

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Федоряка Олег Іванович

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ
ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

261 – пожежна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ О.І. Федоряка

Науковий керівник

Кустов Максим Володимирович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Федоряка О.І. Метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – пожежна безпека – Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання у галузі пожежної безпеки – розробці методу сукупного розміщення на локальних територіях пожежних підрозділів з різним кількісним та якісним складом в інтересах підвищення рівня пожежної безпеки на таких територіях з різними соціальними та промисловими властивостями при облаштуванні нових пожежних підрозділів та при контролі відповідності вимогам безпеки районів, населених пунктів та об'єднаних територіальних громад, які вже мають обладнані пожежні підрозділи.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ В МЕЖАХ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ** проаналізовано нормативно-правову базу щодо розміщення пожежних підрозділів у містах та об'єднаних територіальних громадах в Україні та встановлено, що визначальними критеріями є щільність населення, радіус виїзду та нормативний час прибуття до місця пожежі. Аналіз існуючих методів оцінки

пожежних ризиків показав, що існує два підходи до оцінки пожежних ризиків: кількісний та якісний. Кожен підхід має свої переваги та недоліки. Проте, всі сучасні методи оцінки ризиків використовують два основні показники: ймовірність виникнення пожежі та ймовірність збитків, завданих пожежею.

Встановлено, що вже розроблено математичну базу для оптимізації розміщення геометричних об'єктів різної форми, які можуть бути використані як зони обслуговування пожежних станцій. Однак наявні моделі не враховують характеристики пожежної техніки, тобто відмінності у функціональних можливостях, що призводить до великих похибок при оптимізації розміщення пожежної техніки у містах та унеможливорює визначення кількості та якості пожежної техніки, необхідної для центрів цивільної безпеки в об'єднаних територіальних громадах. Визначено, що існуючі програмно-апаратні системи дозволяють розробляти мобільні ГІС-додатки, які можна буде використовувати в будь-якій точці регіону. Серед існуючих ГІС-платформ платформа ArcGIS має найбільш універсальний інструментарій та найширшу функціональність.

У **другому розділі РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ** запропоновано новий підхід до оцінки пожежної небезпеки локальних територій будь-якого розміру, зокрема окремих об'єктів. З використанням нейромережових технологій розроблено модель прогнозування, яка дозволяє оцінити пожежну небезпеку локальної території зі ступенем кореляції $r = 0,767$. Отримана нейронна мережа є самонавчальною і може покращувати результати оцінки при введенні нових статистичних даних. Представлено теоретичне обґрунтування запропонованого методу оцінки пожежної небезпеки на великих територіях. Використовуються геоінформаційні джерела, зокрема, Fire Information System for Resource Management, Awesome GEE Community Catalogue, Global Fire Atlas та дані супутника Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer в режимі реального часу. Отримано

нейромережеву модель, яка дозволяє співвіднести пожежний ризик регіону з його параметрами. Проведено тестування ефективності розробленого методу та здійснено ранжування рівня пожежного ризику регіону на основі прогнозуючої нейромережевої моделі із середньою кореляцією 0,97.

У **третьому розділі РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ** показано, що основним завданням оптимізації розміщення пожежних підрозділів у регіоні є створення умов, за яких рівень пожежного ризику в кожній точці регіону відповідав би протипожежним можливостям потенційного пожежного підрозділу, при цьому мінімізуючи фінансові витрати. Визначено, що основним способом забезпечення такої відповідності є диференційований підхід до функціонального забезпечення пожежного підрозділу, який враховує умови виїзду і пересування пожежного підрозділу та забезпечує умови для збільшення сил та засобів при гасінні великих пожеж. Сформульовано задачу територіального розміщення пожежних підрозділів з урахуванням їх функціональних можливостей, цільовою функцією якої є мінімізація кількості пожежних підрозділів при забезпеченні можливості їх прибуття в кількостях, здатних успішно ліквідувати пожежу на об'єкті. Мінімізовано кількість пожежних підрозділів, шляхом зменшення площі перекриття зон обслуговування підрозділів та порівняння рівня пожежного ризику об'єкта з функціональними можливостями всіх пожежних підрозділів, які можуть бути залучені до гасіння пожежі в нормативні терміни. Розроблено математичну модель щільності руху пожежних підрозділів на транспортних комунікаціях з різними характеристиками. Модель враховує швидкість руху транспортного засобу за технічними параметрами, пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі, стан дорожнього покриття та наявність сигналів регулювання. Перевірено, наскільки розроблена математична модель щільності руху пожежних бригад справедлива для транспортних потоків з різними характеристиками. Розрахунок середнього часу в дорозі показав, що

різниця між денною та нічною швидкістю руху є найбільшою в обласних центрах, досягаючи 40 %. У той же час, нічна швидкість руху в цих містах є найвищою і лише на 5-7% нижчою за максимальну, встановлену технічними характеристиками пожежних автомобілів.

У четвертому розділі МЕТОД СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ запропонована структура геоінформаційної системи для управління пожежними частинами, яка складається з восьми шарів. Наявність представлених композиційних шарів дозволяє збирати та аналізувати інформацію про характер ландшафту місцевості, її забудову, ступінь пожежної небезпеки, розгалуженість дорожньо-транспортної мережі та дорожню ситуацію, кількість та розміри пожеж, розташування пожежно-рятувальних підрозділів, кількість сил та засобів пожежно-рятувальних робіт на місцевості. Програмний комплекс управління пожежно-рятувальними підрозділами розроблено для автоматизації процесу визначення оптимальної дислокації пожежних підрозділів з різними функціональними можливостями та визначення найкоротшого маршруту до місця пожежі з урахуванням щільності руху на дорогах. Перевірено достовірність математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різного функціонального призначення. Достовірність розробленої моделі перевірено шляхом порівняння часу в дорозі двох пожежних підрозділів для конкретних потенційно небезпечних об'єктів з різними координатами розташування. Усі довільно вибрані варіанти розгортання пожежних підрозділів збільшують час прибуття до місця потенційної пожежі у 7-4 рази порівняно з оптимізованим варіантом. Перевірено працездатність розробленої математичної моделі та встановлено, що вона дозволяє скоротити час доїзду до 24 % при використанні для оптимізації розгортання трьох і більше пожежних підрозділів. Перевірено ефективність запропонованого методу регіонального розгортання пожежних підрозділів різної функціональної спроможності та встановлено, що метод може бути використаний для оптимізації покриття

територій з населенням понад 1 млн. осіб на 15 %, територій з населенням від 50 000 до 1 млн. осіб - на 7% та територій з населенням менше 50 000 осіб - на понад 15 %. Результати дослідження показують, що запропонований метод є ефективним. Ефективність запропонованого методу перевірено шляхом порівняння результатів обчислень з найближчим прототипом, випробуваним на практиці.

Розроблено алгоритм, який вирішує задачу оцінки доцільності дислокації існуючих пожежних підрозділів у міській забудові, що складається з 18 блоків, з'єднаних прямими зв'язками, та розгортання нових підрозділів для формування об'єднаних територіальних громад при одночасному їх розгортанні. Для використання запропонованого методу автоматизації роботи управління пожежною охороною розроблено алгоритм, що складається з 14 блоків, пов'язаних між собою прямими та зворотними зв'язками, зокрема двох логічних блоків управління.

Розроблені практичні рекомендації щодо методу територіального розміщення пожежних підрозділів з різними функціональними можливостями дозволять органам самоврядування України та підрозділам ДСНС вирішити існуючі проблеми при проектуванні розвитку міст та об'єднаних територіальних громад, а також при управлінні пожежними підрозділами під час масштабних пожеж.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. *Вперше* розроблено методику та на її основі отримано нейромережеві моделі оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території, які, на відмінну від інших, враховують як параметри забудови населеного пункту на щільнонаселеній території, так і просторовий розподіл щільності населення та забудови, транспортно-комунікаційну мережу, просторовий розподіл густини і виду рослинності та статистичні данні щодо ландшафтних пожеж для локальної території великого масштабу, та які дозволяють градувати об'єкти та локальні області території за рівнем пожежної

небезпеки у відповідності до кількості сил та засобів для ліквідації умовної пожежі на цій території.

2. *Удосконалено* математичну модель сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, яка враховує рівні пожежних ризиків об'єктів чи локальних територій, цільовою функцією якої є мінімізація кількості пожежних підрозділів, шляхом зниження площі перетину районів обслуговування підрозділів, та співставлення рівня пожежної небезпеки об'єктів із функціональною спроможністю всіх пожежних підрозділів, які можуть бути залучені для гасіння пожежі у нормований час із додатковими обмеженнями умови поетапного нарощування сил та засобів на гасіння пожежі, та яка дозволяє вирішувати задачі оптимального розміщення пожежних підрозділів у міській забудові, в районах місцевих територіальних громад та проводити перевірку якості вже розміщених підрозділів.

3. *Вперше* розроблено та програмно реалізовано метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який базується на розробленій математичній моделі сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, яка, на відміну від існуючих, дозволяє проводити розрахунок оптимального розміщення майбутніх підрозділів оперативних служб (пожежні, рятувальні, швидка допомога, поліція, центри допомоги громадян) при проектуванні забудови міст, розбудови районів та облаштування об'єднаних територіальних громад за умови врахування факторів небезпеки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці нових підходів до забезпечення належного рівня пожежної безпеки в містах та об'єднаних територіальних громадах. Запропонована методика ранжування ступеню пожежної небезпеки окремого об'єкту чи території та пожежного підрозділу з відповідним кількісним та якісним забезпеченням дозволяє робити їх порівняння та відповідний аналіз. За допомогою розроблених нейромережевих моделей обробки великого масиву факторів

пожежної безпеки як для окремого об'єкту, так і для великої території, існує можливість побудови мап безпеки різного масштабу.

Розроблена в дисертації оптимізаційна математична модель та методика на її основі дозволяє проводити перевірку відповідності вже розміщених підрозділів та оптимізувати місце для нових підрозділів у межах об'єднаних територіальних громад. За допомогою розробленого програмного комплексу Fire Emergency Department Direction можна автоматизувати роботу штабу з ліквідації масштабної надзвичайної ситуації при визначенні оперативних можливостей резервних підрозділів та планування задіяння додаткових сил та засобів.

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи доведено до рівня конкретних алгоритмів дій та прикладних рекомендацій. Отримані в дисертації результати можуть бути використані для оптимізації роботи чергових диспетчерів оперативних служб при визначенні конкретного підрозділу для обслуговування екстреного виклику та визначення оптимального маршруту його руху.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені в підрозділах Головного управління ДСНС України в Луганській області, у практичну діяльність Новопокровської селищної ради, а також в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

Ключові слова: рівень пожежної безпеки території, функціональна спроможність пожежних підрозділів, об'єднані територіальні громади, фактори пожежної безпеки, нейромережева модель, геометричне моделювання, зона обслуговування пожежного підрозділу, оптимізація територіального розміщення.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Кустов М.В., Тютюнник В.В., **Федоряка О.І.** Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. *Проблеми пожежної безпеки*. Харків: НУЦЗ України, 2020. Випуск 48. С. 83-93. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить аналіз статистики виникнення пожеж у житлових і промислових будинках та визначення визначальних факторів пожежної небезпеки таких об’єктів.

2. Кустов М.В., Соболев О.М., **Федоряка О.І.** Територіальне розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗ України, 2021. Випуск 33. С. 181-192. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить аналітичний огляд різних підходів до оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів, формалізація задачі моделювання територіального розміщення пожежних підрозділів з різними кількісними та якісними властивостями, визначення припущень, які використовуються у процесі моделювання.

3. Кустов М.В., Морщ Є.В., **Федоряка О.І.**, Сошинський О.І., Савченко О.В. Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗ України, 2021. Випуск 34. С. 122-133. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить розробка структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами, формулювання алгоритму роботи геоінформаційної системи та взаємодії з нею.

4. Kustov M., **Fedoryaka O.**, Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., Veretennikova Ju. Level of fire danger of the local territory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: PC Technology Center, 2023. Volume 2. Issue 10 (122). P. 31-38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653> (Включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, DOAJ, EBSCOhost, BASE, CAS Source Index, ROAD, MIAR, CrossRef).

Здобувачу особисто належить розробка прогностичної нейромережевої моделі для оцінки рівня пожежної безпеки локальної території, перевірка адекватності роботи запропонованої моделі та алгоритму оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території.

5. Кустов М.В., **Федоряка О.І.**, Корнієнко Р.В. Ефективність методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗ України, 2022. Випуск 36. С. 54-65. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить розробка методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності та перевірка його працездатності.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. «*World science: problems, prospects and innovations*». Toronto: Perfect Publishing, 2020. P. 781-790. (Форма участі – заочна інтернет-конференція).

Здобувачу особисто належить обґрунтування визначальних факторів рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст.

7. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості математичної моделі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали XIV Науково-технічної конференції НДІ мікрографії «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії». Харків: НДІ мікрографії, 2021. С. 42. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить порівняльний аналіз існуючих методів та математичних моделей для оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

8. Кустов М.В., **Федоряка О.І.**, Манжелей А.О. Управління пожежними підрозділами: геоінформаційний аспект. Збірник доповідей 147 Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) «Безпека людини у сучасних умовах». Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. 188-189. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить аналіз існуючих геоінформаційних систем управління аварійно-рятувальними підрозділами та розробка концепції геоінформаційної системи для оптимізації керування пожежними підрозділами на пожежі.

9. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Формулювання задачі розміщення пожежних підрозділів з різною кількістю сил та засобів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Problems of Emergency Situations*». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 125-126. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка визначального мінімізаційного рівняння з урахуванням припущень щодо мінімізації областей перетину та часу прямування на пожежу.

10. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Використання нейромережевих технологій у визначенні рівня небезпеки локальної території. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «*Проблеми та*

перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 422. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка та опис нейромережевої моделі визначення рівня пожежної небезпеки локальної території та запропоновано алгоритм для її самонавчання.

11. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Математична модель інтенсивності руху пожежних автомобілів по транспортним комунікаціям з різними характеристиками. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених *«Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»*. Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 468. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка моделі швидкості руху пожежних автомобілів транспортними шляхами з різним покриттям і різною інтенсивністю руху та перевірка працездатності цієї моделі.

12. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *«Problems of Emergency Situations»*. Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 114-115. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка пошарової структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами та інтеграція розроблених математичних моделей до неї.

13. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території з урахуванням нерівномірності факторів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»)*. Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 231-233. (Форма участі – інтернет-конференція).

Здобувачу особисто належить визначення основних відмінностей між оцінкою рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст і об'єднаних територіальних громад та розробка алгоритму оцінки визначальних факторів.

14. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Розроблено автоматизований програмний комплекс Fire Emergency Department Direction. Матеріали круглого столу *«Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням»*. Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 134-135. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка автоматизованого програмного комплексу для оптимізації роботи пожежних підрозділів та інтеграція розроблених моделей у програмний комплекс.

15. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю *«Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022. С. 177-178. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить перевірка працездатності розробленого програмного комплексу та порівняння теоретичних та практичних результатів.

16. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Автоматизована програма управління пожежними підрозділами. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених *«Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»*. Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 147. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка програмного алгоритму оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів.

17. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості програмної реалізації методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *«Problems of Emergency Situations»*. Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 297. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка інтерактивних інформаційних шарів для пожежі, потенційно-небезпечних об'єктів та пожежних підрозділів.

18. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Аналіз ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях різної щільності населення та промислово-технічного навантаження. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 161-163. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить перевірка ефективності розробленого методу розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

19. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Особливості математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях. *«Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням»*. Матеріали круглого столу. Харків: НУЦЗУ, 27 жовтня 2023. С. 166-167. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить обґрунтування порангового розбиття ступеня пожежної небезпеки об'єктів і територій та пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

20. Зуруєва К.О., **Федоряка О.І.**, Корнієнко Р.В. Програмний комплекс для управління екстреними службами. The IX International Scientific and Practical Conference *«Promising ways of information technology development»*, November 13-15, 2023, Bilbao, Spain. P. 368-371. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить інтеграція інтерактивних мап до автоматизованого програмного комплексу та додавання шару інтенсивності автотранспортного потоку по шляхах.

ABSTRACT

Fedoriaka O.I. Method of aggregate deployment of fire units of different functional capacities - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 261 - Fire Safety - National University of Civil Protection of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2024.

The dissertation is devoted to solving an important scientific and practical task in the field of fire safety - developing a method for the combined deployment of fire units with different quantitative and qualitative composition in local areas in order to increase the level of fire safety in such areas with different social and industrial properties when arranging new fire units and controlling compliance with the safety requirements of districts, settlements and amalgamated territorial communities that already have equipped fire units.

The **introduction** provides a general description of the thesis. The relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the work and the main tasks of the research are formulated, and the connection of the work with scientific programmes is shown. The data on the personal contribution of the applicant, work approbation and publications are presented.

The **first section**, ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO THE DISTRIBUTION OF FIREFIGHTERS WITHIN THE BOUNDARIES OF AN ADMINISTRATIVE TERRITORIAL UNIT, analyses the regulatory framework for the deployment of fire departments in cities and amalgamated territorial communities in Ukraine and establishes that the determining criteria are population density, travel radius and standard time of arrival at the fire scene. An analysis of existing methods of fire risk assessment has shown that there are two approaches to fire risk assessment: quantitative and qualitative. Each approach has its advantages and disadvantages. However, all modern risk assessment methods use two main indicators: the probability of a fire and the probability of damage caused by a fire.

It has been established that a mathematical framework has already been developed to optimise the placement of geometric objects of various shapes that can be used as service areas for fire stations. However, the existing models do not take into account the characteristics of fire equipment, i.e. differences in functionality, which leads to large errors in optimising the placement of fire equipment in cities and makes it impossible to determine the quantity and quality of fire equipment required for civil security centres in amalgamated territorial communities. It is determined that the existing software and hardware systems will allow the development of mobile GIS applications that can be used anywhere in the region. Among the existing GIS platforms, the ArcGIS platform has the most versatile tools and the widest functionality.

In the **second section**, DEVELOPMENT OF NEURONET MODELS FOR ASSESSING THE LOCAL TERRITORIAL FIRE HAZARD LEVEL, a new approach to assessing the fire hazard of local territories of any size, including individual objects, is proposed. Using neural network technologies, a forecasting model has been developed that allows estimating the fire hazard of a local area with a correlation degree of $r = 0.767$. The resulting neural network is self-learning and can improve the assessment results when new statistical data are introduced. The theoretical justification of the proposed method for assessing fire hazard in large areas is presented. Geoinformation sources such as Fire Information System for Resource Management, Awesome Gee Community Catalogue, Global Fire Atlas and real-time data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer satellite are used. A neural network model was obtained that allows correlating the fire risk of a region with its parameters. The effectiveness of the developed method was tested and the level of fire risk in the region was ranked on the basis of a predictive neural network model with an average correlation of 0.97.

In the **third section**, "Development of a Mathematical Model of the Cumulative Deployment of Fire Units of Different Functional Capacities", it is shown that the main task of optimising the deployment of fire units in the region

is to create conditions under which the level of fire risk in each point of the region would correspond to the firefighting capabilities of a potential fire unit, while minimising financial costs. It is determined that the main way to ensure such compliance is a differentiated approach to the functional support of a fire unit, which takes into account the conditions of departure and movement of the fire unit and provides conditions for increasing the forces and means for extinguishing large fires. The task of territorial deployment of fire units is formulated, taking into account their functional capabilities, the target function of which is to minimise the number of fire units while ensuring that they can arrive in quantities capable of successfully extinguishing a fire at an object. The number of fire units was minimised by reducing the overlapping area of the units' service areas and comparing the level of fire risk of the facility with the functional capabilities of all fire units that can be involved in extinguishing the fire within the standard timeframe. A mathematical model of the traffic density of fire units on transport communications with different characteristics has been developed. The model takes into account the speed of the vehicle according to technical parameters, the capacity of the street and road network, the condition of the road surface and the presence of traffic signals. The developed mathematical model of fire brigade traffic density is tested for traffic flows with different characteristics. The calculation of the average travel time showed that the difference between daytime and nighttime traffic speeds is greatest in regional centres, reaching 40%. At the same time, the nighttime speed in these cities is the highest and only 5-7% lower than the maximum speed set by the technical characteristics of fire trucks.

In the **fourth section**, METHOD OF AGGREGATE DEPLOYMENT OF FIRE UNITS OF DIFFERENT FUNCTIONAL CAPACITIES, the proposed structure of a geographic information system for fire station management consists of eight layers. The presence of the presented composite layers allows collecting and analysing information about the nature of the terrain, its buildings, the degree of fire hazard, the road network and traffic situation, the number and size of fires, the location of fire and rescue units, the number of fire and rescue forces and

means on the ground. The software system for managing fire and rescue units was developed to automate the process of determining the optimal deployment of fire units with different functionalities and determining the shortest route to the fire site, taking into account the traffic density on the roads. The reliability of the mathematical model of the spatial deployment of fire units of different functional purposes has been verified. The reliability of the developed model was verified by comparing the travel time of two fire units for specific potentially hazardous objects with different location coordinates. All randomly selected options for deploying fire units increase the time of arrival at the site of a potential fire by 7-4 times compared to the optimised option. The performance of the developed mathematical model has been tested and it has been found that it can reduce the travel time by up to 24% when used to optimise the deployment of three or more fire units. The effectiveness of the proposed method of regional deployment of fire departments of different functional capacities has been tested and it has been found that the method can be used to optimise the coverage of territories with a population of more than 1 million people by 15%, territories with a population of 50,000 to 1 million people by 7% and territories with a population of less than 50,000 people by more than 15%. The results of the study show that the proposed method is effective. The effectiveness of the proposed method is verified by comparing the results of calculations with the nearest prototype tested in practice.

An algorithm has been developed that solves the problem of assessing the feasibility of deploying existing fire units in urban development, consisting of 18 blocks connected by direct links, and deploying new units to form united territorial communities while simultaneously deploying them. To use the proposed method of automating the work of fire protection management, an algorithm consisting of 14 blocks interconnected by direct and feedback links, including two logical control units, has been developed.

The developed practical recommendations on the method of territorial deployment of fire units with different functionalities will allow Ukrainian self-

government bodies and SES units to solve existing problems in designing the development of cities and amalgamated territorial communities and in managing fire units during large-scale fires.

Scientific novelty of the results.

1. For the *first time, a* methodology has been developed and, on its basis, neural network models for assessing the level of fire hazard of a local area have been obtained, which, unlike others, take into account both the parameters of settlement development in a densely populated area and the spatial distribution of population and building density, transport and communication network, spatial distribution of vegetation density and type, and statistical data on landscape fires for a local area of a large scale, and which allow grading objects and local areas of the territory by the level of fire hazard.

2. A mathematical model of the aggregate deployment of fire units of different functional capacities, which takes into account the levels of fire risks of objects or local territories, has been *improved, the* objective function of which is to minimise the number of fire units by reducing the area of intersection of the service areas of the units and comparing the level of fire hazard of objects with the functional capacity of all fire units that can be involved in extinguishing a fire in a normal time with additional restrictions on the condition of a phased increase in forces t

3. For the *first time, a* method of aggregate deployment of fire units of different functional capacities has been developed and implemented in software, based on the developed mathematical model of aggregate deployment of fire units of different functional capacities, which, unlike the existing ones, allows calculating the optimal deployment of future operational service units (fire, rescue, ambulance, police, citizen assistance centres) in the design of urban development, development of districts and arrangement of amalgamated territorial units.

The practical significance of the obtained results lies in the development of new approaches to ensuring an adequate level of fire safety in cities and

amalgamated territorial communities. The proposed methodology for ranking the degree of fire hazard of an individual object or territory and a fire department with appropriate quantitative and qualitative support allows for their comparison and appropriate analysis. With the help of the developed neural network models for processing a large array of fire hazard factors, both for a single object and for a large territory, it is possible to build hazard maps of various scales

The optimisation mathematical model and methodology developed in this thesis allows to check the compliance of already deployed units and optimise the place for new units within the amalgamated territorial communities. The developed software package Fire Emergency Department Direction can be used to automate the work of the headquarters for the elimination of a large-scale emergency when determining the operational capabilities of reserve units and planning for the operation of additional forces and means.

The main scientific provisions and conclusions of the dissertation are brought to the level of specific action algorithms and applied recommendations. The results obtained in the thesis can be used to optimise the work of duty dispatchers of operational services when determining a specific unit to service an emergency call and determining the optimal route for them.

The main results of the dissertation research were implemented in the units of the Main Directorate of the SES of Ukraine in Luhansk Oblast, in the practical activities of the Novopokrovsky settlement council, as well as in the educational process of the National University of Civil Protection of Ukraine (Kharkiv).

Keywords: level of fire safety of the territory, functional capacity of fire units, amalgamated territorial communities, fire hazard factors, neural network model, geometric modelling, service area of the fire unit, optimisation of territorial placement.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Articles in Ukrainian professional journals included in international scientometric databases:

1. Kustov M.V., Tiutiunnyk V.V., **Fedoriaka O.I.** Otsinka rivnia pozhezhnoi nebezpeky lokalnoi terytorii. [Assessment of the level of fire hazard of the local territory]. Problemy pozhezhnoi bezpeky. - Problems of fire safety. Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2020. Issue 48. P. 83-93. [In Ukraine] (Included in the international scientometric databases Index Copernicus, Academic Research Index - ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

The applicant will personally analyse the statistics of fires in residential and industrial buildings and determine the determining factors of fire hazard in such facilities.

2. Kustov M.V., Sobol O.M., **Fedoriaka O.I.** Terytorialne rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti. [Territorial location of fire units of different functional capacities]. Problemy nadzvychainykh sytuatsii. - Problems of emergency situations. Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2021. Issue 33. P. 181-192. [In Ukraine] (Included in the international scientometric databases Index Copernicus, Academic Research Index - ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

The applicant will personally conduct an analytical review of various approaches to optimising the territorial location of fire departments, formalise the problem of modelling the territorial location of fire departments with different quantitative and qualitative properties, and determine the assumptions used in the modelling process.

3. Kustov M.V., Morshch E.V., Fedoriaka O.I., Soshynskiy O.I., Savchenko O.V. Heoinformatsiina systema upravlinnia pozhezhnymy pidrozdilamy. [Geoinformation system of fire brigade management]. Problemy nadzvychainykh sytuatsii. - Problems of emergency situations. Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2021. Issue 34. [In Ukraine] (Included in the international scientometric databases Index Copernicus, Academic Research Index - ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

The applicant will personally develop the structure of a geographic information system for managing fire departments and formulate an algorithm for the operation of the geographic information system and interaction with it.

4. Kustov M., **Fedoryaka O.**, Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., Veretennikova Ju. Level of fire danger of the local territory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kharkiv: PC Technology Centre, 2023. Volume 2. Issue 10 (122). P. 31-38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653> (Included in the international scientometric databases Scopus, DOAJ, EBSCOhost, BASE, CAS Source Index, ROAD, MIAR, CrossRef).

The applicant will personally develop a predictive neural network model for assessing the level of fire safety of a local area, verify the adequacy of the proposed model and algorithm for assessing the level of fire hazard of a local area.

5. Kustov M. V., **Fedoriaka O. I.**, Kornienko R. V. Efektyvnist metodu terytorialnoho rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti. [Efficiency of the method of territorial deployment of fire units of different functional capabilities]. Problemy nadzvychainykh sytuatsii. - Problems of emergency situations. Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2022. Issue 36. P. 54-65. [In Ukraine] (Included in the international scientometric databases Index Copernicus, Academic Research Index - ResearchBib, Ulrich's Periodicals Directory).

The applicant will personally develop a method for the territorial deployment of fire units of different functional capabilities and test its effectiveness.

Scientific papers that certify the approbation of the dissertation materials:

6. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Otsinka rivnia pozhezhnoi nebezpeky lokalnoi terytorii. [Assessment of the level of fire hazard of the local territory]. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. "World science: problems, prospects and innovations". Toronto: Perfect Publishing, 2020. P. 781-790. [In Ukraine] (Form of participation - correspondence Internet conference).

The applicant will personally have to substantiate the determining factors of the fire hazard level of densely populated cities.

7. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Osoblyvosti matematychnoi modeli terytorialnoho rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti. [Features of the mathematical model of the territorial location of fire units of different functional capabilities]. Materialy XIV Naukovo-tekhnichnoi konferentsii NDI mikrohrafiï «Suchasnyi stan ta problemni pytannia strakhovoho fondu dokumentatsii, perspektyvy rozvytku ta vzaiemodii» - Proceedings of the XIV Scientific and Technical Conference of the Research Institute of Micrography "Current state and problematic issues of the insurance fund of documentation, prospects for development and interaction". Kharkiv: Research Institute of Micrography, 2021. P. 42. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally carry out a comparative analysis of existing methods and mathematical models for optimising the territorial location of fire departments of different functional capabilities.

8. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.**, Manzheley A.O. Upravlinnia pozhezhnymy pidrozdilamy: heoinformatsiinyi aspekt. [Management of fire units: geoinformation aspect]. Zbirnyk dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovo-

metodychnoi konferentsii ta 147 Mizhnarodnoi naukovoii konferentsii Yevropeiskoi Asotsiatsii nauk z bezpeky (EAS) «Bezpeka liudyny u suchasnykh umovakh». - Collection of reports of the XIII International Scientific and Methodological Conference and 147th International Scientific Conference of the European Association of Security Sciences (EAS) "Human Security in Modern Conditions". Kharkiv: NTU "KHPI", 2021. P. 188-189. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally analyse existing geographic information systems for managing emergency rescue units and develop a geographic information system concept to optimise the management of fire units at a fire.

9. **Fedoriaka O.I.**, Kustov M.V. Formuliuвання zadachi rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv z riznoi kilkistiu syl ta zasobiv. [Formulation of the problem of deployment of fire units with different numbers of forces and means]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problems of Emergency Situations». - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations". Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2021. P. 125-126. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop the defining minimisation equation, taking into account the assumptions about minimising the areas of intersection and the time to reach the fire.

10. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Vykorystannia neiromerezhevykh tekhnolohii u vyznachenni rivnia nebezpeky lokalnoi terytorii. [The use of neural network technologies in determining the level of danger of the local territory]. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh «Problemy ta perspektyvy zabezpechennia tsyvilnoho zakhystu». - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Problems and Prospects of Civil Protection". Kharkiv: NUCP of Ukraine, 2021. P. 422. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant personally developed and described a neural network model for determining the level of fire hazard in a local area and proposed an algorithm for its self-learning.

11. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Matematychna model intensyvnosti rukhu pozhezhnykh avtomobiliv po transportnym komunikatsiiam z riznymi kharakterystykamy. [Mathematical model of the intensity of fire trucks traffic on transport communications with different characteristics]. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh «Problemy ta perspektyvy zabezpechennia tsyvilnoho zakhystu». - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Problems and Prospects of Civil Protection". Kharkiv: NUCP of Ukraine, 2022. P. 468. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop a model of the speed of fire trucks on transport routes with different surfaces and different traffic intensity and test the performance of these models.

12. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Osoblyvosti struktury heoinformatsiinoi systemy upravlinnia pozhezhnyimi pidrozdilamy riznoi funktsionalnoi spromozhnosti. [Features of the structure of the geographic information system for managing fire units of different functional capabilities]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problems of Emergency Situations». - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations". Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2022. P. 114-115. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop a layer-by-layer structure of a geographic information system for managing fire departments and integrate the developed mathematical models into it

13. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Osoblyvosti otsinky rivnia pozhezhnoi nebezpeky lokalnoi terytorii z urakhuvanniam nerivnomirnosti faktoriv. [Features of assessing the level of fire hazard of the local territory taking into account the unevenness of factors]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-

praktychnoi konferentsii «Problemy pozhezhnoi bezpeky 2022» - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Fire Safety Issues 2022". Kharkiv: NUCP of Ukraine, 2022. P. 231-233. [In Ukraine] (Form of participation - online conference).

The applicant will personally identify the main differences between the assessment of the fire hazard level of densely populated cities and amalgamated territorial communities and develop an algorithm for assessing the determining factors.

14. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Rozrobleno avtomatyzovanyi proqramnyi kompleks Fire Emergency Department Direction. [The development of an automated software system Fire Emergency Department Direction]. Materialy kruhloho stolu «Obiednannia teorii ta praktyky – zaporuka pidvyshchennia hotovnosti operatyvno-riatuvalnykh pidrozdiliv do vykonannia dii za pryznachenniam». - Materials of the round table "Combining theory and practice is a guarantee of increasing the readiness of operational and rescue units to perform their intended actions". Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2022. P. 134-135. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop an automated software system to optimise the work of fire departments and integrate the developed models into the software system.

15. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Heoinformatsiina systema upravlinnia pozhezhnymy pidrozdilamy. [Geoinformation system of fire brigades management]. Materialy KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Nadzvychni situatsii: bezpeka ta zakhyst». - Materials of the XII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation "Emergency Situations: Safety and Protection". Cherkasy: ChIPB named after the Heroes of Chernobyl of the National Center for Emergencies of Ukraine, 2022. P. 177-178. [In Ukraine] (Form of participation - online)

The applicant will personally test the performance of the developed software system and compare theoretical and practical results.

16. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Avtomatyzovana prohrama upravlinnia pozhezhnykh pidrozdilamy. [Automated programme for the management of fire units]. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh «Problemy ta perspektyvy zabezpechennia tsyvilnoho zakhystu». - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Problems and Prospects of Civil Protection". Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2023. P. 147. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop a software algorithm for optimising the territorial deployment of fire departments.

17. Kustov M.V., **Fedoriaka O.I.** Osoblyvosti prohramnoi realizatsii metodu terytorialnoho rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti. [Features of the software implementation of the method of territorial deployment of fire units of different functional capabilities]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problems of Emergency Situations». - Materials of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations". Kharkiv: NUCZ of Ukraine, 2023. P. 297. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant will personally develop interactive information layers for fire, potentially dangerous objects and fire departments.

18. **Fedoriaka O.I.**, Kustov M.V. Analiz efektyvnosti metodu terytorialnoho rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti na lokalnykh terytoriakh riznoi shchilnosti naseleennia ta promyslovo-tekhnichnoho navantazhennia. [Analysis of the effectiveness of the method of territorial deployment of fire units of different functional capabilities in local territories of different population density and industrial and technical load]. Nadzvychaini sytuatsii: bezpeka ta zakhyst: Materialy XIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu. - Emergency situations: safety and protection: Proceedings of the XIII All-Ukrainian

Scientific and Practical Conference with International Participation. Cherkasy: CHIPB named after the Heroes of Chernobyl of the National Center for Emergencies of Ukraine, 2023. P. 161-163. [In Ukraine] (Form of participation - online).

The applicant will personally test the effectiveness of the developed method of deploying fire units of different functional capabilities.

19. **Fedoriaka O.I.**, Kustov M.V. Osoblyvosti matematychnoi modeli prostorovoho rozmishchennia pozhezhnykh pidrozdiliv riznoi funktsionalnoi spromozhnosti na lokalnykh terytoriiakh. [Features of the mathematical model of the spatial location of fire units of different functional capabilities in local territories]. Obiednannia teorii ta praktyky – zaporuka pidvyshchennia hotovnosti operatyvno-riatuvalnykh pidrozdiliv do vykonannia dii za pryznachenniam. Materialy kruhloho stolu. - Combining theory and practice is the key to increasing the readiness of operational and rescue units to perform their intended actions. Materials of the round table. Kharkiv: National University of Civil Defence of Ukraine, 27 October 2023. P. 166- 167. [In Ukraine] (Form of participation - intramural).

The applicant personally has to justify the ranking of the degree of fire hazard of objects and territories and fire departments of different functional capabilities.

20. Zuruieva K.O., **Fedoriaka O.I.**, Kornienko R.V. Prohramnyi kompleks dlia upravlinnia ekstremy sluzhbamy. [Software complex for the management of emergency services]. The IX International Scientific and Practical Conference "Promising ways of information technology development", November 13-15, 2023, Bilbao, Spain. P. 368-371. [In Ukraine] (Form of participation - online).

The applicant will personally integrate interactive maps into the automated software system and add a layer of traffic intensity along the roads.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	33
ВСТУП	34
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ В МЕЖАХ АДМІНІСТРАТИВНО- ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ	43
1.1. Аналіз нормативної бази України щодо розміщення пожежних підрозділів в межах адміністративно-територіальної одиниці	43
1.1.1. Нормативні вимоги щодо розміщення пожежних підрозділах в щільнонаселених містах	43
1.1.2. Аналіз існуючих вимог щодо забезпечення належного рівня пожежної безпеки в межах об'єднаних територіальних громад	49
1.2. Аналіз методів оцінки пожежних ризиків локальної території різного розміру	54
1.2.1. Аналіз існуючих підходів щодо визначення ступеню ризику в розвинених країнах світу	54
1.2.2. Особливості оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту та локальної території	57
1.3. Існуючі методики оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів	65
1.3.1. Аналіз класу задач оптимізаційного геометричного покриття локальної території довільного розміру	65
1.3.2. Аналіз методів геометричного покриття локальної території районами обслуговування пожежних підрозділів	73
1.4. Аналіз функціональних можливостей існуючих геоінформаційних систем	78
Висновки до розділу 1	86

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ	88
2.1. Розробка методики оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту	88
2.1.1. Визначення характеристик об'єктів різного призначення, які впливають на рівень пожежної небезпеки будівель та споруд	88
2.1.2. Розробка нейромережевої моделі оцінки рівня пожежної небезпеки об'єкту	92
2.2. Розробка методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу	99
2.2.1. Теоретичне обґрунтування методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу	99
2.2.2. Перевірка працездатності методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу	105
Висновки до розділу 2	109
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ	111
3.1. Визначення значущих факторів при оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	111
3.1.1. Аналіз основних складових системи пожежної безпеки, на які впливає територіальне розміщення пожежних підрозділів	111
3.1.2. Визначення можливих шляхів оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів	115
3.2. Розробка моделі територіального розміщення пожежних підрозділів на основі методів геометричного покриття областей	121
3.2.1. Постановка задачі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	121

3.2.2. Метод вирішення задач територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	126
3.3. Оцінка впливу інтенсивності руху пожежних автомобілів на розміри зони обслуговування	134
3.3.1. Розробка математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями	134
3.3.2. Перевірка працездатності математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів	136
Висновки до розділу 3	139
РОЗДІЛ 4. МЕТОД СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ	141
4.1. Розробка програмного комплексу для практичної реалізації методу сукупного розміщення пожежних підрозділів	141
4.1.1. Розробка структури програмного комплексу для практичної реалізації методу сукупного розміщення пожежних підрозділів	141
4.1.2. Програмна реалізація методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	147
4.2. Перевірка достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів	151
4.3. Перевірка ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	154
4.4. Розробка алгоритму роботи методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	158
4.5. Розрахунок економічного ефекту при використанні методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	164
4.6. Розробка практичних рекомендацій щодо використання методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності	168

	32
Висновки до розділу 4	173
ВИСНОВКИ	175
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	177
ДОДАТОК А Список публікацій за темою дисертації	195
ДОДАТОК Б Лістинги програми Fire Emergency Department Direction	202
ДОДАТОК В Акти впровадження результатів досліджень	208

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕМД - екстрена медична допомога;
FEDDIR - Fire Emergency Department Direction;
GIS – Geo Information System;
MLP - Multilayered perceptron;
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer;
OGS - Open Geospatial Consortium;
АЦ – автоцистерна;
ВР – високий ризик;
ГІС – геоінформаційна система;
ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;
ЄДС ЦЗ – Єдина державна система цивільного захисту;
ЕР – екстремальний ризик;
КГП – керівник гасіння пожежі;
КМУ – Кабінет Міністрів України;
ЛТ – локальна територія;
НС – надзвичайні ситуації;
НР – низький ризик;
ОДС – оперативно-диспетчерська служба;
ПРП - пожежно-рятувальний підрозділ;
ПБ – пожежна безпека;
ПН – пожежна небезпека;
ПР – пожежний ризик;
СА – спеціалізовані автомобілі;
США – Сполучені Штати Америки.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Розвиток людства спричиняє наростання рівня загроз як техногенного [1, 2], так і природного характеру [3]. Найбільш інтенсивно відбуваються небезпечні події, пов'язані із локальними пожежами (ЛП) [4]. ЛП спричиняють загибель та травмування людей [5], призводять до знищення та пошкодження об'єктів промислової [6] та житлової сфери [7, 8]. Особливу небезпеку представляють ЛП в екосистемах [9]. В умовах сьогодення важливим питанням є оптимізація витрат на забезпечення пожежної безпеки як окремого регіону, так і держави в цілому. При цьому оптимізація знаходиться між двома факторами – матеріальні витрати, які прагнуть до мінімізації, та рівень пожежної безпеки, який прагне до максимуму, але не повинен бути нижчим за встановлені в державі норми.

У результаті багатолітньої розбудови міст і районів та реформування матеріально-технічної бази пожежно-рятувальні підрозділи мають різні функціональні можливості, тобто різну кількість техніки та їх тактико-технічні характеристики. Активна розбудова міст викликає необхідність постійно контролювати та корегувати рівень пожежної небезпеки локальних територій міста та окремих об'єктів. Додаткову потребу в оптимізації розміщення пожежних підрозділів та їх руху по району обслуговування викликає реформування територіальної структури держави та створення територіальних центрів допомоги. Перевищення часу прямування пожежних підрозділів до місця пожежі призводить до збільшення постраждалих та загиблих, надмірного зростання матеріальних збитків за рахунок швидкого розповсюдження пожежі, викиду в атмосферу небезпечних газів та надмірного викиду продуктів горіння [10]. Основними причинами перевищення нормованого часу прибуття пожежних підрозділів є перевищення нормованих відстаней до небезпечних об'єктів, некоректний вибір маршрутів прямування від пожежної частини до осередку пожежі та

невідповідність стану транспортної мережі [11]. Для пожежних підрозділів визначальними критеріями при розміщенні по локальній території є кількість населення в районі виїзду, наявність небезпечних об'єктів та максимально допустима відстань маршруту прямування [12]. При виборі місця для розміщення нової пожежно-рятувальної частини або оцінки правильності розміщення вже створених підрозділів необхідно враховувати кількість пожежонебезпечних об'єктів, їх ступінь небезпеки, територіальне розміщення, наявність та стан шляхів під'їзду до цих об'єктів [13].

Найбільш вагомими науковими результатами в даній галузі отриманими в роботах вітчизняних та закордонних вчених: Басманова О.С. [14], Комяк В.М. [15], Соболя О.М. [16], Долгополова П.В. [17], Dreyfus S.E. [18], Bortfeldt A.A. [19], Hammersley J.M. [20], Moser T.J. [21] та ін.

Існуючі у світі підходи до вирішення задач просторового розміщення пожежно-рятувальних підрозділів зводяться до геометричного розміщення багатокутників різних форм. Сукупне розміщення об'єктів пожежної небезпеки різного ступеню ризику та пожежних підрозділів різного функціонального призначення викликають значні труднощі в роботі штабу по гасінню пожежі. Ці труднощі пов'язані із оперативним вирішенням ряду транспортних задач щодо мінімізації часу прибуття спеціальної пожежної техніки до місця пожежі. На сучасному етапі активно розвиваються геоінформаційні системи, які дозволяють автоматизувати вирішення багатьох транспортних задач. Однак функціонал конкретної геоінформаційної системи визначається перш за все її структурою, яка потребує відповідного математичного апарату та може варіюватись у широкому діапазоні.

