зберігання в архіві послідовності дій операторів АРМ при обробці сповіщень про пожежну небезпеку, і при необхідності відновлення подій в режимі реального часу в продовж певного проміжку часу.

Адміністрування СЦПС орієнтоване на забезпечення можливості конфігурації системи, а також її компонентів та безвідмовну роботу.

Згідно з заданим регламентом доступу МНС повинне забезпечувати контроль доступу до підсистеми конфігурування. За умови достатності конфігурацію всіх компонентів системи можна здійснювати з використанням одного АРМ. Документування дій користувача, що конфігурує систему, необхідно здійснювати за часом його втручання та ідентифікацією.

Зв'язки між серверним обладнанням бази даних СЦПС і СЗДР, між серверним обладнанням бази даних СЦПС і АРМ СЦПС, повинні здійснюватися по внутрішнім (основним і резервним) IP-каналам МНС згідно з чинним регламентом зв'язку.

При передачі сповіщень про пожежну небезпеку можна використовувати любі канали зв'язку за умов, що вони відповідають вимогам відповідного ДСТУ.

СЦПС може функціонувати в наступних режимах:

1. В автоматичному режимі з доставкою сповіщення про пожежу на СЗДР при обміні даними.
2. В автоматизованому режимі при обробці повідомлень про пожежу, що може потребувати додаткові відомості про подію.
3. При некваліфікованих втручаннях система повинна бути безумовно працездатною.
4. В режимі навчання персоналу СЦПС система повинна їх забезпечувати роботою.

Розробником обґрунтовуються технічні і технологічні умови реалізації різних режимів функціонування, а також на етапі робочого проекту узгоджуються з

замовником системи.

Діагностування системи може проводитися на трьох різних рівнях.

1. Комплексне централізоване діагностування системи в цілому при оцінці працездатності системи щодо функціонування підсистем і резервування функцій СЦПС, а також при регіональному розподілі ЄБД СЦПС.

2. Діагностика системи при оцінці працездатності регіональної автономної бази даних.

3. Діагностика системи при тестуванні переданих сповіщень про пожежну небезпеку.

Діагностику можна здійснюватися по таким критеріям.

1. Повна готовність реалізації функцій, що на неї покладені.

2. Обмежена здатність виконувати функції, що на неї покладені.

3. При можливому збої системи.

З метою забезпечення безперебійності роботи СЦПС на об'єктах спостереження необхідно забезпечити:

– безперервне чергування всіх операторів АРМ;

– оператор, що відповідає за контроль об'єктів, налагодження та супровід СЦПС, повинна працювати згідно режимів роботи цих об'єктів;

– режими роботи персоналу СЦПС повинні відповідати чинним законодавчим актам.

Робота СЦПС повинна забезпечити:

- безперервне, гарантоване та безперебійне отримання від ПА сповіщень про пожежну небезпеку;

- при отриманні сповіщення про пожежну небезпеку необхідно забезпечити передачу необхідної інформації в систему для організації своєчасного і гарантованого пересування пожежних підрозділів та відомчих груп реагування до місця пожежі;

- отримання відповідних довідок і звітів про події.

Вимоги щодо надійності технічних засобів і програмного забезпечення повинні визначатися розробниками і відповідати певному терміну дії.

СЦПС повинна працювати в режимі готовності для використання, не застосовуючи перерви на профілактичні заходи. Можливе часткове відключення системи лише за умов активності гарячого або холодного резерву, а також за умов проведення реорганізації баз даних.

При виникненні критичних збоїв основної системи слід забезпечувати перемикання на резервну систему в автоматичному режимі, кількість якого вказується в технічному проекті і визначається окремо.

Порядок ремонту, експлуатації та технічного обслуговування СЦПС має бути відповідним до заданих вимог і документам щодо використання засобів зв'язку та автоматизації. Використання СЦПС може бути здійснене фахівцями, які відносяться до штатних структурних підрозділів об'єктів автоматизації, які спеціально введені.

При зникненні на об'єктах СЦПС електричного струму має забезпечуватися відновлення електроживлення з відповідних джерел, щоб не впливати на працездатність СЦПС, тобто повинне виконуватися автоматичне перемикання електроживлення на альтернативні джерела без втрат в системі інформації.

Якщо неможливо з технічних причин відновити електроживлення, СЦПС повинна зберегти автоматично всі дані та завершити роботу без втрат даних.

СЦПС для зберігання інформації, як правило, використовує відповідні сервери, які забезпечують:

- виконання файлових операцій як окремих транзакцій, ведення журналу транзакцій та мати можливість повернення або завершення в будь-який момент;
- можливість застосування жорстких відмовостійких дисків (RAID);
- резервне копіювання даних на відповідний носій інформації;
- підключення програмно-апаратних інтелектуальних систем, які дозволяють безаварійно автоматично зупиняти обладнання при виникненні збоїв в електроживленні.

Контроль даних, які надходять в систему, повинен виконуватися при подачі їх в систему.

Відновлення даних в системі забезпечується шляхом резервування наступних функцій:

– відновлення єдиної бази даних СЦПС повинне відбуватися для всіх доєднаних бази даних;

– відновлення доєднаних бази даних повинне відбуватися з єдиної бази даних СЦПС з урахуванням їх відповідності.

Стійкість і живучість при наявності зовнішніх впливів може бути забезпечена за рахунок використання відповідних можливостей компонентів системи, резервів даних в ЄБД СЦПС, а також всіх регіональних ЄБД. Крім того, періодично повинне здійснюватися копіювання даних на відповідні носії інформації.

СЦПС повинна мати у своєму складі тільки ті апаратні та програмні засоби, на які в межах України немає обмежень на використання. Крім того, система повинна забезпечувати персонал роботою в режимі навчання та підготовки до практичного виконання робіт, які в ній використовуються при виконанні в складі чергових змін своїх посадових інструкцій.

1.4 Аналіз інформаційних систем пожежної безпеки

Проведемо аналіз існуючих інформаційних систем пожежної безпеки. В склад комплексу, що представлений на рис. 1.2, входять програмне забезпечення (ПЗ) пульта «Система тривожних повідомлень та обладнання-комунікатор об'єкта С112У.

При розробці комплексу були враховані напрацювання і рекомендації служби порятунку Швеції SOS Alarm, яка як найкраща була визнана в Євросоюзі, сучасні вимоги пожежної і техногенної безпеки, необхідність виконувати диспетчеризацію віддаленого технологічного обладнання, а також досвід розробки і використання пультів іншими виробниками. Слід зазначити, що СОС 112 можна ідеально інтегрувати з системою CoordCom виробництва Ericsson та іншими системами служби порятунку, які виробляються в Європі.

Це ПЗ допомагає виконувати функції спостереження за роботою систем автоматики при виконанні пожежних, охоронних та техногенних функцій безпеки. Система також виконує не тільки передачу сповіщень від апаратних засобів комплексу (комунікатори об'єктів С112У) на пульт спостереження, а й підтримує

постійний зв'язок з ним, що дозволяє виконувати його постійний моніторинг. При цьому повідомлення передаються по каналах зв'язку з використанням необхідних технологій передачі даних [2].

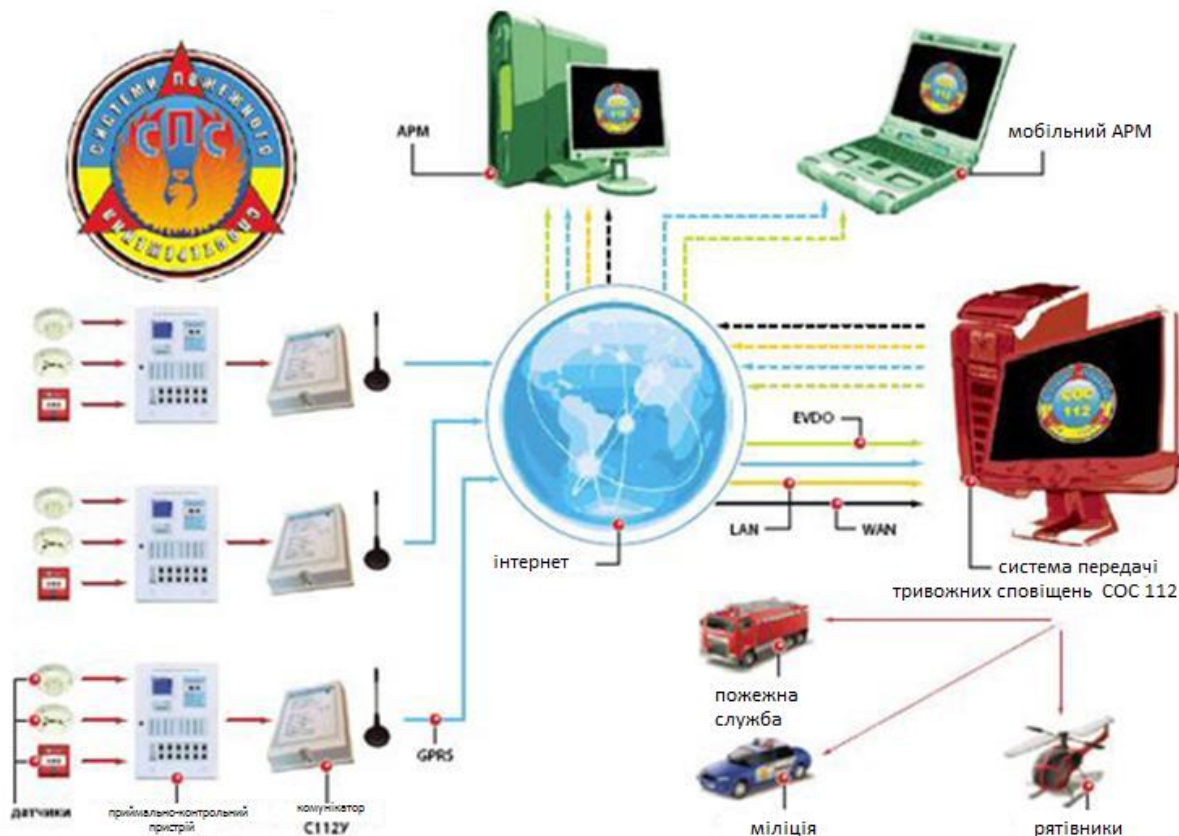


Рисунок 1.2 – Система повідомлень про пожежу «СОС 112»

Система розроблена так, щоб можна було резервувати канали зв'язку. Пульта спостереження має незалежні інтернет-канали, через які можна здійснювати прийом повідомлень, а кожен комунікатор має не менше двох незалежних SIM-карт.

За допомогою програмного забезпечення можна заповнювати, вносити зміни до бази даних об'єктів, переглядати статистичні звіти тощо. Але основною їх функцією являється безперервний моніторинг станів об'єктів, які слід захищати.

При прийомі сповіщення про пожежну небезпеку на пульті оператора включаються звукові і світлові індикації, на екран виводяться дані про небезпечний об'єкт та ін. Оператор має можливість відстежувати розвиток подій на об'єкті, отримати про нього повну картину, переглянути план-графік із зазначенням точного

розташування місця сповіщувача, має доступ до списку відповідальних за об'єкт осіб та право на термінові дзвінки та відправлення цим особам SMS.

Програма може також без втручання оператора автоматично виконувати відповідні дії, наприклад, відправити клієнту повідомлення або SMS по e-mail та інформувати центральну диспетчерську службу, має можливість інтеграції в будь-яку іншу систему згідно заданого протоколу передачі даних. До функцій програми також відноситься контроль графіків технічного обслуговування ПА, що встановлюються на об'єктах, а також дій договорів, ліцензій та організацій, які обслуговують ці об'єкти.

Інтерфейси ПЗ та ергономіка системи відповідають прийнятим стандартам антикризових і ситуативних центрів в європейських службах диспетчеризації і порятунку. Концепція та ідеологія побудови комплексу узгоджується з рекомендаціями фахівців по застосуванню програмно-апаратних засобів, які використовуються при створенні відповідних служб порятунку. Такі принципи застосовуються в усіх державних системах служби порятунку.

Головні особливості даної системи є такі:

- інтеграція з іншими системами служб порятунку в Європі;
- взаємодія з іншими системами;
- мобільність системи, що дозволяє розмістити пульт керування об'єктом і комунікатор на автотранспорті, які можуть бути використані як оперативними групами реагування та відповідними організаціями, так і організаціями по їх обслуговуванню;
- універсальність комунікатора та можливість його роботи з іншими ПКП для передачі як простих повідомлень про тривогу або пожежу, так і повний протокол подій на об'єкті, який захищається. Комунікатор може працювати також з GPS-модулями та використовуватися операторами для спостереження за переміщенням мобільних груп на електронній карті ;
- можливість передачі повідомлень про пожежну небезпеку згідно нових вимог сучасних ДСТУ;
- можливість програмування комунікаторів на декількох рівнях прийому;

- наявність в комунікаторі свого акумулятора, який дозволяє передавати сигнали при повній відсутності живлення;
- можливість графічно відобразити на пульті оператора розвиток подій на об'єкті спостереження;
- можливість контролю термінів дії договорів та ліцензійних зобов'язань організацій, які повинні обслуговувати об'єкт;
- контроль проведення працівниками повного технічного обслуговування організацій;
- контроль виконання відповідних дій операторами при виникненні пожежної небезпеки.

Слід зазначити, що комплекс, який розроблено, являється сучасним, надійним, перспективним, а також легко адаптується до різних відкритих європейських протоколів передачі даних і до об'єктових пристроїв, а також є ергономічним, зручним та простим в експлуатації. Крім того, він дозволяє підключати необмежену кількість користувачів (АРМ) та об'єктів, що спостерігаються. Комплекс може працювати як стаціонарно, так і мобільно, адаптуватися для виконання різних завдань моніторингу, таких як диспетчеризація, відеоспостереження, охорона об'єктів, що пересуваються, тощо.