Таким чином, розробка методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у науковому відділі з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру

Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) відповідно до Розпорядження КМУ від 27 квітня 2011 року № 368-р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012–2016 роки» та «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням КМУ від 25 січня 2017 р. №61-р, у рамках науково-дослідної роботи «Розробка методу територіального розміщення пожежних підрозділів різного функціонального призначення» (№ ДР 0122U000006), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні науково-технічні задачі:

1. Проаналізувати існуючі підходи до розміщення пожежних підрозділів в межах адміністративно-територіальної одиниці.
2. Розробити нейромережеву модель оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території.
3. Розробити математичну модель сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.
4. Розробити метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, його програмну реалізацію та перевірку адекватності.

Об'єкт дослідження. Процес обслуговування локальної території пожежними підрозділами різної функціональної спроможності.

Предмет дослідження. Оптимізація розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених наукових завдань у дисертаційному дослідженні використовувалися методи математичного та

імітаційного моделювання, методи вирішення оптимізаційних задач, нейромережеві методи обробки даних, статистичні методи аналізу великого масиву даних, методи супутникового моніторингу, методи вирішення оптимізаційних задач за допомогою гілки рішень, геоінформаційні методи відображення інформації, методи математичної статистики були використані під час обробки даних моніторингу параметрів пожежної небезпеки локальної території.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі пожежної безпеки – розроблено метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різного кількісного та якісного складу на локальних територіях довільного масштабу, в якості яких можуть виступати як щільнонаселені міста, так і об'єднані територіальні громади з різними рівнями пожежної небезпеки.

При виконанні дисертації отримано нові наукові результати:

1. *Вперше* розроблено методику та на її основі отримано нейромережеві моделі оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території, які, на відмінну від інших, враховують як параметри забудови населеного пункту на щільнонаселеній території, так і просторовий розподіл щільності населення та забудови, транспортно-комунікаційну мережу, просторовий розподіл густини і виду рослинності та статистичні данні щодо ландшафтних пожеж для локальної території великого масштабу, та які дозволяють градувати об'єкти та локальні області території за рівнем пожежної небезпеки у відповідності до кількості сил та засобів для ліквідації умовної пожежі на цій території.

2. *Удосконалено* математичну модель сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, яка враховує рівні пожежних ризиків об'єктів чи локальних територій, цільовою функцією якої є мінімізація кількості пожежних підрозділів, шляхом зниження площі перетину районів обслуговування підрозділів, та співставлення рівня пожежної небезпеки об'єктів із функціональною спроможністю всіх

пожежних підрозділів, які можуть бути залучені для гасіння пожежі у нормований час із додатковими обмеженнями умови поетапного нарощування сил та засобів на гасіння пожежі, та яка дозволяє вирішувати задачі оптимального розміщення пожежних підрозділів у міській забудові, в районах місцевих територіальних громад та проводити перевірку якості вже розміщених підрозділів.

3. *Вперше* розроблено та програмно реалізовано метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який базується на розробленій математичній моделі сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, яка, на відміну від існуючих, дозволяє проводити розрахунок оптимального розміщення майбутніх підрозділів оперативних служб (пожежні, рятувальні, швидка допомога, поліція, центри допомоги громадян) при проектуванні забудови міст, розбудови районів та облаштування об'єднаних територіальних громад за умови врахування факторів небезпеки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці нових підходів до забезпечення належного рівня пожежної безпеки в містах та об'єднаних територіальних громадах. Запропонована методика ранжування ступеню пожежної небезпеки окремого об'єкту чи території та пожежного підрозділу з відповідним кількісним та якісним забезпеченням дозволяє робити їх порівняння та відповідний аналіз. За допомогою розроблених нейромережевих моделей обробки великого масиву факторів пожежної небезпеки як для окремого об'єкту, так і для великої території, існує можливість побудови мап небезпеки різного масштабу.

Розроблена в дисертації оптимізаційна математична модель та методика на її основі дозволяє проводити перевірку відповідності вже розміщених підрозділів та оптимізувати місце для нових підрозділів у межах об'єднаних територіальних громад. За допомогою розробленого програмного комплексу Fire Emergency Department Direction можна автоматизувати роботу штабу з ліквідації масштабної надзвичайної ситуації при визначенні

оперативних можливостей резервних підрозділів та планування задіяння додаткових сил та засобів.

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи доведено до рівня конкретних алгоритмів дій та прикладних рекомендацій. Отримані в дисертації результати можуть бути використані для оптимізації роботи чергових диспетчерів оперативних служб при визначенні конкретного підрозділу для обслуговування екстреного виклику та визначення оптимального маршруту його руху.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені в підрозділах Головного управління ДСНС України в Луганській області, у практичну діяльність Новопокровської селищної ради, а також в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто і наведені в роботах [22-41]. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належать: у роботі [22] - аналіз статистики виникнення пожеж в житлових та промислових будинках та визначення визначальних факторів пожежної небезпеки таких об'єктів; в роботі [23] - аналітичний огляд різних підходів до оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів, формалізація задачі моделювання територіального розміщення пожежних підрозділів з різними кількісними та якісними властивостями, визначення припущень, які використовуються в процесі моделювання; в роботі [24] - розробка структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами, та формулювання алгоритму роботи геоінформаційної системи та взаємодії з нею; в роботі [25] - розробка прогностичної нейромережевої моделі для оцінки рівня пожежної безпеки локальної території, перевірка адекватності роботи запропонованої моделі та алгоритму оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території; в роботі [26] - розробка методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної

спроможності та перевірка його працездатності; в роботі [27] - обґрунтування визначальних факторів рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст; в роботі [28] - порівняльний аналіз існуючих методів та математичних моделей для оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності; в роботі [29] - аналіз існуючих геоінформаційних систем управління аварійно-рятувальними підрозділами та розробка концепції геоінформаційної системи для оптимізації керування пожежними підрозділами на пожежі; [30] – розробка визначального мінімізаційного рівняння з урахуванням припущень щодо мінімізації областей перетину та часу прямування на пожежу; в роботі [31] - розробка та опис нейромережевої моделі визначення рівня пожежної небезпеки локальної території та запропоновано алгоритм для її самонавчання; в роботі [32] - розробка моделі швидкості руху пожежних автомобілів по транспортних шляхах з різним покриттям та різної інтенсивності руху та перевірка працездатності цих моделей; в роботі [33] -- розробка пошарової структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами та інтеграція розроблених математичних моделей до неї; в роботі [34] – визначення основних відмінностей між оцінкою рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст та об'єднаних територіальних громад та розробка алгоритму оцінки визначальних факторів; в роботі [35] - розробка автоматизованого програмного комплексу для оптимізації роботи пожежних підрозділів та інтеграція розроблених моделей у програмний комплекс; в роботі [36] – перевірка працездатності розробленого програмного комплексу та порівняння теоретичних та практичних результатів; в роботі [37] - розробка програмного алгоритму оптимізації територіального розміщення пожежними підрозділами; в роботі [38] – розробка інтерактивних інформаційних шарів для пожежі, потенційно-небезпечних об'єктів та пожежних підрозділів; в роботі [39] – перевірка ефективності розробленого методу розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності; в роботі [40] – обґрунтування порангового розбиття ступеня

пожежної небезпеки об'єктів та територій та пожежних підрозділів різної функціональної спроможності; в роботі [41] – інтеграція інтерактивних мап до автоматизованого програмного комплексу та додавання шару інтенсивності автотранспортного потоку по шляхам.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «World science: problems, prospects and innovations» (м. Торонто, Канада, 2021 р., форма участі – заочна); XIV Науково-технічній конференції НДІ мікрографії «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії» (м. Харків, Україна, 2021 р., форма участі – очна); 147-й Міжнародній науковій конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) «Безпека людини у сучасних умовах» (м. Харків, Україна, 2021 р., форма участі – очна); Міжнародних науково-практичних конференціях «Problems of Emergency Situations» (м. Харків, Україна, 2021, 2022 та 2023 рр., форма участі – очна); Міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, Україна, 2021 та 2022 рр., форма участі – очна); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022») (м. Харків, Україна, 2022 р., форма участі – очна); Круглих столах «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням» (м. Харків, Україна, 2022 та 2023 рр., форма участі – очна); XII та XIII Всеукраїнських науково-практичних конференціях з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, Україна, 2022 та 2023 рр., форма участі – заочна); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, Україна, 2023 р., форма участі – очна); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Promising ways of

information technology development» (м. Більбао, Іспанія, 2023 р., форма участі – заочна).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць: 5 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory, Root Indexing, Ulrich Web, Cite Facto (з них 1 стаття – у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus) та 15 тез доповідей на конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота загальним об’ємом 214 сторінок складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 142 найменувань і 3 додатків, містить 37 рисунків та 15 таблиць.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ В МЕЖАХ АДМІНІСТРАТИВНО- ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ

У даному розділі проаналізовано нормативно-правову базу України щодо розміщення пожежних підрозділів в містах та об'єднаних територіальних громадах. Визначено ключові критерії, які впливають на розміщення пожежних підрозділів. Проаналізовані норми щодо облаштування пожежних підрозділів пожежною технікою.

Проаналізовано існуючі методи оцінки пожежного ризику та встановлено переваги та недоліки найбільш розповсюджених методів. Проведено аналіз існуючих підходів щодо визначення ступеню ризику в розвинених країнах світу. Встановлено особливості оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту та локальної території.

Проаналізовано існуючі методики оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів. Проведено аналіз класу задач оптимізаційного геометричного покриття локальної території довільного розміру. Проаналізовано методи геометричного покриття локальної території районами обслуговування пожежних підрозділів. Визначено функціональні можливості існуючих геоінформаційних систем.

Матеріали розділу викладено в роботах автора [22, 23, 28, 29, 34].

1.1. Аналіз нормативної бази України щодо розміщення пожежних підрозділів в межах адміністративно-територіальної одиниці

1.1.1. Нормативні вимоги щодо розміщення пожежних підрозділах в щільнонаселених містах

Для успішного гасіння пожеж вирішальну роль відіграє час прибуття пожежних підрозділів до місця аварії. При проектуванні забудови міст та

районів за рахунок оптимізації розміщення пожежних підрозділів прагнуть досягнути не перевищення встановленого нормативного часу слідування пожежного підрозділу до всіх можливих об'єктів загоряння [42]. При цьому диференціювання об'єктів за ступенем пожежного ризику не проводиться. Існує декілька підходів для вирішення цієї задачі. Найпростішим варіантом є радіальний принцип [10], при якому район обслуговування представляє собою коло з центром у точці розміщення пожежного депо, а радіус відповідає відстані, яку пожежний автотранспорт здатен подолати за визначений час. Недоліком такого підходу є відсутність врахування транспортної мережі, характер якої суттєво впливає на час слідування. Визначення граничних меж обслуговування пожежно-рятувального підрозділу з урахуванням наявності та стану автомобільних доріг проведено в роботі [43]. Автори показали, що внаслідок врахування транспортних комунікацій район обслуговування пожежно-рятувальним підрозділом отримав вигляд багатокутника. Вершини багатокутника визначаються виходячи із швидкості руху пожежного автомобіля. При цьому середня швидкість руху залежить від багатьох факторів, як-то стан та розміри доріг, технічні характеристики автотранспорту тощо [44]. Однак, ці параметри мають суттєву відмінність для розвинених міст та селищної забудови, тому їх врахування дозволить підвищити точність розрахунку.

Відповідно до Постанови КМУ від 27 листопада 2013 р. № 874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)» [45] критеріями, за якими утворюються державні пожежно-рятувальні підрозділи (частини) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях, є:

1. Кількість жителів населеного пункту. Кількість та тип пожежних автомобілів визначаються згідно з вимогами державних будівельних норм з урахуванням кількості жителів у населеному пункті.

2. Радіус обслуговування одним державним пожежно-рятувальним підрозділом (частиною). Зазначається, що дорогами загального користування радіус обслуговування не повинен перевищувати 3 кілометри. Якщо в зоні виїзду підрозділу (частини) розміщуються промислові підприємства, радіус обслуговування залежно від категорії виробництва становить до 2 або 4 кілометрів.

3. Нормативи прибуття державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) до місця виклику. Час прибуття є основним критерієм, який застосовується для визначення місць розташування пожежних депо. Нормативи прибуття державних пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику не повинні перевищувати: на території міст - 10 хвилин; у населених пунктах за межами міста - 20 хвилин. З урахуванням метеорологічних умов, сезонних особливостей та стану доріг нормативи прибуття можуть бути перевищені, але не більше ніж на 5 хвилин.

Однак, окрім територіального принципу розміщення пожежних підрозділів, існує перелік суб'єктів господарювання, де утворюються державні пожежно-рятувальні підрозділи (частини) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

До таких об'єктів відносяться:

- суб'єкти господарювання, віднесені до категорій цивільного, зокрема: нафтогазової промисловості, яким належать об'єкти з переробки, добування газу та газового конденсату; хімічної, нафтохімічної промисловості, нафтопереробної, газопереробної, хіміко-фармацевтичної, лісохімічної, целюлозно-паперової промисловості; вибухо- і пожежонебезпечні об'єкти; об'єкти, на яких виробляються шини; об'єкти, на яких виготовляються вибухові матеріали і вироби на їх основі, виготовляються та утилізуються боєприпаси; металургійної промисловості, яким належать об'єкти

коксхімічного, агломераційного, вогнетривкого, доменного, сталеплавильного, прокатного, кисневого, феросплавного, ливарного, титаномагнієвого виробництва; машинобудування, яким належать об'єкти космічної галузі, літако- і суднобудування; енергетики, яким належать атомні та теплові електростанції; оборонно-промислового комплексу, яким належать об'єкти з виготовлення військової техніки, обладнання та озброєння;

- суб'єкти господарювання, що належать до сфери управління Державного агентства з управління зоною відчуження, у тому числі державне спеціалізоване підприємство «Чорнобильська АЕС»;

- управління адміністративними будинками Державного управління справами, якому належать адміністративні будинки;

- управління адміністративними будинками Управління справами Апарату Верховної Ради України, якому належать адміністративні будинки Верховної Ради України;

- управління адміністративними будинками Господарсько-фінансового департаменту Секретаріату Кабінету Міністрів України, якому належать Будинки Уряду та інші адміністративні будинки;

- міські комунальні підприємства електричного транспорту «Дніпропетровський метрополітен», «Київський метрополітен» і «Харківський метрополітен»;

- заклади культури, яким належать об'єкти, в яких зберігаються унікальні цінності державного значення (державні архіви, картинні галереї, музеї тощо);

- театри із загальною кількістю місць 800 і більше, що мають історичну або архітектурну цінність.