Даний комплекс може бути ефективно використаний при створенні пультів пожежного, техногенного та охоронного спостереження, пультів спостереження за технічним обладнанням (промислові системи, ЖКГ), при моніторинзі рухомих об'єктів, а також при здійсненні спостереження за системами диспетчеризації об'єктів та комплексного збору сигналів. Свою найбільшу ефективність він проявив, коли створювалися корпоративні ситуаційні центри для збору та передачі параметрів з регіональних підрозділів і автоматичних сигналів.

Таким чином, тільки розглянута система з усіх існуючих на ринку пропозицій забезпечує повну інтеграцію прийому всіх автоматичних сигналів тривоги і диспетчеризації на один ситуаційний центр та відповідає необхідним європейським нормам, що його робить надійним, ефективним і перспективним у використанні при пожежній небезпеці.

1.5 Основні принципи побудови СЦПС

Систему централізованого пожежного спостереження (СЦПС) можна віднести в клас інформаційно-телекомунікаційних систем, яка складається з пультів спостереження та територіально-розподілених регіональних підсистем, що розташовані в суб'єктах господарювання, до яких можна підключити системи ПА і АСРВО. Вони з'єднуються між собою каналами зв'язків, які забезпечують за необхідний час доставку тривожних повідомлень.

При функціонуванні підсистем, коли виникають масштабні надзвичайні ситуації природного, техногенного та воєнного характеру, коли має місце ймовірність дезінтеграції, а також відмов каналів зв'язку та відключень мереж електроживлення, необхідно забезпечити максимально-можливу локальну автономію.

Щоб забезпечити економічну та функціональну ефективність СЦПС, слід передбачити наступне [1, 5-7]:

- забезпечення необхідного розподілу інформації і програмно-апаратних засобів її обробки, які враховують розподілену відповідальність, що забезпечують ефективну взаємодію підсистем для різних стадій обробки інформації, що стосується стану спостережуваних об'єктів;

- зменшення інформаційних потоків між підсистемами.

В даному випадку дотримання принципу системності при створенні даної системи є основоположним. Він дозволяє спостерігати СЦПС як єдине ціле; на цій основі виявляти між структурними елементами різні типи зв'язків, що забезпечує цілісність системи. Використання системного підходу дозволяє провести двоаспектний аналіз.

Система або її елементи при проведенні мікроаналізу може розглядатися як частина систем вищих порядків. При цьому інформаційним зв'язкам приділяється основна увага, коли може бути встановлена їх кількість, тобто, виділяються та аналізуються зв'язки, що зумовлюються метою аналізу системи. Потім слід відібрати перспективні зв'язки, які реалізують цільову функцію. При проведенні мікроаналізу системи вивчається її структура, по функціональним характеристикам вивчаються її

складові елементи, які можуть проявлятися через зв'язки з зовнішнім середовищем та іншими елементами.

СЦПС має багаторівневу ієрархію з вертикально субпідрядними підсистемами (елементами). Така ієрархія структури СЦПС дозволяє створювати для кожного рівня системи відносну самостійність дій щодо окремих елементів, можливість різних комбінацій поєднань локальних критеріїв оптимізації функціонування в цілому системи, що забезпечує відносну гнучкість системи, а також можливість її пристосування до виникаючих постійно змін. Крім того, за рахунок можливого введення своєї надмірності вона може підвищити надійність при реалізації різних напрямків обробки потоків інформації.

Системний підхід і моделювання в доступній для аналізу формі дозволяють не тільки досліджувати поведінку системи в конкретних, заданих експериментальних умовах, але й відобразити все необхідне. Тому в сучасних умовах при створенні СЦПС за основу покладено метод моделювання, який базується на системному підході, що дає можливість знайти оптимальну структуру системи та забезпечити її ефективне функціонування.

Згідно *принципу розвитку* СЦПС повинна створюватися, враховуючи можливість постійного оновлення та поповнення своїх функцій системи, а також видів її забезпечення. Дана система повинна не тільки збільшувати обчислювальні можливості, а й оновлюватися новими програмно-апаратними засобами, розширювати і оновлювати інформаційну базу, що створена у вигляді ЄБД.

Згідно *принципу сумісності* повинна забезпечуватися здатність взаємодії СЦПС з другими системами при їх спільному функціонуванні. Його реалізація силами і засобами, що залучені до реагування на виникаючі події, дозволить суттєво підвищити ефективність її управління.

Згідно *принципу стандартизації та уніфікації* необхідно застосовувати типові і стандартні елементи функціонування системи, реалізація якого дозволить також скоротити суттєво трудові, часові та вартісні витрати при створенні СЦПС шляхом використання в формуванні проектних рішень набутого досвіду.

2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

2.1 Необхідність створення інтелектуальної СЦПС

В теперішній час кількість об'єктів, які були доєднані до пультів пожежного спостереження, становить лише 15-20% від загальної кількості об'єктів, що були обладнані пожежною автоматикою. Сьогодні ситуація складається таким чином, що якщо об'єкт і був обладнаний системою пожежної сигналізації, то, в кращому випадку, сигнал про пожежу надійде на пульт централізованого пожежного спостереження, а в іншому випадку він надійде на відповідні пульт сповіщення.

В такому випадку необхідні секунди, і навіть хвилини, щоб на пункт призначення пройшов сигнал. Видно, що процеси отримання, реагування та обробки сигналів про пожежну небезпеку не є замкненими в одну систему, а ті системи керування, що сьогодні використовуються, засновані на застосуванні застарілої техніки і такого ж програмного забезпечення. Результатом такого низького технічного оснащення пожежної безпеки є несвоєчасне реагування на сигнал про виникнення пожежі.

В системі організації повідомлень про пожежну небезпеку сьогодні існують питання, які роблять непрацездатною цю систему. Це відсутність можливості передавати сигнали про пожежну небезпеку на відповідні служби, неможливість проводити моніторинг отримання сповіщення в управлінні та відсутність гарантій і підтверджень доставки повідомлень.

Слід зазначити, що на ОДС в управлінні не встановлені пульти пожежного спостереження, диспетчери комерційних пультів передають тривожні сповіщення по телефонній лінії, що пов'язано з затримками передачі сигналів на хвилини, з обмеженнями інформації про об'єкт, з якого передається сигнал, з відсутністю нормативної бази, яка могла б чітко регламентувала вимоги для проведення відповідних робіт. Тому такий спосіб передачі тривожного сигналу морально застарів

і являється неефективним. Сьогодні в підрозділах МНС відсутня фізична можливість приймати та обробляти сигнали, що надходять від пультів пожежного спостереження, а диспетчерські центри можуть приймати по телефону лише усні повідомлення про пожежу.

На основі проведеного аналізу багатьох систем можна зробити висновок, що доцільно економічно і функціонально будувати трирівневу систему, яка має верхній рівень (єдина база даних МНС), середній рівень (база даних в областях) та нижній рівень (пульти пожежного спостереження – ППС) [3]. Така трирівнева система може забезпечити своєчасну і гарантовану передачу оповіщення про пожежу, яке прийшло до робочого місця оператора від ППС.

Функціями глобальної системи пожежного спостереження є такі [7]:

- реєстрація та архівація сповіщень про пожежну небезпеку;
- реєстрація відповідно до встановлених правил пультів пожежного спостереження;
- накопичення інформації для подальшого стратегічного аналізу виникнення пожеж та оперативної звітності, а також інформації про відмови систем централізованого спостереження;
- відображення інформації про можливе виникнення ситуацій та розповсюдження пожеж на об'єктах;
- прийом сповіщень про пожежну небезпеку як на регіональному рівні, так і через єдину базу даних;
- отримання додаткової інформації про об'єкт (водопостачання та інше);
- встановлення адрес об'єктів, де виникла пожежа, і прокладка до них маршрутів руху пожежних підрозділів.

За останні роки стан пожежної автоматики доведений до такого стану, коли система пожежної автоматики у два рази краще спрацьовує успішно, і цей показник сьогодні представляє 90–95%, коли раніше він становив лише 50%.

Сьогодні система централізованого пожежного спостереження (СЦПС) являється комплексом технічних засобів, який призначено для передачі з об'єктів протипожежного захисту на пункт центрального пожежного повідомлень про

виникнення пожеж в заданому вигляді, а також повідомлень про стан пожежної автоматики, їх прийняття, обробку, передачу та реєстрацію [5]. Сучасні СЦПС являються дворівневими розподіленими системами, які побудовані згідно принципу відкритих систем. Структура СЦПС наведена на рис. 2.1 [10].

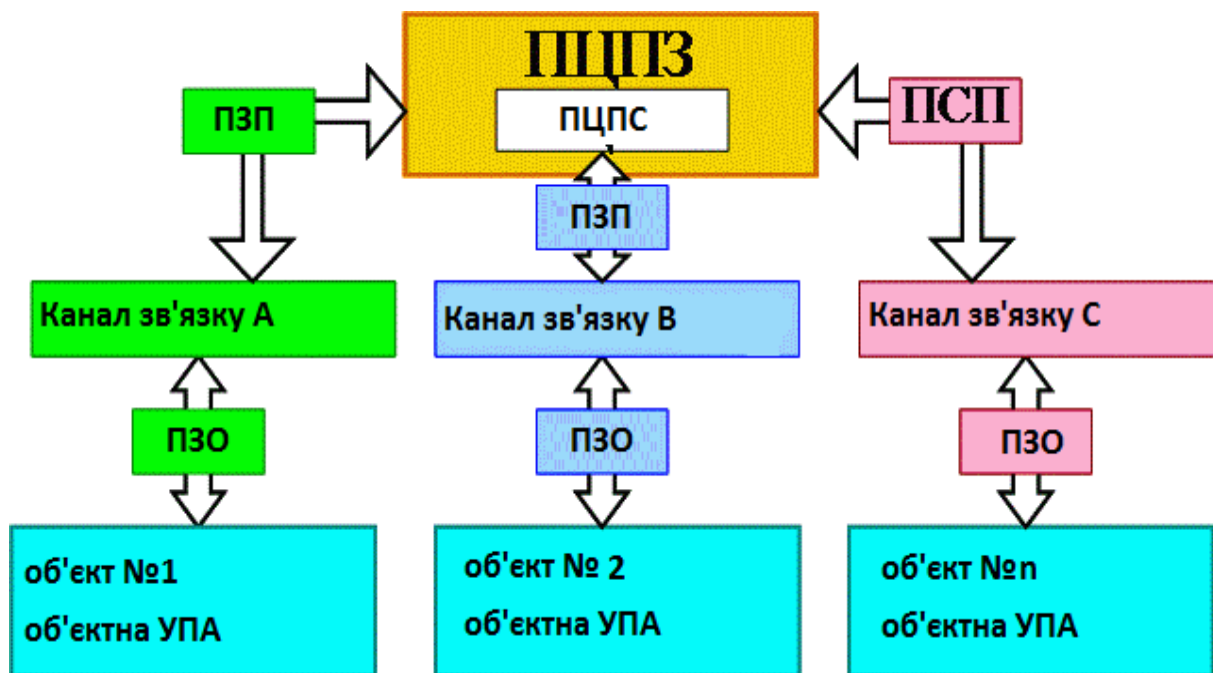


Рисунок 2.1 – Структура схема СЦПТС

На першому рівні знаходиться пульт централізованого пожежного спостереження (ПЦС), який обладнано комп'ютерами для різних призначень (сервери, робочі станції), а також пристрій з'єднання пультовий (ПЗП).

На другому рівні, де знаходиться об'єктне обладнання, забезпечується узгодження безпосередньо з приймально-контрольним приладом пожежним, який встановлено на об'єкті.

Класифікацію пультів централізованого пожежного спостереження можна виконати за кількома ознаками, як показано на рис. 2.2.

Згідно тактики спостереження пульти можуть бути автоматизованими і неавтоматизованими. За каналами зв'язку пульти можуть бути дротяними комутованими, виділеними провідними лініями, GSM і радіо, можуть бути комплексними, використовувати супутниковий зв'язок. За ємністю пульти можуть

бути системами малої, середньої та великої ємності. Як правило, сучасні системи будують згідно модульного принципу, їх характеристики підбирають під конкретне завдання, а на об'єкти, що не телефонізовані, встановлюють радіоустаткування.

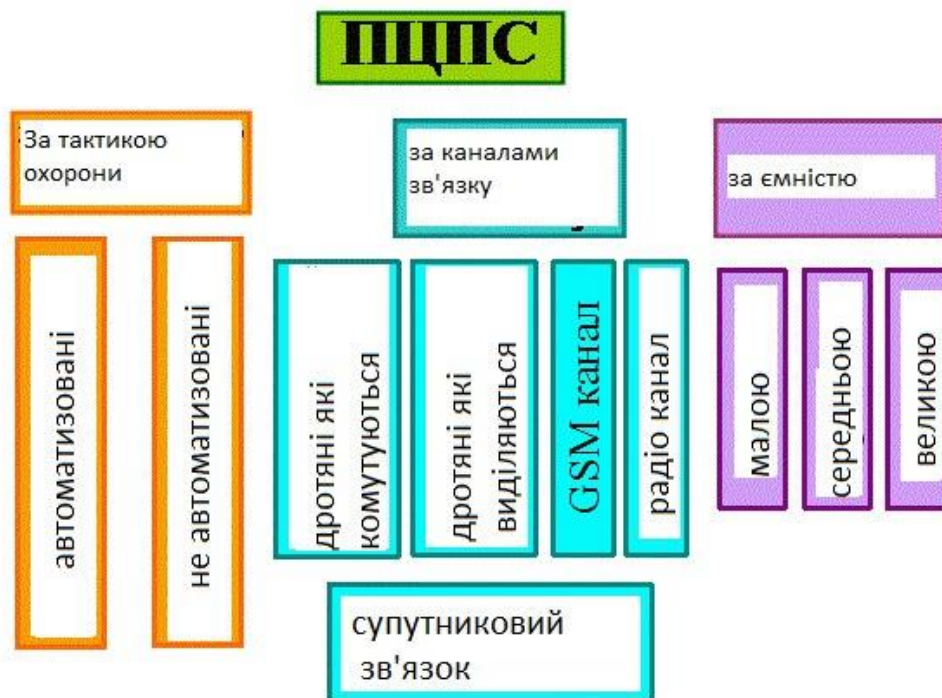


Рисунок 2.2 – Класифікація пультів ЦПС

Для віддалених об'єктів, що розташовані в місцевості, яка має складний рельєф і погану прохідність сигналу, можна використати GSM. На великих об'єктах може бути використана оптоволоконна комп'ютерна мережа. Для об'єктів, що є особливо важливими, доцільно використовувати дублюючі канали [6], що дозволить значно збільшити ступінь їх захищеності.

З урахуванням того, що стрімко розвиваються і впроваджуються сервіси всесвітньої інформаційної мережі Інтернет, можна передбачити, що передача інформації від об'єктів до ПЦПС буде реалізовуватися по каналам мережі. Так, вже існують IP-відеокамери, які можуть підключатися до мережі Інтернет і в режимі реального часу передавати зображення з об'єктів, що охороняються.

Структурна схема ПЦПС приведена на рис. 2.3, де БЖ – блок живлення; ДБЖ – джерело безперебійного живлення; ЦП – центральний процесор; М GSM – модуль спорядження з GSM каналом; М РК – модуль з радіоканалом; М ТК – модуль з телефонним

каналом; РС – радіо станція; ТЛ – телефонна лінія; ПЕВМ – персональна ЕОМ; GSM Т – мобільний телефон GSM формату або GSM–модем.

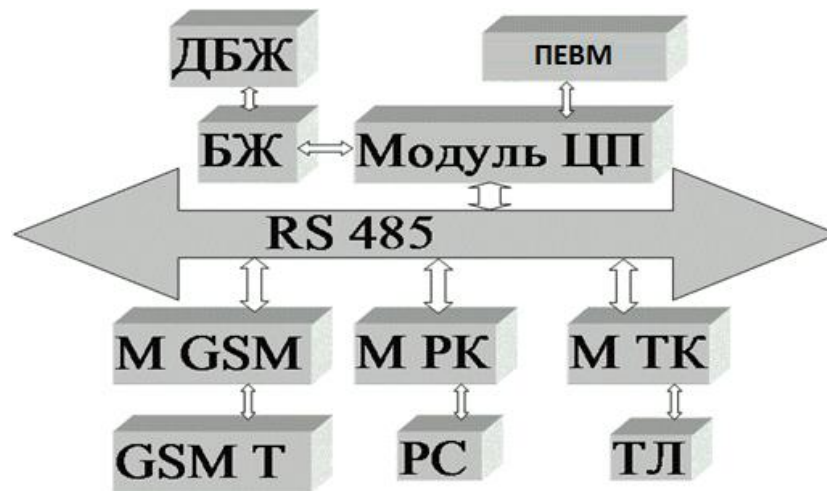


Рисунок 2.3 – Структурна схема ЦПС

Щодо обладнання ЦПС, то до нього висуваються такі вимоги:

- автоматичне формування для ППКП сигналів: «Готовий до прийому» та «Підтвердження прийому»;
- встановлення в режимі «Автодозвон» з'єднання з ППКП та контроль каналу зв'язку;
- забезпечення стійкості до імітацій тривожних повідомлень та до крипто захисту, що може досягатися шляхом використання шифрів при передачі повідомлень згідно протоколів Ademco slow, Contact ID, Franklin, Radionics, Silent Knight Fast;
- забезпечення високої інформативності і вибірковості, що дозволяє виконувати поділ сигналів про пожежу та несправності, а також виконувати зміну параметрів ліній зв'язку;
- забезпечення можливості використання різних ліній зв'язку;
- формування інформації про стан об'єктів, її обробка та збереження даних, які необхідно захищати;
- забезпечення уніфікації технічних засобів та можливості об'єднання різноманітних пристроїв в єдиний апаратно-програмний комплекс централізованого спостереження.

2.2 Структура системи пожежної безпеки

До системи СПТС входять наступні програмні модулі:

- програмний модуль взаємодії з апаратними засобами (ПМВАЗ);
- програмний модуль сервера (ПМС);
- програмний модуль адміністратора та оператора (ПМАО);
- база даних (БД);

При використанні основного і резервного серверів типова конфігурація системи наведена на рис. 2.4.

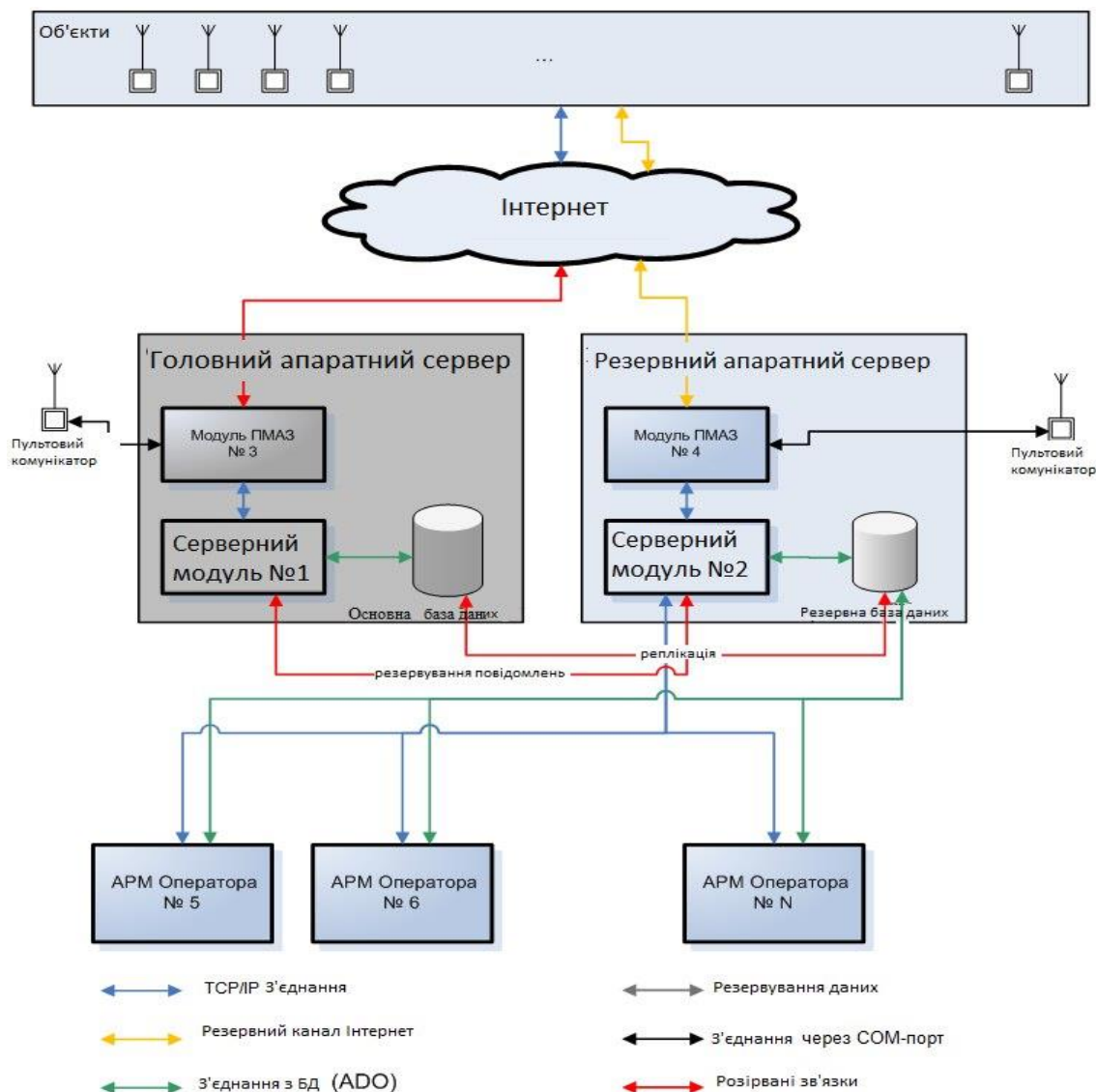


Рисунок 2.4 – Функціональна схема СПС

За взаємодію з пультовими комунікаторами і об'єктом відповідає модуль ПМУАС. Його функціями є забезпечення прийому від об'єктів повідомлень та їх передача до серверного модуля, а також передача командної інформації від серверного модуля до комунікаторів. Для прийому повідомлень модуль використовує протокол/порт TCP/IP, до якого від комунікаторів приходять через інтернет повідомлення [3]. Сервер, на якому функціонує цей модуль, відповідно, повинен мати статичну IP-адресу.

Модуль з'єднується з пультовими комунікаторами через COM-порти. При цьому, скільки завгодно комунікаторів може бути підключено до одного модулю ПМУАС. Кількість підключених об'єктів і періодом їх опитування визначає їх кількість.

ПМУАС з'єднується з серверним модулем згідно протоколу TCP/IP. Параметри з'єднання (сервер і порт) прописуються у відповідному файлі. Модуль ПМУАС не має відповідного з'єднання з базою даних.

Програмний серверний модуль (ПСМ) являється центральним ядром системи, функцією якого є координація роботи всіх модулів. До функцій ПСМ входить:

- забезпечення прийому сповіщень від модулів ПМУАС та збереження їх в БД. Для повідомлення, що прийнято, ПСМ визначає його категорію і, якщо потрібно, забезпечує його спрацьовування;
- відстеження створених змін в спрацьовуванні (це може бути виконанням дій або прийомом нового повідомлення) та розсилка цього спрацьовування всім операторам;
- виконання необхідних дій в цих спрацьовуваннях;
- відстеження необхідного зв'язку з операторами. Якщо зв'язок з ними зник, то всі ці спрацьовування, які оброблялися цими операторами, передаються іншим операторам;
- виконання перевірки наявності зв'язків з комунікаторами. При цьому період їх опитування повинен задаватися кожному комунікатору;
- передача при необхідності сповіщень на резервний сервер.

Зазначимо, що система може бути обладнан тільки одним робочим серверним

модулем. Резервний модуль залишається працювати в режимі очікування і не виконує ніяких операцій [6].

Так як серверний модуль не обладнаний графічним інтерфейсом, то основні налаштування здійснюються з використанням відповідного файлу, доступ до якого має тільки адміністратор системи. Всі інші параметри беруться з бази даних.

Програмний модуль оператора та адміністратора (ПМОА).

Модуль оператора являється графічним інтерфейсом користувача, який може дозволити:

- працювати з тривогами від об'єктів та несправностями;
- заповнювати та редагувати бази даних апаратури і об'єктів;
- заповнювати та редагувати відповідні довідники;
- переглядати вміст різних журналів;
- переглядати відповідну статистику;
- виконувати необхідні сервісні операції з апаратурою об'єктів;
- виконувати контроль за проведенням на апаратурі об'єкта ремонтних та регламентних робіт;
- виконувати процедури налаштування прав доступу.

В базі даних зберігається список користувачів. Після введення імені та пароля користувача ПМОА передає необхідну інформацію на серверний модуль, який перевіряє, чи був дозволений доступ і які користувач має права. Якщо доступ було дозволено, то відкриється основне вікно програми.

2.2 Функціональна схема системи пожежної безпеки

На рис. 2.5 наведена функціональна схема СЦПС. Як видно з рис. 2.5, вона складається з таких модулів:

- модуль сервера;
- модуль адміністратора, оператора та статистики;
- реєстрація пультів пожежного спостереження на WEB-сторінці;
- база даних.