Однак, окрім вимог щодо обслуговування району виїзду пожежними підрозділами, існують Державні стандарти щодо їх дислокації, району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування пожежних частин, які зазначені в ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини.

Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування» [46].

Послідовність визначення місць дислокації пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП), їх районів виїзду, комплектування пожежними автомобілями, визначення типів пожежного депо та проектування пожежно-рятувальних частин для населених пунктів полягає в наступному:

- установлення необхідної кількості пожежно-рятувальних частин у населеному пункті, ураховуючи перспективні плани розвитку населених пунктів;

- визначення району виїзду кожного ПРП за критерієм радіуса обслуговування або часу прибуття;

- комплектування ПРП пожежними автомобілями визначають за кількістю населення, умовної площі забудови, умовної висоти будинків, пожежної та техногенної небезпеки, середньостатистичних даних про пожежі в населеному пункті;

- визначення типу пожежного депо залежно від комплектування ПРП пожежними автомобілями;

- проектування пожежно-рятувальної частини залежно від визначеного типу пожежного депо.

Кількість основних пожежних автомобілів для населеного пункту залежить від кількості населення, умовної площі забудови, середньостатистичних даних щодо кількості пожеж, даних щодо реагування на небезпечні події ПРП гарнізону (часу прибуття до місця виклику та гасіння пожеж).

Під час розрахунків основним пожежним автомобілем вважають автоцистерну (АЦ) середнього типу.

Мінімальну кількість пожежних автоцистерн для населеного пункту обчислюють за формулою:

$$N_{\text{АЦ}} = (F + 1)^{0,01} \cdot (\tau > 10 + 1)^{0,25} \cdot (\tau_{\text{Л}} > 30 + 1)^{0,25} \cdot Q^{0,08} \cdot A^{0,81} \cdot \tau_{\text{Л}}^{-0,7}, \quad (1.1)$$

де F — кількість пожеж за рік для окремого, визначеного населеного пункту, шт; $\tau > 10$ — середній час прибуття на пожежу більше, ніж за 10 хв для окремого, визначеного населеного пункту, хв; $\tau_{г} > 30$ — середній час гасіння пожежі більше, ніж за 30 хв, але менше ніж за 10 год для окремого, визначеного населеного пункту, хв; Q — кількість населення для окремого, визначеного населеного пункту, тис. чол.; A — умовна площа забудови, км^2 ; $\tau_{г}$ — середній час гасіння пожежі для окремого, визначеного населеного пункту, хв.

Якщо розрахункова мінімальна кількість автоцистерн менша за розрахункову кількість пожежно-рятувальних частин, кількість автоцистерн має бути збільшено до розрахункової кількості частин. Мінімальну кількість автоцистерн має бути збільшено з розрахунку дві одиниці основної пожежної техніки на кожну одну одночасну пожежу в населеному пункті. Кількість можливих одночасних пожеж у населених пунктах визначають за статистичними даними. Комплектація ПРП, у районі виїзду якого немає природних водоймищ та штучних джерел зовнішнього протипожежного водопостачання, або їх кількість та водовіддача недостатні для забезпечення розрахункової кількості води для гасіння пожеж, має передбачати пожежні автоцистерни важкого типу, об'ємом не менше ніж 8 м^3 . ПРП сільських населених пунктів рекомендовано укомплектовувати пожежними автоцистернами важкого типу на шасі підвищеної прохідності, з урахуванням типу та стану доріг.

Кожен ПРП має бути укомплектований спеціальною пожежною технікою для рятування людей з висоти. Висота підймання спеціальних пожежних автомобілів, якими має бути укомплектовано ПРП, залежить від умовної висоти будинків району виїзду. Якщо в районі виїзду розташовано будинки лише малоповерхової забудови (умовною висотою до 9 м), ПРП не комплектують спеціальною пожежною технікою для рятування з висоти. У цьому разі основну пожежну техніку має бути укомплектовано штатними

ручними засобами рятування людей з висоти. Якщо кількість будинків з умовною висотою до 15 м дорівнює чи перевищує 25 % від загальної кількості будинків району виїзду ПРП, підрозділ має бути укомплектовано спеціальною пожежною технікою, що має висоту підймання не менше ніж 18 м. Якщо кількість будинків з умовною висотою до 15 м менше ніж 25 % від загальної кількості будинків району виїзду ПРП, підрозділ не комплектується спеціальною пожежною технікою. У цьому разі основну пожежну техніку, крім штатних ручних засобів рятування людей з висоти, має бути укомплектовано додатковими пожежними пристроями для рятування людей з висоти до 15 м. Якщо кількість будинків з умовною висотою до 26,5 м дорівнює чи перевищує 15 % від загальної кількості будинків району виїзду ПРП, підрозділ має бути укомплектовано спеціальною пожежною технікою з висотою підймання не менше ніж 30 м [22].

Якщо кількість будинків з умовною висотою до 26,5 м менше ніж 15 % від загальної кількості будинків району виїзду ПРП, а загальна кількість будинків з умовною висотою до 15 м та 26,5 м, у свою чергу, дорівнює чи перевищує 15 %, але менше ніж 25 % від загальної кількості будинків району виїзду ПРП, підрозділ має бути укомплектовано спеціальною пожежною технікою з висотою підймання не менше ніж 18 м. У цьому разі основну пожежну техніку має бути укомплектовано додатковими пожежними рятувальними пристроями для рятування людей з висоти до 26,5 м.

1.1.2. Аналіз існуючих вимог щодо забезпечення належного рівня пожежної безпеки в межах об'єднаних територіальних громад

Оптимальним шляхом забезпечення належного рівня пожежної безпеки є відповідність усіх протипожежних заходів у межах локальної території рівню пожежної небезпеки цієї території. Для визначення необхідних та достатніх протипожежних заходів обов'язковою є оцінка рівня пожежної

небезпеки локальної території, в якості якої можуть виступати держава, область, район, місто тощо. Окрім великої кількості факторів, що впливають на пожежну безпеку регіону, оцінку суттєво ускладнює нерівномірність цих факторів по площі території.

З метою забезпечення належного рівня пожежної безпеки будь-якого регіону держави довільного масштабу необхідно виконання умов спроможності ліквідації пожежі в довільній точці (об'єкті) цього регіону. Однак рівень пожежної безпеки об'єктів залежить від багатьох параметрів та може змінюватись у широкому діапазоні [47]. Здатність системи цивільного захисту держави реагувати на пожежі різних масштабів визначається здатністю забезпечувати у визначений час достатню кількість сил та засобів для гасіння пожежі. Усі сили та засоби цивільного захисту, які застосовуються для гасіння пожеж, зосередженні в окремих аварійно-рятувальних підрозділах.

За статистикою, понад 40 % усіх пожеж відбуваються у сільській місцевості. Під час таких пожеж гинуть люди, отримують значні ушкодження оселі та майно громадян, а також культурна спадщина, а господарства зазнають чималих збитків. Найбільш гостро стоїть питання організації гасіння пожеж у місцевостях, де існує багато населених пунктів, до яких перший пожежно-рятувальний підрозділ може прибути тільки через значно триваліший час, ніж нормативні 20 хвилин.

Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 квітня 2014 № 333-р, відносить до основних повноважень органів місцевого самоврядування базового рівня (об'єднаних територіальних громад) забезпечення гасіння пожеж, що передбачає подальший розвиток наявних і утворення нових місцевих пожежно-рятувальних підрозділів, а також розвиток добровільного пожежного руху у всіх населених пунктах громади [48].

Закон України 157-13 від 5 лютого 2015 року «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [49] передбачає створення Центрів безпеки громадян.

Головною метою створення Центрів безпеки є забезпечення доступності публічних послуг, що надаються населенню територіальної громади, передусім забезпечення захисту населення і територій від пожеж та надзвичайних ситуацій, а також дотримання громадської безпеки.

Центр безпеки спрямований на задоволення потреб громади у комплексному забезпеченні безпеки — як у сфері цивільного захисту, так і у сфері громадського порядку. Такий центр є опорним і координаційним щодо інших місцевих пожежних команд громади, якщо вони у цій громаді є. Крім того, великим акцентом у діяльності Центру безпеки є профілактична та просвітницька діяльність, спрямована на попередження правопорушень і НС, а також на підготовку населення до кризових ситуацій.

Водночас у такому центрі слід вбачати і культурний осередок, адже задля успішності профілактичної діяльності він має привертати увагу і бути об'єктом, куди населення часто і з радістю приходить, тобто у нього формується свого роду звичка. З цією метою варто втілювати в Центрах безпеки нестандартні сучасні архітектурні рішення, які будуть якісно виділятися на фоні решти будівель у громаді, і передбачати територію для благоустрою та відпочинку громадян, а також майданчики для занять спортом і відпрацювання вправ пожежників або навіть поліціантів.

Центр безпеки громадян (далі - Центр безпеки) — це будівля, в якій під одним дахом можуть бути розміщені декілька служб, котрі виконують функції у сфері забезпечення безпеки життєдіяльності населення (місцева пожежна команда та/або комунальна аварійно-рятувальна служба, підрозділи служби екстреної медичної допомоги, приміщення для роботи дільничного офіцера поліції).

Основою функціональності Центру безпеки є місцева пожежна команда (комунальна аварійно-рятувальна служба) і диспетчерська служба територіальної громади.

Рішення щодо виділення в Центрі безпеки приміщень для працівників поліції або екстреної медичної допомоги слід приймати у разі браку в населеному пункті необхідної інфраструктури для їх розміщення і за погодженням із територіальними органами управління Національної поліції та охорони здоров'я [50].

Робота пожежно-рятувальних підрозділів у Центрах безпеки громадян засновується на добровільних засадах. Добровільне формування цивільного захисту є тимчасовим добровільним об'єднанням громадян, що утворюється під час загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій для виконання допоміжних робіт. До складу добровільних формувань цивільного захисту на добровільних засадах включаються громадяни України, які досягли 18-річного віку і здатні за своїми здібностями та станом здоров'я виконувати покладені на них обов'язки [51].

Права добровільних формувань та громадян, які виконують завдання у їх складі, а також обов'язки таких громадян визначаються відповідно до Кодексу цивільного захисту України [52].

Страхування здоров'я та життя членів (учасників) добровільних формувань цивільного захисту на період виконання ними допоміжних робіт здійснюється відповідно до законодавства [53]. Добровільне формування цивільного захисту очолює начальник, який призначається і звільняється керівником органу, що утворив таке формування. Начальник здійснює керівництво добровільним формуванням цивільного захисту та несе персональну відповідальність за виконання покладених на нього функцій.

Добровільні формування цивільного захисту на період виконання поставлених їм завдань на умовах повернення забезпечуються необхідним майном (приміщеннями, засобами зв'язку, автотранспортними засобами, оргтехнікою тощо) органом, що утворив таке формування. Надання

зазначеного майна, його зберігання та повернення здійснюється у порядку, визначеному органом, що утворив таке формування.

Порядок залучення добровільних формувань та обсяги допоміжних робіт для добровільних формувань цивільного захисту визначаються органом, що утворив таке формування, або керівником робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в разі підпорядкування йому добровільних формувань. Після утворення добровільних формувань цивільного захисту заклади освіти, що належать до сфери управління ДСНС, на безоплатній основі проводять короткострокові навчання та/або інструктажі членів (учасників) добровільних формувань цивільного захисту за програмами, затвердженими ДСНС [54].

Орган, що утворив добровільне формування цивільного захисту, може відповідно до законодавства заохочувати членів (учасників) такого формування шляхом оголошення подяки, видачі цінного подарунка або надання інших видів заохочення (у негрошовій формі). Діяльність добровільних формувань цивільного захисту після завершення виконання ними допоміжних робіт припиняється за рішенням органу, що утворив таке формування.

Таким чином, аналіз нормативно-правової бази України щодо розміщення пожежних підрозділів в містах та об'єднаних територіальних громадах показав, що визначальними критеріями є щільність населення, радіус виїзду та нормативний час прибуття на місце пожежі. При цьому, якщо у містах такий нормативний час становить 10 хвилин, то на територіях об'єднаних територіальних громад допускається до 20 хвилин. Норми щодо облаштування пожежних підрозділів пожежною технікою вказують на необхідність забезпечення кожного підрозділу автоцистернами та автодрабинами при наявності будівель із поверховістю більше 3 поверхів. Для умов об'єднаних територіальних громад повинні бути передбачені автомобілі підвищеної прохідності.

1.2. Аналіз методів оцінки пожежних ризиків локальної території різного розміру

1.2.1. Аналіз існуючих підходів щодо визначення ступеню ризику в розвинених країнах світу

У ДСТУ ISO 16732-1:2018 «Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику» запропонована методика розрахунку загального пожежного ризику як інтегруючий показник індивідуального, соціального та потенційного пожежних ризиків [55]. Кожен з цих ризиків залежить від повної характеристики об'єкту та умов його експлуатації. Однак ризик у ДСТУ ISO 16732-1:2018 визначається як вірогідність настання інциденту. Такий підхід не дозволяє співвіднести рівень пожежної небезпеки локальної території та необхідні заходи забезпечення пожежної безпеки.

Більш повний опис пожежного ризику надає міжнародний стандарт ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines», де ризик є інтегруючим показником оцінки джерел небезпеки, можливих наслідків та їх вірогідності. Але методики чисельної оцінки цих параметрів для локальної території довільного масштабу не існує, а розрахунок потребує великого масиву інженерних, соціальних та статистичних даних.

Для роботи з великим масивом факторів останнім часом добре себе зарекомендували нейромережеві технології [56, 57]. Так, у роботі [58] розроблено метод оцінки небезпеки регіонів України за допомогою штучних нейромереж. Але цей метод застосовується для роботи з територіями великої площі і не дозволяє вирішити питання оцінки пожежної небезпеки таких локальних територій, як місто, район, об'єкт.