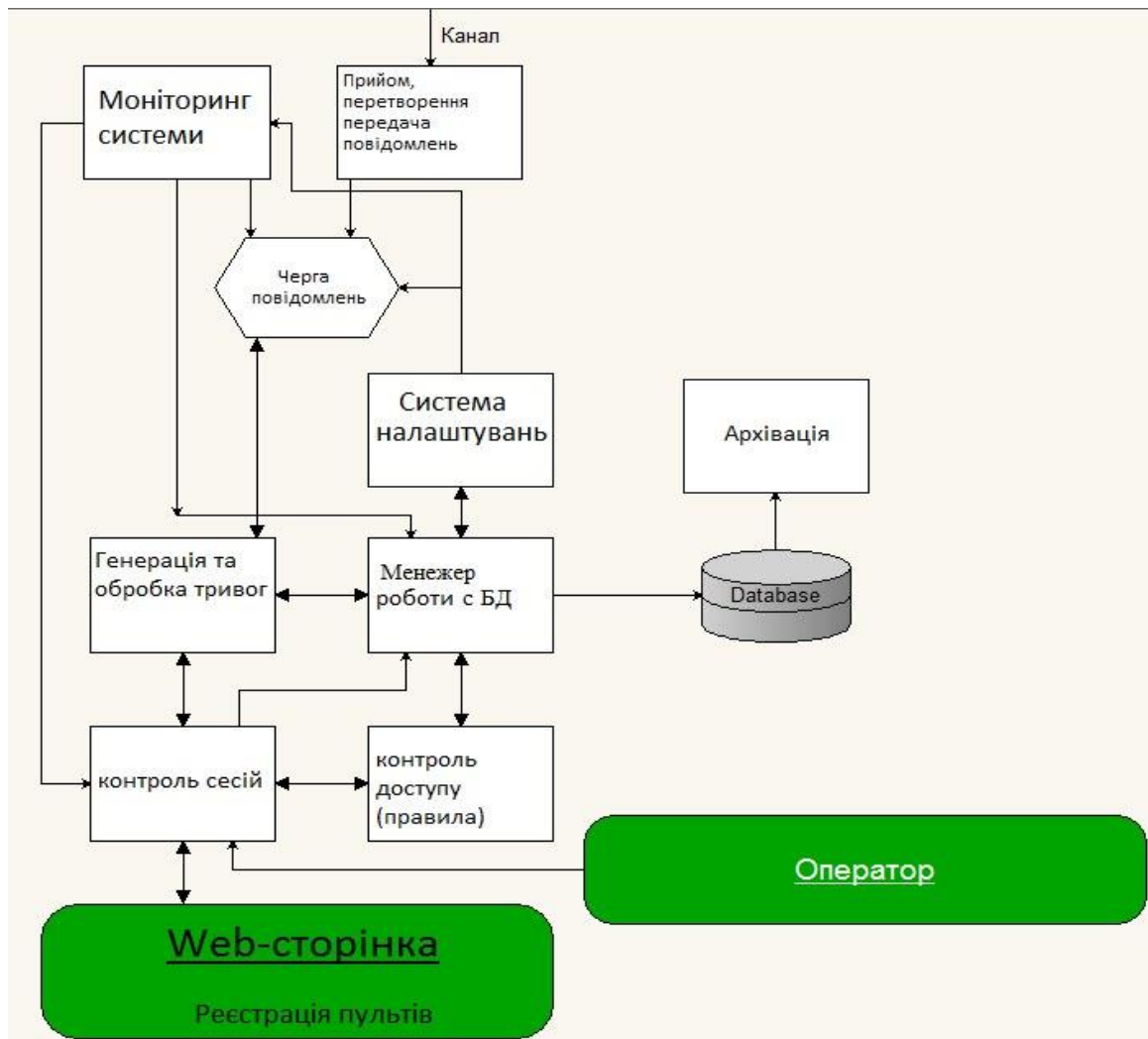


Рисунок 2.5 – Функціональна схема СЦПС

Програмний модуль сервера (ПММ) складається з наступних підсистем:

- моніторинг СЦПС;
- генерація та обробка тривожних сповіщень;
- менеджер база даних;
- контроль виконання сесій;
- контроль доступу до СЦПС;
- система налаштувань СЦПС;
- черга тривожних повідомлень;
- прийом, обробка та передача сповіщень.

Підсистема прийому, обробки та передачі сповіщень виконує наступні функції:

- прийом вхідних сповіщень від пультів пожежного спостереження згідно з

міжнародним протоколом SOS Access V3;

- перетворення вхідних оповіщень у внутрішній формат та їх запис в буфер;
- відсилка відповіді пульта, від якого надійшло сповіщення та зареєстровано в системі.

системі.

На підсистему генерації та обробки тривожних сповіщень покладені такі функції:

- читати з буфера наявні оповіщення (черга повідомлень);
- запис в БД прийнятого оповіщення для його захисту;
- визначати тип тривоги згідно коду оповіщення;
- видача на підсистему контролю сесії відповідної інформації;
- обробка оповіщень згідно дій оператора.

На підсистему контролю сесій покладені такі функції:

- встановити по запиту з'єднання з операторами;
- надати за вимогою необхідну інформацію відповідно до прав, які задані в

модулі контролю доступу;

- виконати контроль роботи всіх операторів;
- відіслати необхідні оповіщення певним операторам.

Розглянуті функціональна структура та функціональна схема інформаційної системи пожежної безпеки являються основою для розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці.

2.3 Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці

Для розробки системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці необхідно визначити:

- категорії приміщень щодо пожежної безпеки;
- площі пожежі;
- сили і засоби для гасіння пожеж.

Розглянемо більш детально ці питання.

2.3.1 Визначення категорії приміщення щодо пожежної безпеки

Першим параметром, який необхідний як для створення інтелектуальної системи при пожежній безпеці, так і оператору, є категорія будівлі або приміщення з пожежної безпеки.

Враховуючи властивості речовин та матеріалів, умови їх використання та обробки згідно ОНТП 24-86 «Визначення категорій приміщень і будинків по вибухопожежній і пожежній безпеці» будинки і приміщення з пожежної безпеки можна поділити на п'ять категорій: А, Б, В, Г і Д [10].

– до категорії А відносяться приміщення, в яких перебувають легкозаймисті та горючі рідини, що мають температуру загоряння, яка не перевищує 28C^0 , а також матеріали і речовини, які можуть вибухати і горіти при взаємодії з киснем, водою або один з одним, утворюючи вибухонебезпечні суміші і розвиваючи надлишковий тиск вибуху 5 кПа;

– до категорії Б відносяться приміщення та будинки, в яких є волокна і пил, а також рідини, що легко займаються і які мають температуру загоряння більше 28C^0 , та горючі рідини в кількості, що здатні утворювати вибухонебезпечні пило- та пароповітряні суміші, при спалаху яких може розвиватися надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

– до категорії Г відносяться приміщення та будинки, в яких знаходяться вогнетривкі матеріали і речовини в розплавленому, гарячому або розпеченому стані, а також тверді речовини, рідини і горючі гази, які утилізуються або спалюються як паливо, а процеси їх використання та обробки супроводжуються виділеннями іскор, променевої теплоти та полум'я.

– до категорії Д відносяться приміщення та будинки, в яких знаходяться в холодному стані вогнетривкі матеріали і речовини.

Система сама не в змозі визначити категорію будинка або приміщення за планом або будь-якими супутніми даними. Тому важливо в картці об'єкта вказувати таку інформацію. Більше того, категорія будівель та приміщень з пожежної безпеки, як правило, розраховується на етапі їх проектування.

2.3.2 Визначення площі пожежі

В картці об'єкта у векторному вигляді міститься план приміщень та координати датчиків пожежі в цих приміщеннях. Спираючись на ці дані можна оцінити в них площу пожежі. Визначимо за планом площу всього приміщення. Багатокутник, який не обов'язково може бути опуклим, так як вирішується загальна задача, перераховуючи координати вершин в порядку обходу сторін, задаємо на площині. Нехай буде задан довільний багатокутник ABCDE (рис. 2.6).

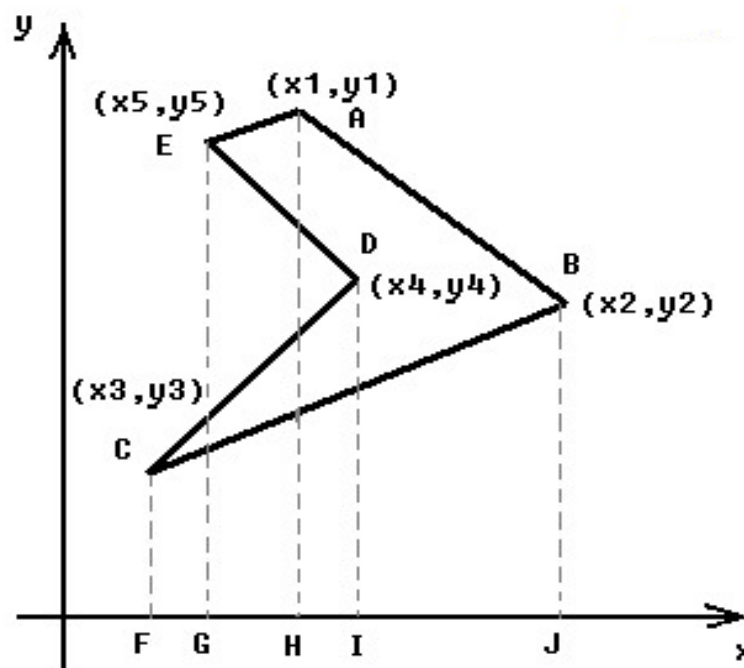


Рисунок 2.6 – Довільний багатокутник площі приміщення

Число вершин на рис.2.6 $n = 5$. На вісь Ox з кожної вершини опустимо перпендикуляр. Тоді площу багатокутника, що зображений на рис. 2.6, можна порахувати, використовуючи інтеграли:

$$S = \int_{AB} - \int_{CB} + \int_{CD} - \int_{ED} + \int_{EA} \uparrow$$

Кожний інтеграл є площею відповідної трапеції. Тоді маємо:

$$S = S_{ABJH} - S_{CBJF} + S_{CDIF} - S_{EDIG} + S_{EAHG} \uparrow$$

Таким чином, маємо дві вершини: n та $(n + 1)$. За умови, що вершина $(n + 1)$

знаходиться від вершини n праворуч, то слід додати цю площу, якщо знаходиться зліва, то слід відняти:

$$S_{\text{трап}} = \frac{1}{2}(a + b)h,$$

де a, b – основи трапеції; h – її висота.

Виконавши перетворення отримаємо:

$$\begin{aligned} 2S &= (y_2 + y_1)(x_2 - x_1) - (y_2 + y_3)(x_2 - x_3) + (y_4 + y_3)(x_4 - x_3) - (y_4 + y_5) \cdot \\ &\cdot (x_4 - x_5) + (y_1 + y_5)(x_1 - x_5) = y_2x_2 - y_2x_1 + y_1x_2 - y_1x_1 - y_2x_2 + y_2x_3 - y_3x_2 + \\ &+ y_3x_3 + y_4x_4 - y_4x_3 + y_3x_4 - y_3x_3 - y_4x_4 + y_4x_5 - y_5x_4 + y_5x_5 + y_1x_1 - y_1x_5 + \\ &+ y_5x_1 - y_5x_5 = x_1(y_5 - y_2) + x_2(y_1 - y_3) + x_4(y_3 - y_5) + x_5(y_4 - y_1). \end{aligned}$$

Остаточно матимемо:

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=0}^{n-1} (x_i (y_{i-1} - y_{i+1})) \right|, \quad (x_0, y_0) = (x_n, y_n). \quad (2.1)$$

Отриманий вираз (2.1) дозволяє обрахувати площу багатокутника довільної форми.

2.3.3 Визначення сил та засобів для гасіння пожежі

Для розв'язання цієї задачі розглянемо спочатку питання вибору технології її реалізації. В якості основи можна використати один з двох підходів:

1. Використання «Методики розрахунку сил і засобів, які необхідні для гасіння пожеж у будівлях та на територіях різного призначення».

2. Для класифікації надзвичайних ситуацій та підбору способів її вирішення з урахуванням наявного досвіду [4].

Використання методики являється офіційним Використання нейронних мереж рішенням, яке підпорядковується відповідному наказу. В наказі для розрахунку сил і засобів використовуються формули і таблиці, які містять тактико-технічні характеристики обладнання, що необхідне для гасіння пожежі. Основним недоліком

такого підходу є те, що він ніяк не враховує досвід гасіння пожеж, що був отриманий. Також в наказі не враховуються відповідні характеристика приміщення, а приведені тільки спосіб розрахунку необхідних даних та основні установки.

Використання нейронних мереж для реалізації і впровадження є більш складним, але саме цей підхід оберемо в якості основного для створення системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці. Розглянемо більш докладно переваги та недоліки використання нейромережевого підходу.

Переваги:

1. Паралельність та висока швидкодія обчислень нейронною мережею.
2. Нейронна мережа сама знаходить зв'язки між вхідними і вихідними даними шляхом навчання на прикладах. Слід зазначити, що якщо досліджувальний процес дуже складний, або зовсім не досліджений, тим навчання нейронної мережі є більш легшим і надійнішим.
3. В процесі свого функціонування нейрона мережа може донавчатися, адаптуватися до нових умов і видавати постійно коректні дані.

Недоліки:

1. Основним недоліком нейронної мережі є те, що її функціонування розглядається як чорний ящик.
2. Її структура та зв'язки важко інтерпретуються.

Виконаємо структурно-параметричний синтез системи при пожежній небезпеці. Структурно-параметричний синтез являється процесом, в результаті реалізації якого визначається структура досліджуваного об'єкта і знаходяться значення параметрів її складових елементів. Процес структурно-параметричного синтезу складається з двох етапів:

- 1) структурний синтез;
- 2) параметричний синтез.

Розглянемо ці етапи на прикладі нейронної мережі.

Структурний синтез являється етапом, на якому визначаються: тип мережі, її структура, кількість шарів і зв'язків, а також алгоритм навчання.

На рис. 2.7 наведена штучна нейронна мережа, яка є нейронною мережею

прямого розповсюдження з одним прихованим шаром і яка може з будь-якою точністю апроксимувати будь-яку безперервну функцію від багатьох змінних. Умовами для її ефективного функціонування являються необхідна кількість нейронів у прихованому шарі та підбір параметрів нейронної мережі.

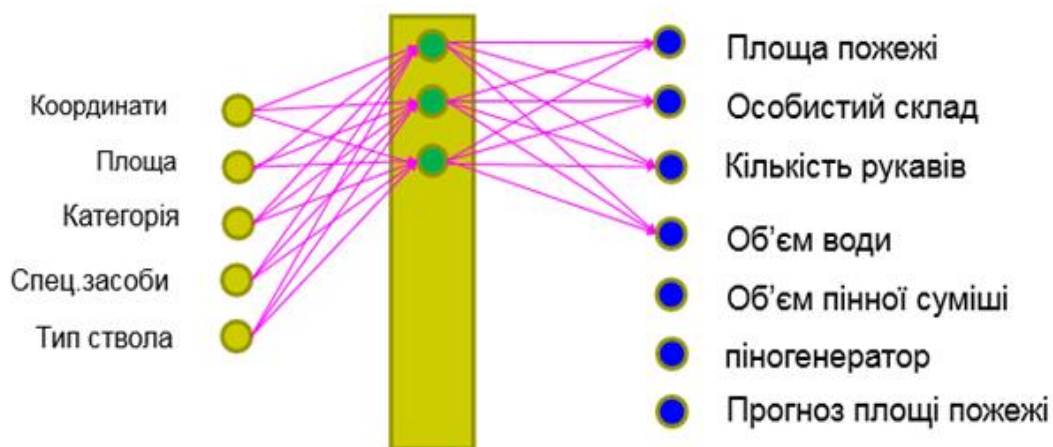


Рисунок 2.7 – Нейронна мережа з одним прихованим шаром

Слід зазначити, що в умовах надзвичайних ситуацій проблема прийняття рішень являється задачею класифікації відповідних ситуацій та вибору на її основі необхідних дій. В якості основної структури нейронної мережі обрано тришаровий персептрон. Згідно теореми про збіжність параметри елементарного персептрона визначаються методом зворотної корекції помилки незалежно від того, навчання виконується з квантуванням або без нього, а також незалежно від послідовності стимулів та вихідного стану вагових коефіцієнтів, тобто, він за певний проміжок часу завжди буде досягнене рішення.

Структурно-параметричний синтез являється необхідним, але мало оптимізованим кроком при побудові нейронної мережі. На кожному кроці при структурно-параметричному синтезі можуть бути проблеми. При виборі типу мережі рішення інженера-проектувальника є вирішальним, який, в свою чергу, залежить від його підготовки та досвіду. Невірний вибір типу нейронної мережі може призвести до втрат великої кількості часу на обчислення. Число шарів нейронної мережі та зв'язки між ними обираються також інженером-проектувальником. На цьому етапі не вироблені чіткі правила, якими слід керуватися, а є тільки рекомендації. Тому тут

також людський фактор відіграє важливу роль.

Реалізація параметричного синтезу не потребує втручання людини. Він виконує замість цього велику кількість комп'ютерних обчислень. Існує велика кількість спеціалізованих алгоритмів навчання, які орієнтовані на прискорення цього процесу, але на сьогоднішній день час навчання великих мереж є незадовільним.

В роботі вирішується завдання автоматизації процесу побудови нейро-фаззі мереж. Пропонується структурно-параметричний синтез нейро-фаззі мереж виконувати на основі метода дерев рішень (ДР), згідно якого для ДР, побудованого за навчальною вибіркою, формується автоматично нечітке розбиття простору ознак та виділяються правила, на основі яких формується структура мережі і визначаються значення її параметрів. Це дозволяє виконувати синтез моделі з невеликою кількістю нейронів, які мають високий рівень узагальнення і для налаштування величин параметрів моделі не вимагають розв'язання задачі оптимізації.

У роботі пропонується такий підхід. На початку навчання використовується багат шаровий повнозв'язний перцептрон. В процесі навчання ваги, які збігалися до «0», видалялися як непотрібні. Таким чином, перцептрон трансформувався при навчанні в неповнозв'язну оптимальну нейронну мережу, придатну для вирішення поставленого завдання.

Для створюваної СППР вибір відповідних входів і виходів нейронної мережі не склав труднощі, оскільки ці дані були задані на попередніх етапах постановки задачі. Складність була пов'язана тільки з пошуком шляху, тому це завдання вирішувалося згідно хвильового алгоритму пошуку оптимального шляху і було виділено окремо.

В якості вхідних змінних нейронної мережі були взяті: загальна кількість датчиків в приміщенні; площа приміщення; кількість датчиків, що спрацювали; категорія приміщення з пожежної небезпеки; наявність системи пожежогасіння, яка задається логічними змінними 0 або 1.

До вихідних даних нейронної мережі віднесли наступні: площа пожежі; маршрут руху пожежних до епіцентру пожежі, що може розраховуватися окремо; кількість особового складу; обсяг води і піни та інші.

Навчання нейронної мережі виконувалося з використанням алгоритму

зворотного поширення помилки по вибірці, що була складена по формулам з «Методики розрахунку сил і засобів, що необхідні для гасіння пожеж на територіях і в будівлях різного призначення» і якої виявилось достатньо для навчання нейронної мережі.

2.4 Математичні моделі прогнозування розповсюдження пожежі

Сьогодні для більшості будівельних конструкцій відомі показники вогнестійкості та можливості поширення вогню. Існує багато факторів, що мають вплив на динаміку пожежі, серед яких можна виділити середню швидкість поширення горіння V_0 на різних об'єктах в приміщеннях та будівлях певного типу та швидкість вигорання твердих матеріалів V_v .

Методи обчислення часу досягнення вогнем відповідної точки, що існують, полягають в сумуванні часу його поширення через перешкоди і по різних приміщеннях та оснований на інтуїції і досвіді керівника гасінням пожежі. Через невизначеність багатьох факторів, їх невідомості та неповноти для осіб, що приймають рішення (ОПР), точність такого розрахунку являється дуже низькою.

Методи обчислення часу досягнення вогнем певної точки ґрунтуються, як правило, на інтуїції та досвіді керівника гасінням пожежі та полягають в сумуванні часу його поширення через перешкоди та по різних приміщеннях будівлі. За умов невизначеності значень багатьох факторів, їх неточності і неповноти для особи, що приймає рішення [4], точність такого розрахунку буде дуже низькою.

Розглянемо методи і моделі прогнозування розповсюдження пожежі в часі і просторі.

1. *Зонна модель.* Дана модель отримала широке поширення, оскільки являється найменш складною. Її використовують для прогнозування розвитку пожежі в просторах, що є частково замкнутими, такими як одна або кілька кімнат, коли в розрахунках можна враховувати дверні проходи, вікна, вентиляція. Згідно даної моделі приміщення можна ділити на однорідні зони, для кожної з яких вирішувати рівняння, що описують закони збереження. Такий поділ складається з верхньої і

нижньої областей. У верхній області знаходяться продукти горіння (гарячі гази), а в нижній області зосереджено холодне повітря, яке не вступало ще в реакцію. В цьому випадку полум'я переноситься з нижньої області до верхньої.

Але такий підхід має свої переваги і недоліки. Припущення щодо поділу простору приміщення на вказані області являється лише частковим, так як відбуваються постійно перемішування повітряних мас, тоді як швидкість такого перемішування залежить від заданих характеристик приміщення, а саме від форм стелі, особливостей та параметрів вентиляції приміщення тощо. Але в тих випадках, коли невідомий характер розподілу параметрів в межах приміщення, таке припущення з необхідною точністю дозволяє передбачати розвиток пожежі. Ця модель не є складною в обчисленні, що розширює сферу її використання. Серйозним недоліком зонної моделі є те, що прийняті спрощення виступають обмеженням подальшого якісного розвитку зонної моделі.

Для опису зонної моделі використовують такі основні рівняння:

$$\frac{dm}{dt} = \sum_i m_i. \quad (2.2)$$

$$c_p m \frac{dT}{dt} - A_d Z \frac{dP}{dt} = Q + \sum_i h_i m_i. \quad (2.3)$$

$$p = \rho RT, \quad (2.4)$$

де m_i – приток теплової маси з i -ї області;

Q – загальний приплив енергії в зону, який обумовлений випромінюваннями, конвекцією і теплопровідністю;

h_i – питома ентальпія i -ї зони;

$\sum_i h_i m_i$ – сумарний приплив ентальпії в дану зону з усіх областей.

2. *Інтегральна модель.* Згідно цієї моделі будівлю розглядають як сукупність приміщень, з'єднаних один з одним дверима (прорізами). Приміщення можуть мати також отвори назовні (вікна). Прорізи та отвори забезпечують перетікання

задимленого гарячого повітря та джерела вогню з будівлі в атмосферу, а також з приміщення в інші приміщення.

Наведемо рівняння інтегральної моделі. Для оцінки витрат повітря через отвори використовується спрощена формула Бернуллі:

$$G = F \sqrt{(2\rho\Delta P)}, \quad (2.5)$$

де G – витрати повітря через отвір, кг/с;

F – площа перетинів потоку повітря, м²;

ρ – щільність повітряного потоку, кг/м³;

ΔP – середній перепад тиску між приміщеннями, Па.

Співвідношення тисків визначає апрямок повітряного потоку. Повітря з приміщення, де великий тиск, рухається через отвір в приміщення, в якому менший тиск. В отворі у деяких випадках можуть бути два зустрічних повітряних потоки. Гаряче задимлене повітря у верхній частині отвору рухається з приміщення, в якому є джерело пожежі. Компенсуючий потік холодного повітря рухається в приміщення у нижній частині отвору. На кордоні між вихідним і вхідним потоками лежить так звана площина рівних тисків.

Для опису кожного приміщення використовують диференціальні рівняння балансу мас повітря:

$$\frac{dm}{dt} = \psi \sum_i G_i, \quad (2.6)$$

де m – повітряна маса в приміщенні, кг;

ψ – швидкість вигорання пожежної маси, кг/с;

$\sum_i G_i$ – сума повітряних витрат через отвори, враховуючи їх знаки, кг/с.

Рівняння балансу енергії описується виразом:

$$\frac{dU}{dt} = Q_{\dot{a}} - Q_{\dot{e}} + \sum_i c_p T_i G_i, \quad (2.7)$$

де U – внутрішня енергія повітря в будівлі, Дж;

$Q_{\dot{a}}$ – швидкість виділення тепла при згарінні, Джг/с;

$Q_{\dot{e}}$ – швидкість поглинання конструкціями тепла, Джг/с;

$\sum_i c_p T_i G_i$ – сума потоків тепла, яка через отвори переноситься повітрям,

враховуючи їх знаки.

Слід зазначити, що аналогічні рівняння використовуються в зонній моделі, але для кожного приміщенні кожній зоні.

3. *Польова модель.* Завдяки збільшенню потужності комп'ютерів та розвитку методів обчислювальної гідродинаміки почав розвиватися новий клас моделей пожежі, а саме польові моделі, які засновані на рівняннях Нав'є–Стокса. Як і зонна ця модель використовується також для прогнозування розвитку пожежі в приміщеннях.

У польовій моделі також виконується розбиття простору на області і рішення рівнянь, що описують закони збереження. Але тут значно більша кількість областей, що в більш складних приміщеннях дає можливість підвищити точність прогнозування. Основою польової моделі являються рівняння, що описують закони збереження маси, енергії, імпульсу та компонентів в малому контрольному обсязі, що аналізується:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0. \quad (2.8)$$

Рівняння збереження імпульсу має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i. \quad (2.9)$$

Для ньютонівських рідин тензор в'язких напруг подається виразом:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij}. \quad (2.10)$$

Рівняння збереження енергії має такий вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}, \quad (2.11)$$

де $h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p dT + \sum_k Y_k H_k$ – статична ентальпія для суміші;

H_k – теплота перетворення для k -го компонента;

q_j^R – радіаційний потік енергії в напрямку змінної x_j .

Рівняння, що описують збереження хімічного компонента k , мають вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k. \quad (2.12)$$

Щоб замкнути систему рівнянь (2.8) – (2.12), використаємо рівняння стану хімічного компонента для ідеального газу. Для суміші газів воно прийме вигляд:

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (2.13)$$

де R_0 – універсальна газова константа;

M_k – молярна маса k -го компоненту.

4. *Еволюційне моделювання.* Його використовують для оптимізації переважно дискретнозначних функцій. Еволюційні методи відрізняються від інших методів, але спільним для них є наявність функції пристосованості, яка є цільовою функцією.

Використовують два підходи до розгляду потенційних рішень. Такі рішення у

першому випадку являють собою генотипи, тобто бінарні хромосоми, оскільки таке представлення характеризується максимальною інформаційною насиченістю. У другому підході застосовується фенотипне подання, рішення при якому мають десятковий вигляд. Для нього можна отримати нові рішення без рекомбінацій і з використанням нормально розподіленого зсуву.

Як нейромережеві моделі, так і еволюційні методи мають свої переваги і недоліки. Перевагою еволюційних методів є відсутність вимог до цільових функцій, а також використання операції мутації, що мінімізує ризик потрапляння в локальні оптимуми. До переваг нейромережевих моделей можна віднести монотонне прагнення цільової функції до отримання задовільного значення. Ефективність застосування тієї чи іншої моделі залежить від кількості експертів, кількості ділянок проходження пожежі та процедур, які використовують навчальні та контрольні вибірки [1].

2.5 Програмні засоби моделювання процесів розповсюдження пожежі

На сьогодні існує велика кількість програмних засобів, які застосовуються для моделювання процесів розповсюдження пожежі. Розглянемо деякі з них.

1. Програмний комплекс (ПК) «СІГМА ПБ» призначений для того, щоб виконувати розрахунки поширення різних небезпечних факторів пожежі, а також для евакуації людей з багатоповерхових споруд і будинків, з будівель, що мають різні класи функціональної пожежної безпеки. ПК «СІГМА ПБ» є складовою частиною ПК «Єнісей», що застосовується для оцінки та розрахунку ризику пожежі в будівлях різного призначення,

До ПК «СІГМА ПБ» входять наступні компоненти:

- створювач тривимірного каркаса будівлі, геометрії об'єкта та розрахункової сітки;
- конструктор різних сценаріїв евакуації;
- модуль на основі обчислювального ядра SigmaFire, який виконує розрахунки розвитку пожежі;

- модуль на основі обчислювального ядра SigmaEva, який виконує розрахунки евакуації людей;
- модуль 3D-візуалізації розповсюдження пожежі, а також просторового і часового аналізу евакуації.