Виходячи з цього, оптимальним шляхом забезпечення ПБ буде відповідність усіх протипожежних заходів у межах локальної території (ЛТ) рівню ПБ цієї території. Окрім великої кількості факторів, що впливають на ПБ регіону, її оцінку суттєво ускладнює нерівномірність розподілу таких

факторів по території. Виходячи з того, що для пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) час прибуття до місця виклику відіграє критично важливу роль, то їх кількість у межах населеного пункту та територіальне розміщення є дуже важливим. Перевищення часу прямування ПРП до місця ЛТ призводить до збільшення людських та матеріальних втрат, а також надмірного викиду продуктів горіння [59, 60]. Основними причинами перевищення нормованого часу прибуття ПРП є перевищення нормованих відстаней [10] до небезпечних об'єктів [61], некоректний вибір маршрутів прямування та невідповідність стану транспортної мережі [62]. Окрім великої кількості значущих параметрів, питання територіального розміщення ПРП ускладнюється постійною зміною таких параметрів. Тому питання кількості та розташування ПРП потребує постійного уточнення. Таким чином, недосконалість існуючих методів та підходів урахування значущих параметрів при територіальному розміщенні ПРП різної функціональної спроможності є актуальною проблемою. Аналіз стану пожежної безпеки (ПН) в різних країнах в цілому та в окремих регіонах проводиться в межах національних структур моніторингу стану техногенної та природної безпеки [63]. У щорічних звітах наводиться статистика ЛП за їх характером, кількістю загиблих, травмованих та матеріальних збитків. З використанням цих даних проводиться аналіз пожежних ризиків (ПР) окремих регіонів [64]. Однак, у такому випадку ПР визначаються шляхом відношення кількості ЛП на ЛТ за кількістю населення, кількістю загиблих, кількістю травмованих та матеріальних збитків, що не дає змоги оцінити ПР на територіях з низькою частотою пожеж. Окремим фактором є негативний вплив масштабних ЛП на екосистему повітря [65]. Перевагою даного методу є простота розрахунку та невелика кількість необхідних вхідних даних, які корелюють із щорічними статистичними даними. Існують достатньо точні методи прогнозу ПН, які засновані на обробці великої кількості статистичних даних [66]. Але разом з цим даний метод має суттєві недоліки – це неврахування ряду значущих факторів, повна залежність від статистичних даних та орієнтованість на територію великої

площі, для якої можливо зібрати такий масив даних. Для реалізації можливості оцінки рівня ПН на ЛТ довільного розміру передбачено розрахунок ПР як інтегруючого показника за рядом факторів небезпеки, яким надано певний ранг [67]. До критеріїв ПР відносяться: сфера функціонування об'єктів, їх площа та висота, кількість людей, що можуть одночасно знаходитись на об'єктах, наявність та масштаби ЛТ за останні роки. Але перелік цих критеріїв недостатній та не дозволяє в повній мірі оцінити рівень ПН об'єкту чи території. Тому, в ISO 16732-1:2018 запропонована методика розрахунку загального ПР як інтегруючий показник індивідуального, соціального та потенційного ПР. Проте, зазначена методика визначає ПР як вірогідність настання інциденту. Такий підхід не дозволяє співвіднести рівень ПН ЛТ та необхідні заходи забезпечення ПБ. При аналізі ПР на ЛТ великого масштабу набувають значущості додаткові небезпечні фактори, зокрема вид та густина рослинності, рельєф місцевості та наявність вододжерел [68]. Більш повний опис ПР надає міжнародний стандарт ISO 31000:2018, де ПР є інтегруючим показником оцінки джерел небезпеки, можливих наслідків та їх вірогідності. Але методики чисельної оцінки таких параметрів для ЛТ великого масштабу не існує, а розрахунок потребує значного масиву інженерних, соціальних та статистичних даних. На рівень ПР також впливає наявність та стан систем протипожежного захисту, зокрема системи раннього виявлення, оповіщення та автоматизованого гасіння ЛТ [69]. Проте, не створено загального підходу до оцінки ступеня впливу таких систем на рівень ПР як окремого об'єкту, так і ЛТ в цілому. При виборі місця для розміщення нового ПРП або оцінки правильності розміщення вже створених ПРП необхідно враховувати кількість пожежонебезпечних об'єктів, ступінь їх ПН, територіальне розміщення, наявність та стан шляхів під'їзду [70]. У найпростішому вигляді питання розміщення ПРП вирішено як задача розміщення кіл певного радіусу. При цьому визначальним параметром є час прибуття підрозділу до місця ЛП [71]. Граничний радіус кола визначається за умови, що цей час не повинен перевищувати встановлених значень з урахуванням швидкості руху

пожежного автомобіля. Однак у цій роботі не враховується стан транспортних комунікацій. Визначення граничних меж обслуговування ПРП з урахуванням наявності та стану автомобільних доріг проведено у [72], де район обслуговування ПРП має вигляд багатокутника. Однак не враховується різний рівень ПН об'єктів та різна функціональна спроможність ПРП. Автоматизацію процесу розміщення ПРП на мапі району або міста за допомогою програми GIS проведено у [73]. Запропонований алгоритм дозволяє інтерактивно використовувати цифрові мапи із додатковим нанесенням шарів з транспортною мережею та ПРП [74]. Однак при гасінні складних ЛП необхідне залучення декількох ПРП, що не дозволяють зробити результати у [74]. Оцінка рівня ПН району враховує багато параметрів та проводиться окремими методами для міста та лісу [75]. Проте, такі методи є досить абстрактними. Широкого використання набув метод просторового градування територій за ступенями ПР [76]. При цьому зазначений метод добре підходить тільки до ЛТ однакового пожежного навантаження, наприклад ліси, поля тощо. Урахування ПР в щільній різноплановій забудові потребує розгляду характеристик кожного окремого об'єкту.

1.2.2. Особливості оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту та локальної території

Аналіз стану рівня пожежної небезпеки в Україні в цілому та в окремих регіонах проводиться в межах Аналітичного огляду стану техногенної та природної безпеки [77]. У цих щорічних звітах наводиться загальна статистика виникнення пожеж за їх характером, кількістю загиблих, травмованих та матеріальних збитків. З використанням цих даних проводиться аналіз пожежних ризиків окремих регіонів згідно до методики [45]. Відповідно до цього методу визначається п'ять видів пожежних ризиків, шляхом відношення кількості пожеж на локальній території до

кількості населення на цій території, кількості загиблих, кількості травмованих та матеріальних збитків.

На цьому етапі важливо описати різні атрибути, пов'язані із виявленими ризиками. Існують різні інструменти та методи, які можуть бути використані у цьому процесі. Таблиця 1.1 є одним із компонентів низки інструментів, які можна використовувати для визначення пріоритетності та «оцінки» ризиків. Таблицю 1.1 можна використовувати для опису ймовірності настання конкретних ризиків.

Таблиця 1.1. - Якісні показники ймовірності ризику

Рівень	Опис	Характеристики
А	Майже впевнено	<ul style="list-style-type: none"> - очікується, що подія відбудеться; - високий рівень зареєстрованих інцидентів та/або дуже переконливі окремі свідчення; - висока ймовірність того, що подія повториться; - висока ймовірність, причина або засіб виникнення події;
В	Ймовірно	<ul style="list-style-type: none"> - подія, ймовірно, відбудеться; - регулярні зареєстровані інциденти та переконливі докази; - існує значна можливість, причина або засіб для виникнення події;
С	Можливо	<ul style="list-style-type: none"> - подія повинна відбутися у певний час; - кілька нечастих, випадкових зареєстрованих інцидентів або невелика кількість свідчень; - дуже мало інцидентів в асоційованих організаціях або на подібних об'єктах; - існує певна можливість, причина або засіб для виникнення події;

D	Малоймовірно	<ul style="list-style-type: none"> - подія може статися у певний час; - немає зафіксованих інцидентів або будь-яких анекдотичних свідчень; - немає нещодавніх інцидентів у пов'язаних організаціях або на об'єктах; - мало можливостей, причин або засобів для виникнення події;
E	Рідкісно	<ul style="list-style-type: none"> - подія може відбутися лише за виняткових обставин.

Вразливість - це схильність зазнати збитків або шкоди від певного типу інциденту чи події. Вона може варіюватися залежно від різних факторів, зокрема готовності і можливості пожежної служби та інших постачальників екстрених послуг. Здатність громади протистояти впливу та наслідкам різних небезпек необхідно визначити. Таблиця 1.2 використовується як якісний показник для опису наслідків або впливу певного ризику або події.

Таблиця 1.2. - Якісні показники наслідків або впливу ризику

Рівень	Опис	Характеристики
1	Несуттєві	<ul style="list-style-type: none"> - постраждалих і загиблих немає. Невелика кількість або відсутність переміщених осіб і лише на короткий термін. Невелика потреба в особистій підтримці або її відсутність (не фінансова чи матеріальна); - невелика шкода або відсутність шкоди. Незначний або нульовий збиток для громади; - відсутність вимірюваного впливу на навколишнє середовище; - незначні фінансові втрати або їх відсутність;

2	Незначні	<ul style="list-style-type: none"> - невелика кількість травм, але без смертельних наслідків. Потрібна незначна медична допомога. Деяке переміщення людей (менше ніж на 24 години). Потрібна особиста підтримка; - деяка шкода. Незначні перебої в роботі (менше 24 годин); - невеликий вплив на навколишнє середовище без довготривалих наслідків; - певні фінансові втрати;
3	Помірні	<ul style="list-style-type: none"> - потрібна медична допомога, але без летальних наслідків. Кілька госпіталізованих. Локалізоване локальне переміщення людей, які повертаються протягом 24 годин. Особиста підтримка забезпечена завдяки місцевим заходам; - локальні пошкодження, які усуваються за допомогою звичайних заходів. Нормальне функціонування громади діє з певними незручностями; - певний вплив на навколишнє середовище без довгострокових наслідків або незначний вплив на навколишнє середовище з довгостроковими наслідками; - значні фінансові втрати;
4	Великі	<ul style="list-style-type: none"> - значні поранення, значна госпіталізація, велика кількість переміщених осіб (понад 24 години); Летальні випадки. Зовнішні ресурси необхідні для особистої підтримки; - значні пошкодження, які потребують зовнішніх ресурсів. Громада функціонує лише частково,

		деякі послуги недоступні; - певний вплив на навколишнє середовище з довгостроковими наслідками; - значні фінансові втрати - необхідна фінансова допомога;
5	Катастрофічні	- велика кількість важких травм, що потребують госпіталізації. Значна кількість загиблих. Загальне переміщення на тривалий час. Значна особиста підтримка; - значні руйнування. Громада не може функціонувати без значної підтримки; - значний вплив на навколишнє середовище та/або постійна шкода; - величезні фінансові втрати - неспроможність функціонувати без значної підтримки.

Використовуючи результати попередніх двох інструментів (Таблиці 1.1 і 1.2), можна визначити рівень ризику за допомогою матриці в Таблиці 1.3.

Поєднавши ці три інструменти та присвоївши кожному з ризиків певну кількість балів, можна проводити визначення пріоритетів, які потребують найбільшої уваги для розробки стратегій і тактик пом'якшення наслідків [34].

Таблиця 1.3. - Матриця якісного аналізу ризиків: Рівень ризику

Ймовірність	Наслідки				
	Несуттєві 1	Незначні 2	Помірні 3	Великі 4	Катастрофічні 5
А (Майже впевнено)	ВР	ВР	ЕР	ЕР	ЕР
В (Ймовірно)	ПР	ВР	ВР	ЕР	ЕР
С (Можливо)	НР	ПР	ВР	ЕР	ЕР

D (Малоймовірно)	НР	НР	ПР	ВР	ЕР
E (Рідкісно)	НР	НР	ПР	ВР	ВР
Категорії ризиків					
Екстремальний ризик (ЕР)	Необхідні детальні дослідження та планування управління на вищому рівні. Необхідно вжити заходів для зменшення наслідків або ймовірності.				
Високий ризик (ВР)	Потрібна увага керівника або вищого керівництва, можуть знадобитися додаткові дослідження. Необхідно вжити певних заходів.				
Помірний ризик (ПР)	Відповідальність керівництва повинна бути визначена, необхідний конкретний моніторинг або процедури реагування.				
Низький ризик (НР)	Управління за допомогою стандартних процедур.				

Перевагою даного методу є простота розрахунку та невелика кількість необхідних вхідних даних, які корелюють із щорічними статистичними доповідями ДСНС. Але, разом з цим, даний метод має суттєві недоліки – це нехтування рядом значущих факторів, повна залежність від статистичних даних без визначення вірогіднісних показників та орієнтованість даної методики на територію великої площі, для якої можливо зібрати значний масив статистичних даних.

З метою реалізації можливості оцінки рівня пожежної небезпеки на локальній території довільного розміру у [78] передбачено розрахунок пожежного ризику як інтегруючого показника за рядом факторів небезпеки, яким надано певний ранг. До критеріїв, які визначають пожежний ризик, відносяться: сфера функціонування об'єктів, їх площа та висота, кількість людей, що можуть одночасно знаходитись на об'єкті, наявність та масштаби

пожеж за останні роки тощо. Але перелік цих критеріїв дуже незначний та не дозволяє повною мірою оцінити рівень небезпеки об'єкта чи території.

При оптимізації розміщення пожежних підрозділів виникають два значущих фактори – це рівень пожежної безпеки окремого об'єкту та локальної території в цілому, а також функціональні спроможності кожного окремого пожежного підрозділу. На теперішній час широкого використання набув метод просторового градування локальної території за ступенями пожежного ризику [79]. Такий підхід добре себе зарекомендував для опису території з рівномірно розподіленим пожежним навантаженням. Проте, якщо розглядати міську забудову, то виникає проблема сукупного розміщення об'єктів різного ступеня пожежної небезпеки. Питання об'єктового градування рівня пожежної небезпеки вирішено в роботі [22]. Однак, авторами не враховано питання обслуговування пожежними підрозділами цих об'єктів.

На здатність пожежно-рятувальних підрозділів до ефективного виконання покладених задач також впливає їх територіальне розміщення. Однак внаслідок постійної розбудови нових житлових та промислових районів з часом кількість та рівень небезпеки пожежонебезпечних об'єктів в районі виїзду підрозділу змінюється. При створенні нових аварійно-рятувальних підрозділів та постійній розбудові регіонів держави виникає необхідність у проведенні оцінки здатності рятувальних підрозділів до забезпечення належного рівня пожежної безпеки у своєму районі виїзду. Крім цього, проведення такої оцінки дозволить оптимізувати матеріально-технічне оснащення нових та вже створених підрозділів пожежогасіння.

При цьому керівник гасіння пожежі вирішує, яку техніку і з якого підрозділу необхідно залучати до гасіння пожежі. Для прийняття правильного управлінського рішення аналізуються такі фактори, як наявність необхідної техніки у підрозділах, відстань від визначеного підрозділу до місця пожежі та стан шляхів транспортної комунікації. Якщо в сільській місцевості з низько розвиненою транспортною мережею та

низькою кількістю пожежних підрозділів вирішення цього питання можливо здійснити без залучення систем автоматизованого розрахунку, то ліквідація потужних пожеж у крупних містах потребує значної аналітичної роботи. Побудова геоінформаційних систем цільового призначення дозволить спростити роботу керівника гасіння пожежі та прискорити прийняття управлінського рішення, що комплексно впливає на ефективність гасіння пожежі.