Щоб виконувати розрахунки по евакуації населення та по розповсюдженню небезпечних факторів пожежі можна використовувати відповідно програми SigmaFire і SigmaEva, в яких реалізовані польова модель пожежі та моделі евакуації індивідуально-потокowego типу.

ПК «СІГМА ПБ» перед аналогами має наступні переваги:

- має єдине програмне середовище, яке характеризується форматом даних і єдиним полем інформаційних ресурсів, щоб розв'язувати задачі розрахунку руху людей при евакуації та поширення пожежі;
- має власний створювач об'єктів;
- має власні обчислювальні модулі;
- виконує 3D-візуалізацію евакуації людей і поширення пожежі у віртуальному тривимірному середовищі та має можливість змінювати позицію спостерігача.

Вбудований в ПК модуль 3D-візуалізації розрахунків дає можливість спостерігати процес евакуації людей і поширення пожежі в різних частинах будівлі:

- потік тепла;
- температуру навколишнього середовища;
- концентрацію CO або чадний газ;
- концентрацію CO₂ або вуглекислий газ;
- концентрацію HCl або хлороводень;
- концентрацію O₂ або кисень;
- дим на заданій висоті від підлоги, а також щільність потоку людей.

За запитом користувача йому видається інформація за такими сценаріями:

- час евакуації людей з поверхів та в цілому з будівлі,
- час блокування евакуаційних шляхів,
- тривалість щільних скупчень людей,
- кількість людей, які зазнали впливу від різних факторів пожежі, що

перевищують допустимі значення.

Таким чином ПК «СІГМА ПБ» являється ефективним програмним засобом, який доцільно використовувати для прогнозування процесу розповсюдження пожежі.

2. Програмний комплекс (ПК) «PyroSim» являється графічним інтерфейсом користувача для FDS, який забезпечує швидке і зручне створення, редагування та аналіз складних моделей розвитку пожежі.

ПК «PyroSim» дає можливість по польовій моделі виконувати моделювання процесів розповсюдження небезпечних факторів пожежі, будувати поля небезпечних факторів та визначати час блокування шляхів евакуації людей.

ПК «PyroSim» дає можливість імпортувати файли форматів DXF та DWG з AutoCAD. При імпортуванні 3D-грані стають перешкодами, а решта всіх інших даних, такі як лінії, криві тощо, перетворюються в незалежні CAD-об'єкти. Крім того, ПК «PyroSim» дає можливість у форматах GIF, JPG або PNG завантажувати зображення в якості підкладок, що допомагає на їх основі швидко створювати об'єкти.

ПК «PyroSim» володіє інструментами, які допомагають в моделі створювати та керувати кількома сітками, які для прискорення розрахунків дають можливість використовувати паралельні обчислення, для зменшення числа осередків сітки в моделі дозволяють спрощувати геометрію, тим самим зменшуючи час розрахунку, в різних частинах моделі змінювати дозвіл.

У ПК «PyroSim» є можливість створення і використання для різних об'єктів бібліотеки властивостей, а саме реакції, поверхні, матеріали тощо, що дозволяє прискорити створення моделі і зменшити ймовірність помилок. ПК «PyroSim» має можливість інтерактивного перегляду і редагування властивостей об'єктів в моделі. Такий наявний візуальний зворотний зв'язок дозволяє прискорити створення моделі та зменшити ймовірність помилок.

В ході створення моделі або виконання розрахунків у будь-який момент можна запустити програму SmokeView, що розроблена NIST і наочно дозволяє побачити розповсюдження диму, побудувати поля швидкостей, температур та інших небезпечних факторів. Крім того, ПК «PyroSim» має вбудовані інструменти для побудови двовимірних графіків залежностей різних величин від часу.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ З ПРИМІЩЕНЬ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ

3.1 Пошук оптимального шляху виходу людей з будівель під час пожежі

В якості об'єкта дослідження обрано торговий зал, який розташовується в багатопверховому торговому центрі на одному з поверхів. Розглянемо графічно об'єкт, показаний на рис. 3.1, для якого вирішується завдання евакуації.

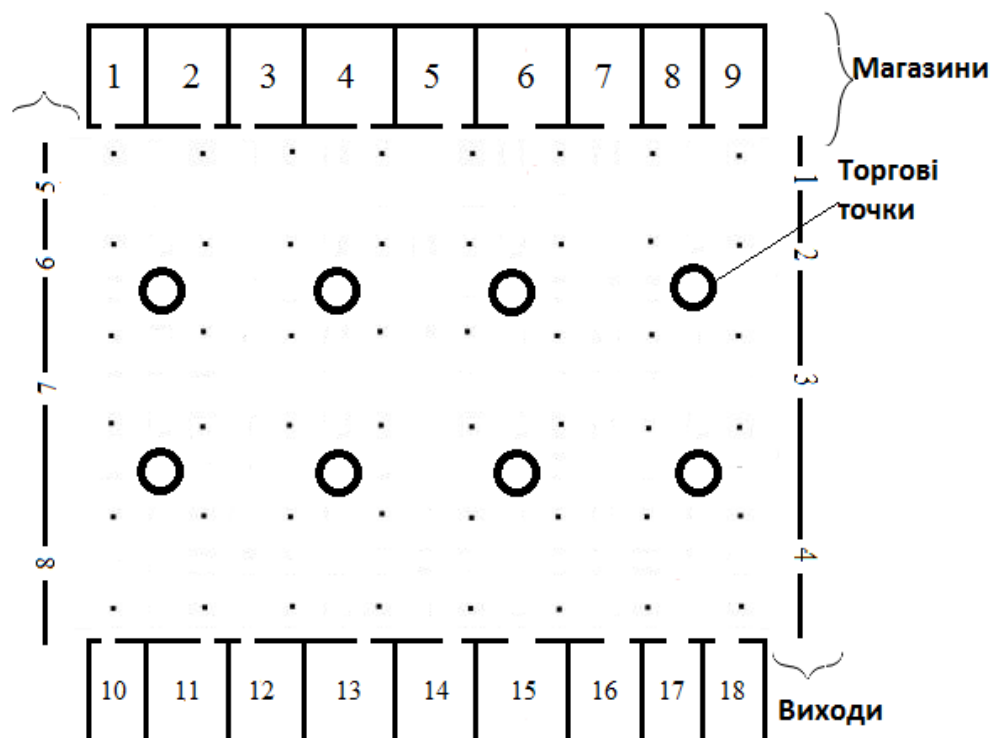


Рисунок 3.1 – Графічне представлення об'єкта евакуації

В приміщенні є окремі магазини, які перегороджені між собою гіпсокартонними конструкціями, що знаходяться з двох сторін торгового залу і мають нумерацію від 1 до 18. Всередині торгового залу можуть знаходитися ресторани, точки для торгівлі, які не мають стін, кафе, які позначено колами тощо. З відповідною дискретністю в підлогу торгового залу вбудовані світлодіодні світильники різного кольору, які на рис. 3.1 позначені точками і які в момент виникнення пожежі вмикаються, тим самим складають маршрут евакуації. Тобто, світло певного кольору

горіння визначає відповідний можливий маршрут евакуації, а їх перемикання відповідає певномк принципу.

Аварійні виходи з торгового залу пронумеровано від 1 до 8, а в дверях кожного магазину встановлені датчики входу/виходу, дані з яких обробляються для визначення кількості людей в магазині в кожен момент часу, щоб передати їх до пульта управління пожежної сигналізації торгового центру. Кількість людей, що знаходяться в торговому центрі поза магазинами, визначаються приблизно.

Топологію торгового залу представимо у вигляді кінцевого, спрямованого і зваженого графа $G(N, L, W)$, де N – множина вузлів графа, L – множина ребер графа. Ребра графа можна описати їх кінцевими вузлами, наприклад, ребро $l_{o,e} : o \in N$ – початковим вузлом, а $e \in N$ – кінцевим вузлом (рис. 3.2), для графа визначені такі вихідні дані:

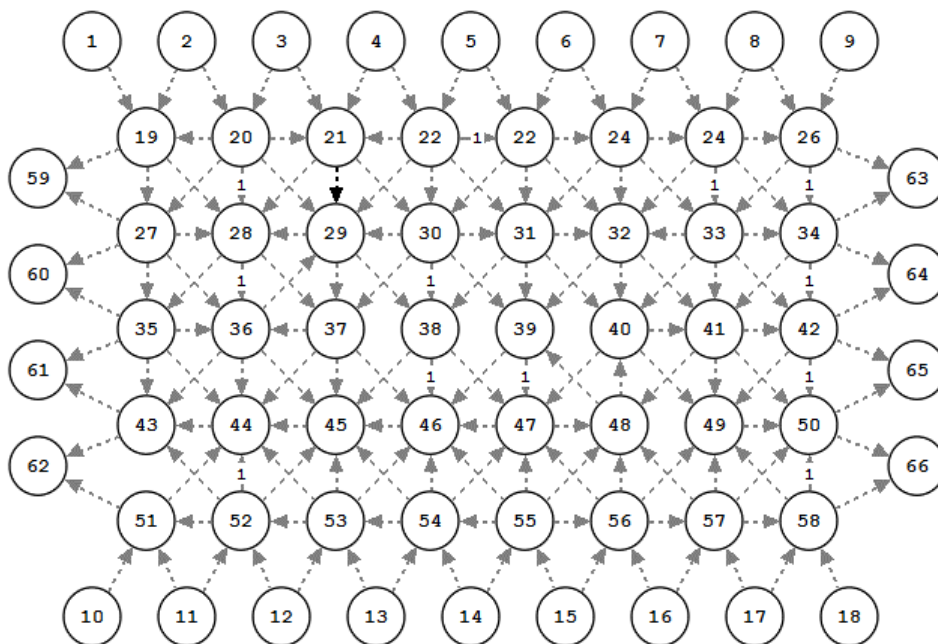


Рисунок 3.2 – Графічна модель зв'язкового графа

1) $A = \{a_i\}$, $i = \overline{1, n}$ – множина магазинів та торгових точок в торговому залі; при цьому кожному елементу a_i множини відповідає пара $\{x_i, y_i\}$, $i = \overline{1, n}$ з координатами розміщення магазину;

- 2) $B = \{b_i\}$, $i = \overline{1, n}$ – кількість відвідувачів, які можуть перебувати в магазинах в даний момент ;
- 3) $C = \{c_k\}$, $k = \overline{1, m}$ – множина виходів з ТЗ з координатами $\{x_k, y_k\}$, $k = \overline{1, m}$;
- 4) $D = \{d_p\}$, $p = \overline{1, l}$ – множина магазинів, де відбулася пожежа з координатами $\{x_p, y_p\}$, $p = \overline{1, l}$;
- 5) $E = \{e_j\}$, $j = \overline{1, q}$ – множина точок, в яких виникла пожежа в ТЗ з координатами $\{x_j, y_j\}$, $j = \overline{1, q}$;
- 6) $F = \{f_h\}$, $h = \overline{1, v}$ – множина світлодіодних світильників, які вмонтовані в підлогу ТЗ з координатами $\{x_h, y_h\}$, $h = \overline{1, v}$.

Вершини графу було пронумеровано від 1 до 6, кожній з яких має відповідати свій елемент. Наприклад, множині магазинів відповідають вершини 1–18 , множині світлодіодних світильників відповідають вершини 19–58 , а множині місць виходу відповідають вершини 56–59.

Ставиться завдання визначити шляхи евакуації відвідувачів з магазинів та ТЗ, можливо оптимальні, при виникненні пожежі в одному або декільках магазинах з багатьох магазинів D , і/або в одній або декільках точках ТЗ з багатьох точок E . Кожен шлях евакуації повинен бути підсвічений відповідним кольором, мати мінімальну довжину і максимальну кількість людей забезпечити евакуацію за мінімальний термін. Таким чином, згідно рис. 3.2 критерій оптимальності може бути заданий у вигляді: $I = \sum_{i=1}^n l_i$, де l_i ($i = \overline{1, n}$) – довжина i -го ребра графа.

3.2. Гібридна нейронна мережа для знаходження оптимального шляху виходу людей із приміщення

Дану задачу можна віднести до класу оптимізаційних, для розв'язання якої застосована нейронна мережа Хопфілда. Використання мережі Хопфілда для цієї задачі базується на застосуванні функції Ляпунова, значення якої зменшується при

розвитку мережі [1, 2]. Тому мінімуми функції енергії Ляпунова повинні співпадати зі стійкими станами мережі.

Нейронна мережа Хопфілда є рекурентною одношаровою нейронною мережею, в якій вихід кожного нейрона пов'язаний зворотним зв'язком зі входами інших нейронів (рис. 3.3). Модель кожного нейрона мережі, яка застосовується для зміни виходів та ваг, представляється у вигляді:

$$\frac{dX_j(t)}{dt} = -\frac{X_j(t)}{\tau} + \sum_{i=1}^N T_{ij} Y_i(t) + b_j, \quad (3.1)$$

$$Y_i = f(X_i) = \frac{1}{1 - \exp(-a_i X_i)},$$

де $X_j(t)$ – внутрішній стан нейрона;

$Y_i(t)$ – вихід i -го нейрона за умов $i \neq j$.

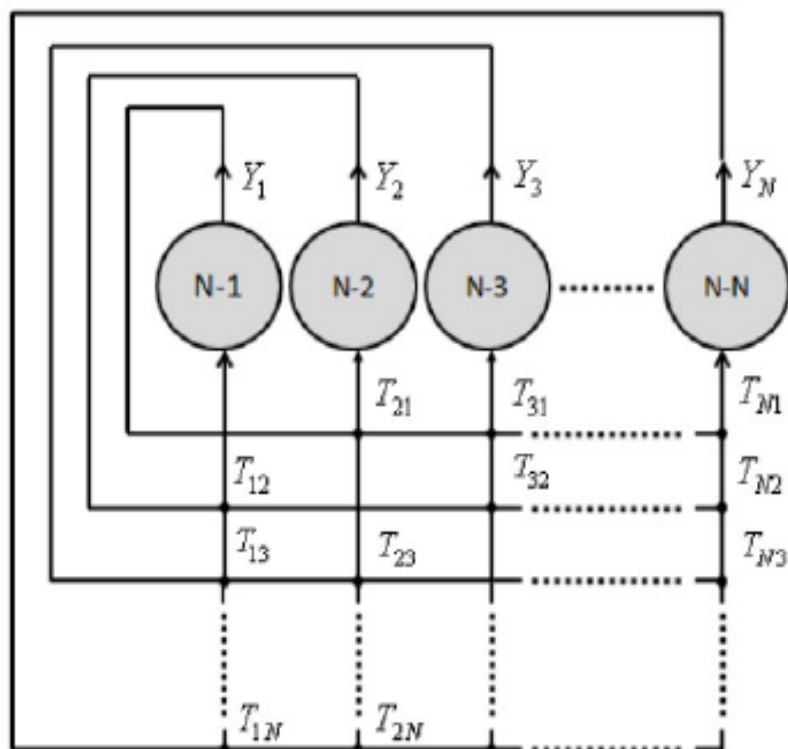


Рисунок 3.3 – Нейронна мережа Хопфілда

В даній моделі N являється кількістю нейронів, b_j – це зміщення j -го нейрона; τ є постійною часу; a_i – коефіцієнт підсилення; T – матриця ваг мережі.

Рішення проблем пошуку оптимальних шляхів вимагає визначення вагових функцій, які мають відповідні обмеження і можуть вважатися функціями енергії, що підходять для моделювання нейронними мережами рішень, які знаходяться мінімізацією функції енергії в мережі Хопфілда.

Топологію мережі можна представити у вигляді кінцевого, спрямованого і зваженого графа $G(N, L, W)$, в якому N – множина вузлів графа, а L – множина його ребер. Довжину кожного ребра $l \in L$ можна представити значенням вагового коефіцієнта нейронної мережі $W_l \in W$; кожному ребру графа l відповідає набір упорядкованих позитивних цілих чисел.

Кожне ребро l в задачі пошуку оптимального шляху має різну вартість (довжину), тому алгоритм знаходження найкоротшого шляху вибирає шлях, який має мінімальну вартість передачі даних від початкового вузла до її кінцевої точки. Вартість кожного шляху являється сумою вартостей, тобто сумою вагових коефіцієнтів всіх ребер на цьому шляху:

$$C_{Ps,d} = C_{L_{sn_i}} + C_{L_{np_j}} + \dots + C_{L_{nk_d}}.$$

Метою визначення найкоротшого шляху є мінімізація вартості шляхів між парою вузлів (s, d) для всіх $s, d \in N$: $\text{Minimize} \{C_{P_{s,d}}\} \forall s, d \in N$.

При використанні мережі Хопфілда для побудови найкоротшого шляху граф представляють матрицею суміжності $\mathbf{A}=[N \times N]$, що має нульові елементи головної діагоналі (рис. 3.3). Якщо елемент матриці суміжності $A_{ij} = 1$, то в цьому випадку є зв'язок між вузлами графа, що відповідає шляху між точками i, j .

Стан нейрона в структурі нейронної мережі Хопфілда ставлять у відповідність наявності зв'язку між вузлами цього графа, тобто, стан вихід нейрона (i, j) буде відповідати включенню відповідного ребра i, j графа складовою шляха.

Модель одного нейрона (i, j) мережі Хопфілда описується у вигляді:

$$\frac{dX_{ij}(t)}{dt} = -\frac{X_{ij}(t)}{\tau} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ijk_i} Y_{ki}(t) + b_{ij}, \quad (3.2)$$

де $X_{ij}(t)$ – внутрішній стан нейрона для позиції (i, j) ;

τ – постійна часу нейронної мережі;

T_{ijk_i} – вага зв'язку між нейроном (i, j) і нейроном (k, l) ;

b_{ij} – величина зміщення нейрона (i, j) .

Крім того, для розрахунків зв'язків мережі необхідно мати матрицю зв'язків $K=[N \times N-1]$, де елемент K_{ij} дорівнює 1, коли шлях від вузла i до вузла j відсутній. Вартість з'єднання шляху з вузла i до вузла j позначимо як кінцеве дійсне позитивне число G_{ij} . Вартість не існуючих шляхів приймемо рівними нулю.

Для того, щоб вирішити завдання оптимальної маршрутизації на основі використання моделі Хопфілда, спочатку визначимо функцію енергії, мінімізація якої переводить нейронну мережу в її найнижчий енергетичний стан. Стабільний стан мережі буде відповідати вирішенню поставленого завдання маршрутизації. Використаємо функцію енергії, яка формується в такий спосіб:

$$E = z_1 E_1 + z_2 E_2 + z_3 E_3 + z_4 E_4 + z_5 E_5, \quad (3.3)$$

де її складові формуються в такий спосіб:

$$E_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N G_{ij} Y_{ij}, \quad (3.4)$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N K_{ij} Y_{ij}, \quad (3.5)$$

$$E_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} \right]^2, \quad (3.6)$$

$$E_4 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} (1 - Y_{ij}), \quad (3.7)$$

$$E_5 = \frac{1}{2} (1 - Y_{ds}). \quad (3.8)$$

У рівнянні (3.3) множник z_1 мінімізує загальну вартість шляху, враховуючи вартість зв'язків, що існують. Компонент z_2 не дозволяє включати в шлях ланки, що не існують. Компонент z_3 вказує на те, що якщо вузол уже був введений в шлях, то він також буде використаний в мережі. Компонент z_4 є підтвердженням того, що стан нейронної мережі з найменшим значенням енергії сходиться до дійсного маршруту. Компонент z_5 забезпечує побудову шляху, який виходить з початкового вузла s і закінчується в вузлі призначення d .

Щоб зменшити загальну енергію, мережа виконує внутрішню активацію, тобто нейрони оновлюють свій стан, де $\frac{dE}{dY}$ безпосередньо розраховується і являється сумою всіх множників енергії. Це і є дискретний підхід до розв'язання диференціального рівняння, яке формує зв'язок між функцією активації та енергетичними показниками [3, 5].

Рівняння відновлення станів нейронів описується виразом:

$$\frac{dX_{ij}}{dt} = -\frac{X}{\tau} - \left(z_1 \frac{dE_1}{dY} + z_2 \frac{dE_2}{dY} + z_3 \frac{dE_3}{dY} + z_4 \frac{dE_4}{dY} + z_5 \frac{dE_5}{dY} \right), \quad (3.9)$$

де

$$\frac{dE_1}{dY} = \frac{1}{2} G_{ij} (1 - \delta_{id} \delta_{js}), \quad (3.10)$$

$$\frac{dE_2}{dY} = \frac{1}{2} K_{ij} (1 - \delta_{id} \delta_{js}), \quad (3.11)$$

$$\frac{dE_3}{dY} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (Y_{ik} - Y_{ki}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (Y_{jk} - Y_{kj}), \quad (3.12)$$

$$\frac{dE_4}{dY} = \frac{1}{2} (1 - 2Y_{ij}), \quad (3.13)$$

$$\frac{dE_5}{dY} = \frac{1}{2} \delta_{id} \delta_{js}, \quad (3.14)$$

де δ_{ij} є символом Кронекера, який приймає значення 1 для $i = j$, і приймає значення 0 в іншому випадку.

Після розв'язку цієї системи рівнянь можна отримати зміну вихідної енергії нейрона. Підставляючи вхідні значення нейронів U_{xi} при $t = 0$, зміна станів нейронної мережі в часі буде моделюватися рішенням рівняння (3.13), що відповідає розв'язку системи, яка складається з $n*(n - 1)$ нелінійних диференціальних рівнянь, в якій змінні є вихідні напруги нейронів Y_{xi} . Для розв'язання системи цих рівнянь використаємо метод Рунге–Кутта для високих порядків, який являється досить точним і простим в реалізації.

При моделюванні спостерігались і оновлювалися покроково вихідні напруги нейронів за часом δt . Крім того, для кожного нейрона встановлювалася постійна часу τ і для простоти припускалося, що $\lambda_{xi} = \lambda$ та $g_{xi} = g$, і всі вони є незалежними від індексів (x, i) . Проведене моделювання виявило, що кращим значенням для часу δt є 10^5 . При подальшому зменшенні цього значення збільшується час симуляції без покращення результатів.

В ході моделювання іншим важливим параметром є початкове значення вхідної напруги нейронів U_{xi} . За умов, коли нейронна мережа не має переваг щодо якогось шляху, то усі U_{xi} повинні встановлюватися рівними нулю. Однак дія деякого початкового випадкового шуму $-0,0002 \leq \delta t U_{xi} \leq +0,0002$ може порушити симетрію, що викликана симетричною топологією мережі, а також бажання мати більше, ніж один найкоротший шлях. Коли система досягає стійкий кінцевий стан, моделювання зупиняється. Це відбувається у випадку, коли всі вихідні напруги нейронів змінюються від одного відновлення до другого не більше, ніж на значення порогу $\Delta Y_{th} = 10^5$. Кожний нейрон у цьому стабільному стані або входить в шлях, коли $Y_{xi} \geq 0,5$, або не входить, коли $Y_{xi} < 0,5$).

В якості приклада використаємо мережу, що показана на рис. 3.4. Мережа, що досліджується, має чотири вузли та п'ять ланок. Видно, що найкоротший шлях буде між вузлами (1, 4), де $S = 1$ і $D = 4$. До моделі мережі входить 12 нейронів. Початковий стан нейронів є випадковим, параметри мережі розглядаються в діапазоні $[0,1]$, для всіх нейронів параметр $\tau = 1$, а інші параметри розглядаються наступним чином; $z_1 = 950$; $z_2 = 2500$; $z_3 = 1500$; $z_4 = 475$; $z_5 = 2500$; $\Delta t = 10^{-5}$.

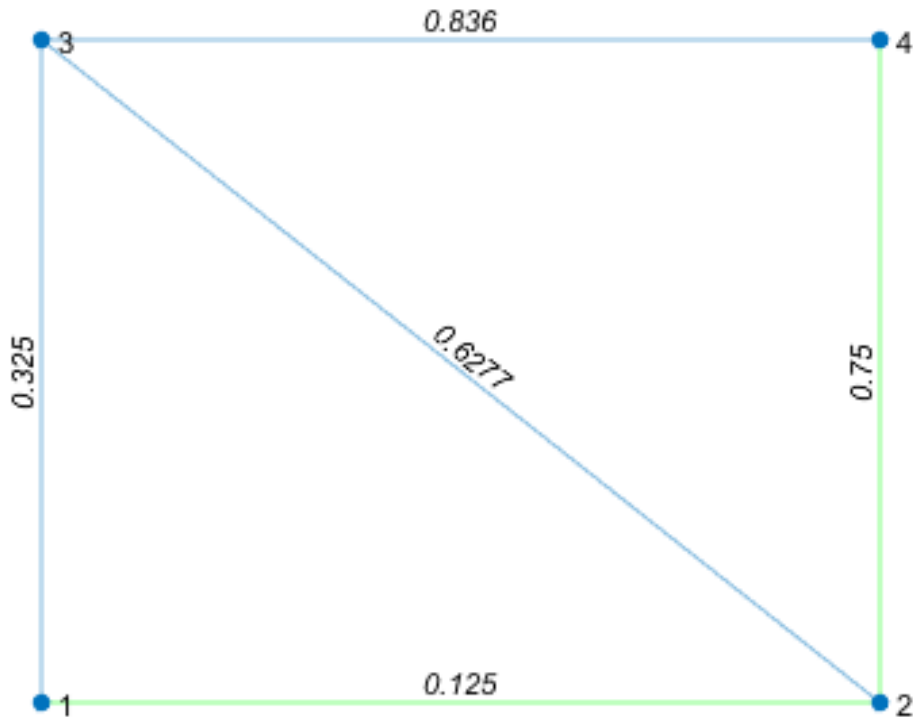


Рисунок 3.4 – Приклад топології мережі

Для мережі, що показана на рис. 3.4, був знайдений найкоротший шлях $P_{1,4} = \{1; 2; 4\}$, а його вартість, тобто довжина, прийняла значення $C_{P_{1,4}} = 0,875$, що є найменшим значенням серед всіх можливих шляхів. Найкоротший шлях було знайдено після виконання 2558 ітерацій.

3.3 Програмні засоби для організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі

Для забезпечення пожежної безпеки людей необхідна організація їх безпечної евакуації. Критеріями безпечної евакуації людей являються, насамперед, своєчасність і безперешкодність їх пересування, які можна перевірити шляхом розрахунків на основі моделей евакуації, які реалізовані на РС. На сьогодні існують десятки моделей, що враховують ті чи інші способи представлення внутрішнього середовища будинків, індивідуальний або груповий рух людей, психологічний стан поведінки людей та їх дії при пожежі, вибір різних маршрутів, вплив різних пожежних факторів тощо.

Розглянемо програмні засоби, які використовуються для організації евакуації людей при пожежі.