Таким чином, з аналізу існуючих методів оцінки пожежного ризику можна виділити два підходи: кількісний та якісний. Кожен з підходів має свої переваги та недоліки. Кількісний метод розрахунку рівня пожежного ризику має за перевагу оперування конкретними розмірними параметрами та характеристиками об'єкту або території, які підлягають аналізу. Але це має і свої недоліки, оскільки на рівень ризику впливає велика кількість показників, які важко виміряти та отримати точні данні, особливо в умовах надзвичайних ситуацій. Відповідно доводиться користуватися певними припущеннями, що знижує точність оцінки. Однак, усі сучасні методи оцінки ризику оперують двома основними показниками: це вірогідність виникнення пожежі та можливі збитки від такої пожежі.

1.3. Існуючі методики оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів

1.3.1. Аналіз класу задач оптимізаційного геометричного покриття локальної території довільного розміру

Процес проектування і створення будь-якого матеріального об'єкта містить у собі роботу, під час якої відбуваються оброблення геометричної інформації, різні перетворення і синтез нових просторових форм. При цьому синтез нових просторових форм на основі вихідної геометричної інформації здійснюється відповідно до конкретних вимог, що впливають із поставленого завдання. Розв'язання подібних завдань без використання

комп'ютерів і відповідних математичних пристроїв зазвичай неефективне. Це пов'язано з нескінченним розмаїттям просторових форм, складністю складу об'єктів проектування, що беруть участь у синтезі, і об'єктів, що синтезуються. Крім того, взаємодія матеріальних об'єктів, що беруть участь у синтезі нового матеріального об'єкта, безпосередньо залежить від його геометрії.

У процесі розв'язання задачі необхідно враховувати безліч різних обмежень, зумовлених особливостями проєктованого матеріального об'єкта. Ця та багато інших ситуацій роблять завдання перетворення геометричної інформації дуже складним для людини.

Автоматизація проєктування, використання комп'ютерів і математичних методів можливі тільки за умови формалізації завдання. Для цього необхідно спочатку формалізувати поняття геометричної інформації. Це пов'язано з тим, що у процесі інженерного проєктування геометрична інформація іноді має різні значення. Оскільки геометрична інформація нерозривно пов'язана з об'єктом проєктування, для формалізації цього поняття необхідно побудувати відповідну модель матеріального об'єкта.

Звернемося до поняття геометричної інформації для будь-якого φ – об'єкта. Об'єкт певної форми із заданими метрологічними властивостями та певним положенням у відповідному просторі R^1 . У цьому випадку цей об'єкт володіє такою геометричною інформацією [80]: $\{s\}$ - набір просторових форм; $\{m\}$ та $\{s\}$ - визначає «розмір» набору точок з формою з метричними властивостями; $\{u\}$ - параметри, що визначають положення набору точок у відповідному просторі.

Геометрична інформація може бути виражена в такій формі:

$$g = (\{s\}, \{m\}, \{u\}). \quad (1.2)$$

Зауважимо, що множина множин істотно визначається простором, у якому ці множини розглядаються.

Будь-яка геометрична інформація g у просторі є точковою множиною (або множина множин точок), що визначається числовими значеннями $\{m\}$ і числовими значеннями елементів $\{u\}$ і точковою множиною (або множиною точкових множин), що визначається геометрією $\{s\}$. Цієї інформації достатньо для опису геометричної структури, яка слугує математичною моделлю для будь-якого матеріального об'єкта.

Будь-яка робота з геометричного проектування пов'язана з перетворенням геометричної інформації. Рвачов В.Л., Стоян Ю.В., Козлов А.В., Глушкова А.Г. [81, 82] і Яковлєва С.В. [80] виділяють чотири класи задач геометричного проектування:

- завдання оптимального розміщення геометричних об'єктів;
- завдання оптимального розбиття геометричних об'єктів;
- проблема побудови оптимальних шляхів і мереж з'єднань;
- проблема оптимального покриття геометричних об'єктів.

Проблема розміщення - це проблема знаходження екстремальних значень заданого критерію оптимального розміщення об'єктів у певній ділянці з урахуванням таких умов, як неперетин, приналежність до певної ділянки тощо.

Оптимізацією геометричного проектування займалися і займаються такі вчені: М.І. Гіль, І.В. Гребеник, О.М. Кисельова, В.М. Комяк, О.В. Панкратов, Є.Г. Петров, В.П. Путятін, В.Л. Рвачов, Т.Е. Романова, О.М. Соболев, Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлєв та їхні учні у [83].

Завдання оптимального геометричного компоновання також розглядається в роботі професора С.В. Яковлєва [84]. Еквівалентна постановка вихідної задачі формулюється на основі штучного розширення розмірності простору, при цьому фізичні та метрологічні параметри виступають як незалежні змінні. Приклад побудови рівноважної моделі задачі пакування кола в коло мінімального радіуса розглянуто у [85], де

запропоновано задачу оптимального розміщення кола в колі мінімального радіуса. У роботі представлено новий погляд на формалізацію проблеми розміщення нерівних кіл у колі як задачі математичного програмування. Акцент на комбінаторній структурі задачі за допомогою додаткових змінних дає змогу сформулювати додаткову систему обмежень, що описує набір перестановок радіусів кіл. Це дає змогу подолати області тяжіння локальних екстремумів задачі за рахунок використання змінних радіусів. Тому метод змінних радіусів слід розглядати насамперед як метод поліпшення локального розв'язання задачі [28].

Проблемою розміщення неорієнтованих плоских геометричних об'єктів з кусково-нелінійними границями займалися такі вчені, як В.М. Комяк і О.М. Соболев [86, 87].

Яремчук С.І. та Шаповалова Ю.О. [88] розглядають задачу оптимізації розміщення об'єктів, які можуть бути розкладені на прямокутники. Під час розміщення враховується взаємний неперетин об'єктів і умова, що вони не виходять за межі заданої опуклої області. Розроблено та реалізовано алгоритм розв'язання цієї задачі з використанням методу модифікованих напрямків. У задачі оптимізації розміщення прямокутних об'єктів на опуклій області [89] множина здійснених рішень задачі розбивається на опуклі підмножини. Для пошуку розв'язку цієї задачі запропоновано використовувати метод гілок і границь.

У роботі Новожилової М.В. [90] запропоновано точний і наближений метод та реалізацію алгоритму для розв'язання оптимізаційної задачі розміщення прямокутних геометричних об'єктів зі змінними метричними властивостями. Виділено додаткові властивості області допустимих розв'язків задачі розміщення прямокутних об'єктів зі змінними метричними властивостями у вихідній постановці. Розглянуто точні та наближені підходи до розв'язування даного класу задач розміщення та реалізовано в алгоритмах і програмах. Результати цього дослідження є основою для розв'язання низки

важливих прикладних задач управління обмеженими ресурсами проекту та врахування додаткових обмежень.

У роботі [91] розглянуто задачу комбінаторної оптимізації, її багатовимірну версію і практичне розширення задачі балансування навантаження. Формально описується проблема з використанням моделей лінійного програмування змішаного типу з простого випадку, коли необхідно оптимально збалансувати набір елементів, які вже призначені для єдиного бункера, до загальної проблеми збалансованого пакування. Представлено багаторівневу евристику локального пошуку. Алгоритм використовує представлення Fekete – Schepers можливих упаковок у термінах окремих класів інтервальних графів та ітераційно покращує вирівнювання навантаження з використанням різних рівнів пошуку. Перший рівень досліджує простір транзитивних орієнтацій графів комплементу, пов'язаних із упаковкою, другий модифікує саму структуру інтервальних графів, третій обмінюється елементами між бункерами, перепакуюючи власні n -кортежі слабо збалансованих бункерів. Задачі упаковки David Pisinger висвітлено у наукових працях [92, 93].

У цьому ж напрямі працювали вчені Andrea Lodi, Silvano Martello, Michele Monaci, Daniele Vigo, Andreas Bortfeldt, Mitsutoshi Kenmochi, Takashi Imamichia, Koji Nonobeb, Mutsunori Yagiurac, Hiroshi Nagamochia, Yaodong Cui, Yuli Yang, Xian Cheng, Peihua Song, Engar Den Boef, Jan Korst. Результати їх досліджень висвітлено в роботах [94-100].

У науковій праці [101] Соболь О.М. пропонує спосіб нерегулярного розбиття незв'язної множини багатокутниками зі змінними метричними характеристиками. Для цього було сформульовано постановку задачі оптимального розбиття незв'язної множини, побудовано дерево рішень для перебору можливих варіантів розбиття заданої множини, наведено правила відтинання безперспективних гілок дерева.

Задачі побудови оптимальних шляхів і з'єднувальних мереж як в Україні, так і за її межами, досить популярні. У цій галузі розглядається

велика кількість прикладних задач, наприклад, задачі вибору маршрутів пересування транспортного потоку, побудови оптимальних з'єднувальних трас, маршрутів евакуації з будівель, оптимального пересування по графу доріг з точки А в точку В тощо. Наукові праці в цій галузі належать таким науковцям, як Комяк В.М., Соболев О.М., Комяк В.В., Лаврухін О.В., Долгополов П.В., Доценко Ю.В., Dreyfus S.E., Beardwood J., Halton J.H., Hammersley J.M., Moser T.J., Ahuja R.K., Opsahl T., Agneessens F., Skvoretz J., Kröger M. тощо.

У своїй дисертаційній роботі на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Комяк В.В. [102] побудував математичні моделі та методи розв'язання тривимірних дискретних задач розбиття і трасування. Побудовано математичну модель задачі розбиття і трасування у просторі. Також побудовано математичну модель та запропоновано метод розбиття області на об'єкти взаємно-ортогональними прямими при заданому співвідношенні їх площин. Адаптовано модель та метод оптимальної прокладки мережі трас у плоскій області, який забезпечує досяжність кожної з підобластей. Запропонований метод трасування враховує метричні характеристики трас.

У науковій статті [103] запропоновано математичну модель оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції на основі математичного апарату теорії розкладів в умовах паралельно-послідовного з'єднання пристроїв обслуговування. Реалізація даної моделі дозволяє визначити оптимальний розклад слідування поїздів із мінімальними затримками при кожному їх неузгодженому підведенні до залізничного вузла.

Класичною роботою в цьому напрямі є дослідження науковця Dreyfus S.E. [18], який розглядає п'ять задач визначення найкоротшого шляху:

- (1) – визначення найкоротшого шляху між двома заданими вузлами мережі;
- (2) – визначення найкоротших шляхів між усіма парами вузлів мережі;

- (3) – визначення другого, третього і наступного найкоротшого шляху;
- (4) – визначення найшвидшого шляху через мережу з часом руху залежно від часу відправлення;
- (5) – знаходження найкоротшого шляху між заданими кінцевими точками, що проходить через задані проміжні вузли.

Існуючі найкращі алгоритми ідентифікуються, а деякі інші модифікуються для отримання ефективних процедур.

Необхідно також відзначити наукову роботу Beardwood J., Halton J.H., Hammersley J M. [20], які довели, що довжина найкоротшого замкнутого шляху через n точок в обмеженій площині області V є «майже завжди» асимптотично пропорційною для великого n ; і розширили цей результат до обмежених множин Лебега в k -мірному евклідовому просторі. Константи пропорційності залежать тільки від розмірності простору і не залежать від форми області. Наведено числові обмеження для цих констант для різних значень k . Результати мають відношення до задачі комівояжера, проблеми вуличної мережі Штайнера та проблеми розводки Лобермана – Вайнбергера. Вони мають можливі узагальнення в напрямку проблеми Плато і проблеми Дугласа.

Moser T.J. стверджував [21], що для пошуку найкоротшого шляху від одного міста до іншого, тобто для пошуку мінімуму витрат часу на подорожі, можна знайти сейсмічні траєкторії, шляхом розрахунку найкоротших шляхів подорожі через мережу, що представляє землю. Найкоротший шлях подорожі від однієї точки до іншої є наближенням до сейсмічного променя між ними за принципом Ферма. Метод найкоротшого шляху є ефективним і гнучким способом для обчислення траєкторій і шляхів першого прибуття до всіх точок землі одночасно. Не існує обмежень класичної теорії променів: дифракційні траєкторії і шляхи до тінювих зон знайдені правильно.

Відомим методом пошуку найкоротшого шляху є метод Дейкстри. У роботі [21] досліджено ефективність реалізації алгоритму найкоротшого шляху Дейкстри. Для використання в цьому алгоритмі запропоновано нову

структуру даних, яка має назву «конус» коріння. У мережі з n - вершинами, m - ребрами та невід’ємними цілочисельними витратами дуги, обмеженими C , однорівнева форма radix дає часовий зв’язок для алгоритму Дейкстри:

$$O(m + n \cdot \log C) \quad (m + n \log C). \quad (1.3)$$

У більш сучасному дослідженні було наведено алгоритм, який повертає найкоротший шлях і пов’язане з ним число обплутувань для заданої конфігурації полімерної системи у 2 або 3 вимірах. Рубінштейном і Гельфандом, а пізніше Everaers та іншими запроваджено концепцію вилучення примітивних шляхів для щільних полімерних розплавів, виготовлених із лінійних ланцюгів (багаторазовий роз’єднаний багатоканальний шлях), де кожен примітивний шлях визначається як шлях, що з’єднує кінці полімеру під обмеженням – інтернепроникнення (виключений об’єм) між примітивними шляхами різних ланцюгів так, що багаторазовий роз’єднаний шлях виконує критерій мінімізації.

Розглядаючи застосування оптимального покриття геометричних об’єктів до практичних завдань у галузі пожежної безпеки та цивільної безпеки, можна виділити два дослідження.

1. Дисертація А.Г. Коссе [104], в якій місто Харків було вкрито колом нормованого радіуса (рисунок 1.1).