1. *Cimic Evatek*. Цей програмний засіб, в якому реалізована тільки модель руху, можна використовувати для різних типів будівель. Користувач може сам задати різні профілі, ролі агентів і сценарії їх поведінки:

- виконання розрахунків часу евакуації людей, враховуючи особливості їх індивідуального руху в потоці, швидкість людей в залежності від їх щільності в прямокутній області;

- можливість використання вбудованого графічного редактора вводу вихідних даних для виконання розрахунків;

- можливість відображення карти щільності, а також поточних і пройдених шляхів всіх агентів;

- можливість запису та відображення результатів розрахунків;

- можливість реалізації 3D режиму візуалізації руху агентів;

- можливість формування звіту, який може включати результати моделювання, вихідні дані, графіки середньої і максимальної щільності агентів в моменти пожежу, відсоток виходів, що використані, тощо;

2. *Cimic Флоутек*. Даний програмний засіб також можна використовувати для різних типів будівель, в якому основним типом моделі є модель руху. Основними характеристиками системи являються:

- можливість введення вихідних даних для розрахунків на основі вбудованого графічного редактора, який використовує скановані плани будівель;

- можливість підтримки різних параметризацій;

- можливість роботи з єдиним файлом проекту, що входить в комплекс програм СІПІС для розрахунків пожежних ризиків;

- можливість створення різних сценаріїв евакуації людей;

- можливість відображення карти шляхів евакуації людей;

- можливість 3D анімації рухів людських потоків та їх покрокового перегляду;

- можливість перегляду для кожної розрахункової області основних її параметрів;

– можливість формувати звіти, які можуть включати вихідні дані, таблиці часу виходу з поверхів, таблиці розрахунків часу евакуації з приміщень, таблиці ділянок з затримками руху, зображення шляхів евакуації, зведені таблиці часу евакуації для різних сценаріїв, карти ділянок розрахунків, тощо.

3. *Evacnet 4*. Даний програмний засіб можна використовувати для різних типів будівель, таких як висотні будівлі, стадіони, готелі, офіси, ресторани і школи. Основне завдання цієї моделі – оптимізація евакуації з будівлі, тобто, при її використанні зводиться до мінімуму час евакуації людей з приміщень.

Основним типом моделі є модель руху, структурою моделі являється мережева модель, але поведінка агентів в моделі не враховується.

4. *BuildingExodus*. Метою цього програмного засобу являється моделювання процесу евакуації з різних типів будівель великої кількості людей. У *BuildingEXODUS* розглядаються взаємовідносини: люди-люди, люди-пожежа та взаємодія людей. Модель включає шість підмоделей, які взаємодіють один з одним для передачі інформації про моделювання процесу евакуації, дані про агентів, їх поведінку, рух, токсичність, небезпеку, геометрію тощо.

5. *Simulex*. Дана модель має можливість моделювати евакуацію великої кількості людей з приміщень, які мають складну геометричну архітектуру. Основним типом моделі є поведінкова модель, яка базується на відстані між агентами, що впливає на їх швидкодню. Модель дозволяє також виконувати обгін, повороти, рух в різні сторони.

Структурою моделі є «регулярна сітка», при цьому план сітки і план поверху розділені на комірки розміром 0,2м×0,2м. До складу моделі входить алгоритм, який дозволяє розрахувати відстані від певного блоку до відповідного виходу, отримані дані розрахунків потім відображаються на мапі.

Поведінкою агентів являється прихована поведінка, де такі рухи агентів як зміни в швидкості руху, деформація тіла та кроки в бік, обгін тощо, базуються на аналізі окремих рухів і на результатах багатьох відеоспостережень, а також на додаткових результатах наукових досліджень.

6. *Pathfinder*. Даний програмний засіб використовується для моделювання

евакуації людей в надзвичайних ситуаціях, до складу якого входить графічний інтерфейс користувача для створення моделей і модуль, що формує анімовані тривимірні результати. Pathfinder має можливість виконувати розрахунки часу евакуації та часу виникаючих скупчень людей на основі індивідуально-поточної моделі руху.

3.4 Приклад роботи програмного забезпечення для організації оптимального виходу людей з будівель при пожежі

Припустимо, що в магазині відбулася пожежа, число людей в магазині становило 800 чоловік, а в торговому залі було 600 осіб. Перш за все необхідно здійснювати виведення людей, які знаходяться в безпосередній близькості до пожежі. Згідно розглянутого алгоритму і роботи нейронної мережі був визначений маршрут евакуації людей, що показаний на рис. 3.5.

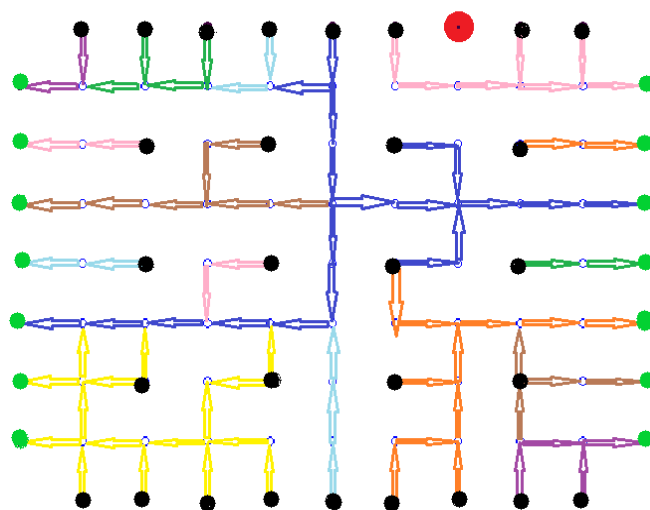


Рисунок 3.5 – Схема евакуації при виникненні пожежі з магазинів

На рис. 3.5 червоною крапкою вказане місце пожежі, чорними крапками вказані магазини і торгові точки, зеленими крапками вказані місця виходів для евакуації. Стрілки різних кольорів вказують на шляхи евакуації для кожного магазину та кожної торгової точки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглядається вирішення завдання побудови інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці на основі застосування системного підходу, моделювання та інтелектуального аналізу даних.

Згідно результатів, отриманих в кваліфікаційній роботі, можна зробити такі висновки:

1. Проведено аналіз системи протипожежної безпеки в Україні, який вказав на необхідність покращення протипожежного захисту об'єктів незалежно від форм власності та своєчасного реагування аварійно-рятувальними підрозділами на спрацьовування систем пожежної автоматики.

2. Розглянуто основні принципи побудови СЦПС, яку можна віднести до класу інформаційно-телекомунікаційних систем. При створенні даної системи дотримання принципу системності є основоположним, який дозволяє спостерігати СЦПС як єдине ціле і на цій основі виявляти між структурними елементами різні типи зв'язків, що забезпечує цілісність системи.

3. Обґрунтована необхідність створення інтелектуальної СЦПС, при цьому зроблено висновок, що економічно і функціонально доцільно будувати трирівневу систему, яка має верхній рівень (єдина база даних МНС), середній рівень (ГУ МНС в областях) та нижній рівень (пульти пожежного спостереження). Така трирівнева система може забезпечити своєчасну і гарантовану передачу оповіщення про пожежу, яке прийшло до АРМ оператора від пульта пожежного спостереження.

4. Розроблено функціональні структуру та схему інтелектуальної інформаційної системи пожежної безпеки, до складу яких входять відповідні програмні модулі і які є основою для розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при пожежній небезпеці, для якої були визначені: категорії приміщень щодо пожежної небезпеки, площі пожежі, сили і засоби для гасіння пожеж.

5. Для розв'язання задачі визначення сил та засобів для гасіння пожежі

використана нейронна мережа (НМ), для якої були визначені вхідні і вихідні змінні. Навчання НМ виконувалося з використанням алгоритму зворотного поширення помилки.

6. Для розв'язання задачі знаходження оптимального шляху виходу людей із приміщення застосована нейронна мережа Хопфілда, використання якої базується на функції Ляпунова, а для побудови найкоротшого шляху застосовано теорію графів.

7. Розглянуті програмні засоби для організації оптимального виходу людей з приміщень при пожежі, які враховують ті чи інші способи представлення внутрішнього середовища будинків, індивідуальний або груповий рух людей, психологічний стан поведінки людей та їх дії при пожежі, вибір різних маршрутів, вплив різних пожежних факторів тощо.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бугайцов С.Г., Шойко В. А. Удосконалення механізмів державного управління у сфері пожежної безпеки як складової національної безпеки. Публічне урядування, №2 (12), 2018, С. 82-95.
2. Сізіков О.О., Ніжник В.В., Балло Я.В., Голікова С.Ю., Савченко О.В. Систематизація процесу управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, № 2 (8), 2019. – С. 41-49.
3. Ніжник В.В., Сізіков О.О., Довгошеєва Н.М., Голікова С.Ю. Аналітичні дослідження щодо удосконалення системи запобігання пожежної безпеки об'єктів. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. № 1 (5), 2018. – С. 50-55.
4. Васильєв І.О., Тищенко В.О. Проблеми організації пожежно-профілактичної роботи підрозділами місцевої та добровільної пожежної охорони. Інвестиції: практика та досвід, № 24, 2020 – С. 118–122.
5. Говорун С.В. Державне управління у сфері пожежної безпеки Японії: досвід для України. Науковий вісник: Державне управління, 1(1(3)), 2020. – С. 29–52.
6. Chumachenko O. I., Kryvenko I. V. Neural networks module learning // Electronics and Control Systems, N 2(48) – Kyiv: NAU, 2016. – pp. 76–80.
7. Sineglazov V. M. Intellectual System of Optimal Evacuation Route Searching / V. Sineglazov, O. I. Chumachenko, I. V. Krivenko // XXIV International Conference on Automated Control “Automation 2017”. Kyiv, Ukraine, of Proceedings (September 13–15, 2017). – Kyiv. – 2017.
8. Гофман, Є.О. Метод структурно-параметричного синтезу нейро-фаззи мереж [Текст] / Є.О. Гофман, А.О. Олійник, С.О. Субботін // Сучасні інформаційні системи і технології: матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 15-18 травня 2012 р. / Ред. кол.: А.С. Довбиш, О.А. Борисенко, І.В. Баранова. – Суми: СумДУ, 2012. – С. 175–176.

9. Грекул В. И. Проектирование информационных систем / В. И. Грекул, Г. Н. Денищенко, Н. Л. Коровкина. – М.: Интернет-университет информационных технологий – intuit.ru, 2005. – 1245 с.
10. Чумаченко Е. И. Прогнозирование пожаров на основе использования нейросетей / Е. И. Чумаченко, А. Ю. Ледовский // *Електроніка та системи управління*. – К.: НАУ, 2011. – №2(28). – С.142–148.
11. Чумаченко О. І. Аналіз розподіленої інформаційної системи пожежного спостереження, як системи масового обслуговування/ О. І. Чумаченко, В. В. Цілицький, М. О. Білий // *Електроніка та системи управління*. – К.: НАУ, – 2011. – №3(29). – С.116–119.
12. Чумаченко О. І. Інформаційна система пожежного спостерігання. / О. І. Чумаченко, В. В. Цілицький, М. О. Білий // *X міжнародна науково технічна конференція «Авіа-2011» 15-21 квітня 2011*. – К.: – 2011. – С. 22.56–22.59.
13. Чумаченко О. І. Побудова інформаційної системи підвищеної надійності одного класу / О. І. Чумаченко, В. В. Цілицький, М. О. Білий // *Електроніка та системи управління*. – К.: НАУ, 2011. – №4(30). – С. 127–134.
14. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та обґрунтувати загальні вимоги пожежної безпеки до об'єктів різного призначення». – К.: УкрНДІЦЗ, 2017. – 565 с.
15. Ковалишин Б.М., Балло Я.В., Ніжник В.В., Стилик І.Г., Кагітін О.І. Перспективні напрями підвищення ефективності. Обмеження поширення пожежі по зовнішніх огорожувальних конструкціях. *Пожежна безпека*, № 44, 2024. – С. 20-29.
16. Балло Я. В. Створення експериментального випробувального стенду в рамках досліджень обмеження поширення пожежі по фасадам будівель. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. № 2 (13). С. 21–34.
17. Балло Я. В., Яковчук Р. С., Ніжник В. В., Кагітін О.І. Аналіз та систематизація типів фасадних систем будівель як передумова удосконалення протипожежних заходів. *Пожежна безпека*. ЛДУБЖД. №40, 2022, С. 5-15.
18. Nilsson M., Mossberg A., Husted B., Anderson J. Protection against external fire spread-Horizontal projections or spandrels. In 14th International Fire Science &

Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK, Vol. 2, 2016, pp. 1163-1174.

19. Rukavina, M. J., Carevic, M., & Pecur, I. B. (2017). Fire protection of facades. *The Guidelines for Designers, Architects, Engineers and Fire Experts*, 2017, pp.12-15.

20. Лапенко, О. І., Махінько, Н. О. Методи комп'ютерного моделювання в задачах аеродинаміки висотних споруд. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, (123), 2015. – С. 49-57.

21. Оношко І., Ніжник В., Чекрыгін О., Шналь Т. Аналіз досліджень визначення часу початку евакуації людей на пожежі. *Пожежна безпека*, Том 44, 2024. – С. 49-61.

22. Цимбалістий С., Тесленко О., Доценко О., Крикун О. Аналізування вимог нормативної бази України для обґрунтування необхідної чисельності інспекторського складу сфери пожежної (техногенної) безпеки. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, № 1(17), 2024. – С. 29-38.

23. Мартин О.М. Пожежна безпека як складник національної безпеки: концептуальні підходи до її визначення. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Випуск 15, частина 2 • 2017. – С. 10-13.

24. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*, 2023. – 250 с.