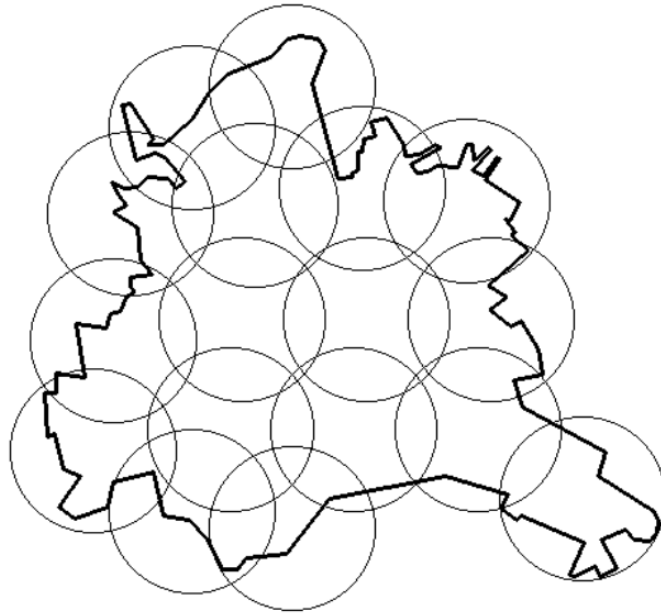


Рис. 1.1. Площа пожежно-рятувальних підрозділів, що повністю покриває місто Харків

У результаті, на відміну від поточної ситуації, кількість пожежних частин може бути скорочена на 11, що забезпечить повне покриття міста.

2. У кандидатській дисертації Собини В.О. [105] розв'язано задачу раціонального покриття залізничних об'єктів (діляниць) зонами діяльності воєнізованої охорони та пожежно-рятувальних частин (рисунок 1.2). У цьому випадку найвіддаленіша точка ділянки залізниці, що обслуговується пожежним поїздом, визначається перетином кола відповідного радіусу (який є змінним) з відповідною ділянкою залізниці. Зона дії пожежно-рятувальної служби являє собою невіпуклий багатокутник зі змінними метричними характеристиками.

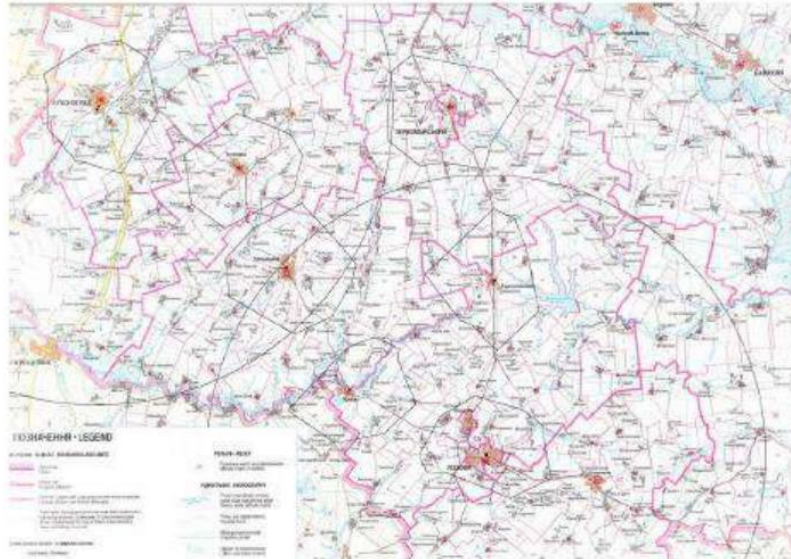


Рис. 1.2. Розумне покриття об'єктів (ділянок) залізниці зонами дії воєнізованої охорони та пожежно-рятувальної служби

Аналіз наявних моделей і методів оптимального покриття геометричних об'єктів показує, що вони можуть урахувати обмеження, які визначають форму та розмір об'єктів, що покриваються, вимагати, щоб елементи заданої області належали до перехресних областей потрібної кількості об'єктів, що покриваються, та не знайдено такого обмеження, що могло б урахувати обмеження знизу та зверху стосовно кількості об'єктів, що охоплюються [23]. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення моделей і методів покриття заданої області з урахуванням спеціальних типів обмежень.

1.3.2. Аналіз методів геометричного покриття локальної території районами обслуговування пожежних підрозділів

У найпростішому вигляді задача розміщення пожежно-рятувальних підрозділів вирішена як задача розміщення кіл певного радіусу [10]. При цьому в якості визначаючого параметру обрано час прибуття підрозділу до місця пожежі. Граничний радіус кола визначається за умови, що цей час не повинен перевищувати встановлених значень з урахуванням швидкості руху

пожежного автомобіля. Однак в цій роботі не враховується стан транспортних комунікацій. Визначення граничних меж обслуговування пожежно-рятувального підрозділу з урахуванням наявності та стану автомобільних доріг проведено в роботах [42, 43]. Внаслідок врахування транспортних комунікацій в цих роботах район обслуговування пожежно-рятувальним підрозділом має вигляд багатокутника. Задачі просторового розміщення багатокутників вирішено в роботах [72, 91]. Однак в цих роботах не враховується різний рівень пожежної небезпеки об'єктів та різна функціональна спроможність пожежних підрозділів. Автоматизація процесу розміщення пожежно-рятувальних частин на мапі району або міста за допомогою програми GIS проведена в роботі [106]. Запропонований алгоритм дозволяє інтерактивно використовувати цифрові мапи з додатковим нанесенням шарів з транспортною мережею та об'єктами протипожежного захисту [107]. Однак при гасінні потужних пожеж на деяких об'єктах необхідне залучення багатьох пожежно-рятувальних підрозділів з декількох частин. Оцінка рівня пожежної небезпеки району враховує багато параметрів та проводиться окремими методами для міста [108] та для лісу [109]. На теперішній час широкого використання набув метод просторового градування територій за ступенями пожежного ризику [110]. Проте такий підхід добре підходить тільки до локальних територій однакового пожежного навантаження, наприклад ліси, поля та інше. Проте, врахування пожежних ризиків в щільній різноплановій забудові потребує розглядання характеристик кожного окремого об'єкту [23]. З урахуванням цього у роботі [22] розроблено підхід до оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту. Цей підхід базується на співвідношенні масштабів можливої пожежі з необхідною кількістю сил та засобів для її ліквідації. Однак методу розміщення пожежно-рятувальних підрозділів різної функціональної спроможності для гасіння пожеж різної складності не створено.

Для мінімізації кількості постраждалих та матеріальних збитків при організації аварійно-рятувальних робіт намагаються мінімізувати час

прямування пожежно-рятувальних підрозділів до місця пожежі [12]. Мінімізація часу прямування до місця пожежі досягається вибором оптимального маршруту слідування та оптимальним розміщенням пожежно-рятувальних частин в межах локальної території [111]. При цьому від технічних характеристик пожежно-рятувальних автомобілів час прямування залежить не суттєво, що пов'язано із внутрішніми обмеженнями загальнотранспортного трафіку руху [112]. Однак, в роботі не розглядаються питання прохідності дорогами із поганим покриттям та рух великогабаритних автомобілів вузькими дорогами.

Задачі оптимального розміщення пожежних підрозділів відноситься до задач оптимального геометричного покриття, тоді як задачі оптимізації маршрутів руху пожежних підрозділів відносяться до транспортно-логістичних задач. Задачі транспортної логістики при оптимізації маршруту руху здатні враховувати всі можливі маршрути руху до пункту призначення, стан цих маршрутів, щільність трафіку в певний момент часу та інше [113]. Однак, при цьому не враховуються особливості режиму руху спеціального транспорту із спеціальними сигналами.

При вирішенні задач оптимального розміщення пожежно-рятувальних підрозділів використовують метод щільного розміщення кіл із радіусом, що відповідає максимально допустимій довжині маршруту виїзду [114]. Однак, такий метод призводить до суттєвих похибок, оскільки скривленість транспортної мережі може змінювати реальну дистанцію руху на 50–120 %. При врахуванні скривленості маршрутів форма нормованого району виїзду набуває форми багатокутника [115]. Відповідно задача зводиться до геометричного розміщення багатокутників різних форм. Однак, в цих роботах не враховується стан пожежного ризику об'єктів, що знаходяться в межах району виїзду. Оцінка пожежного ризику проводиться в роботах [10]. Однак, запропоновані в цих роботах методи визначення пожежного ризику не дозволяють співставити отримані результати із можливостями забезпечення пожежної безпеки наявними підрозділами. Тому, в роботі [22]

було запропоновано ранжування пожежних ризиків за допомогою отриманої нейромережевої моделі. Відповідне ранжування кожного об'єкту дозволяє оцінити відповідність наявних сил та засобів для успішного гасіння можливої пожежі із залученням декількох пожежних підрозділів. Вирішення задач просторового розміщення пожежно-рятувальних підрозділів із умовою перекриття їх районів виїзду для забезпечення можливості нарощування сил та засобів розглядається в роботі [12]. Однак, в роботі не вирішено питання поступового нарощування сил у часі та варіативність функціональної спроможності різних пожежно-рятувальних підрозділів. У роботі [23] запропоновано метод територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності із врахуванням пожежних ризиків об'єктів. Однак, відсутність перевірки ефективності цього методу та достовірності моделей, на яких базується цей метод, не дозволяє ефективно використовувати його у практичній діяльності.

Окрім оптимізації місця розміщення пожежних підрозділів скоротити час прямування пожежних підрозділів до місця пожежі можна за рахунок оптимізації шляху руху пожежних автомобілів. Особливо це актуально для щільної міської забудови з розвиненою транспортною мережею та різним режимом руху автотранспорту шляхами. На сьогодні задачі оптимізації руху автотранспорту по існуючій мережі автодоріг вирішуються шляхом використання геоінформаційних систем (GIS) [116]. Вони поділяються на GIS загального призначення, які зазвичай використовують для побудови маршруту із пункту відправлення до пункту призначення, та GIS спеціального призначення, які направлені на вирішення вузькопрофільних задач [72]. Однак, особливості їх використання для вирішення задач цивільного захисту не розглянуто. При побудові потужних GIS спеціального призначення існує декілька різних технологічних схем побудови, які мають свої переваги та недоліки, критичні для вирішення тієї чи іншої задачі [73]. Однак, із-за існування широкого спектру різних структур будови GIS та формату обміну і зберігання даних, користувачі та розробники стикаються с

проблемою інтегрування різних GIS. Для стандартизації та сертифікації протоколів зберігання та обмінну інформації в середовищі GIS у 1994 році створено міжнародну організацію Open Geospatial Consortium (OGS). Ця організація створила та запровадила три основних стандарти, яких дотримуються всі розробники сучасних платформ GIS [117]. При цьому не визначено перспективи використання цих стандартів в Україні. На даний час почалось активне використання технологій GIS для вирішення питань пожежної безпеки. Так, в роботі [106] до мапи району обслуговування пожежного підрозділу інтегровано мапу ступеню пожежної небезпеки локальної території. Моніторинг роботи пожежних підрозділів дозволяє проводити програмний комплекс «ГІС попередження надзвичайних ситуацій обласного рівня», розроблений в Україні [118]. Однак, для підвищення ефективності роботи керівного органу при управлінні великою кількістю пожежних підрозділів різного функціонального призначення необхідне комплексне врахування додаткових факторів.

Таким чином, проведений аналіз існуючих моделей та методів оптимального покриття геометричних об'єктів показав, що вже розроблена математична база оптимізації розміщення геометричних об'єктів різної форми, в якості яких можуть виступати райони обслуговування пожежних підрозділів. Також розроблені методи вирішення таких задач геометричного моделювання. Однак, існуючі моделі не дозволяють враховувати варіативність властивостей пожежних підрозділів, а саме їх функціональну спроможність, що призводить до суттєвих похибок при оптимізації розміщення пожежних підрозділів в містах та неможливості визначення необхідної кількості та якості пожежної техніки для Центрів безпеки громадян в об'єднаних територіальних громадах.

1.4. Аналіз функціональних можливостей існуючих геоінформаційних систем

Першим фактором, що визначає функціональні можливості геоінформаційної системи є її технологічна схема. Якщо GIS побудовано за схемою поєднання в єдину програмну систему декількох різних програм, що запускаються на комп'ютері, така система використовує внутрішній формат для зберігання даних. Перевагами такого підходу є висока швидкість дії і різні унікальні функціональні можливості, оскільки власний формат даних дозволяє реалізовувати унікальні алгоритми і методики обробки і зберігання даних, особливо при вирішенні спеціалізованих завдань. Досить прості у використанні та адмініструванні, вони мають і достатньо суттєві недоліки – це неможливість або складність обміну інформації з іншими користувачами та складність інтеграції нових додаткових додатків та алгоритмів.

Інша технологічна схема заснована на використанні клієнт-серверу. Цей підхід в якості переваг має високі функціональні можливості за рахунок компіляції функцій декількох додатків та можливість зберігання даних на глобальному сервері, що спрощує обмін інформації. Однак використання клієнт-сервера тягне і ряд недоліків, основними з яких є можливість роботи тільки при наявності мережевих зв'язків та складність обміну інформації між другими клієнт-серверами.

Третя технологічна схема заснована на використанні систем керування базами даних, в останній час це будується на основі розповсюджених SQL серверів (Microsoft SQL Server, Oracle, MySQL, PostgreSQL та ін.). При цьому розробник та користувач отримує потужні інструменти для роботи, які дозволяють виконувати багато різнопланових функцій та обробляти великі об'єми інформації. Однак, такому підходу притаманні стандартні слабкі сторони, пов'язані із проблемою обміну даних різного формату.

Найбільш сучасною на сьогодні є технологічна схема побудови GIS з використанням стандартизованих спеціальних розширень для SQL серверів,

які використовують майже всі провідні розробники. Це дає змогу поєднати переваги можливості використання потужного програмного інструментарію та спрощує обмін даними між різними програмами та базами даних.

Поряд із діяльністю OGC, що займається розробкою відкритих стандартів в області зберігання та обміну геопросторової інформації, останнім часом в області ГІС систем усе помітніша роль спільнот з розробки вільного розповсюдження програмних систем з відкритим вихідним кодом (OpenSource). Для підтримки цих проектів створена некомерційна неурядова організація Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). З найбільш значущих розробок можна відзначити:

- сховище просторових даних PostGIS на основі OpenSource сервера даних PostgreSQL. Дане рішення підтримує велику кількість стандартів, розроблених OGC;

- бібліотека GDAL, яка забезпечує можливість роботи з безліччю форматів просторових даних, що включають понад 50 растрових і більше 20 векторних форматів, зокрема і комерційних систем (ArcGIS, Mapinfo, Autodesk), і сховищ просторових даних;

- бібліотека Proj 4, що забезпечує проекційні перетворення і перетворення систем координат для більшості використовуваних видів картографічних проекцій і систем координат.

Кожен програмний комплекс GIS будується з використанням тих чи інших технологічних схем та стандартів обробки даних, деякі намагаються компілювати декілька підходів. Нижче проаналізовані основні програмні продукти GIS.

Найпоширенішою програмою з організації руху транспорту є Google Maps. Це найпростіший комплекс доданків, створених на базі безкоштовного сервісу картографії від Google. Програма дозволяє будувати маршрути руху, відстежувати трафік руху на маршруті, визначати орієнтовний час прямування до визначеного місця (рис. 1.3).

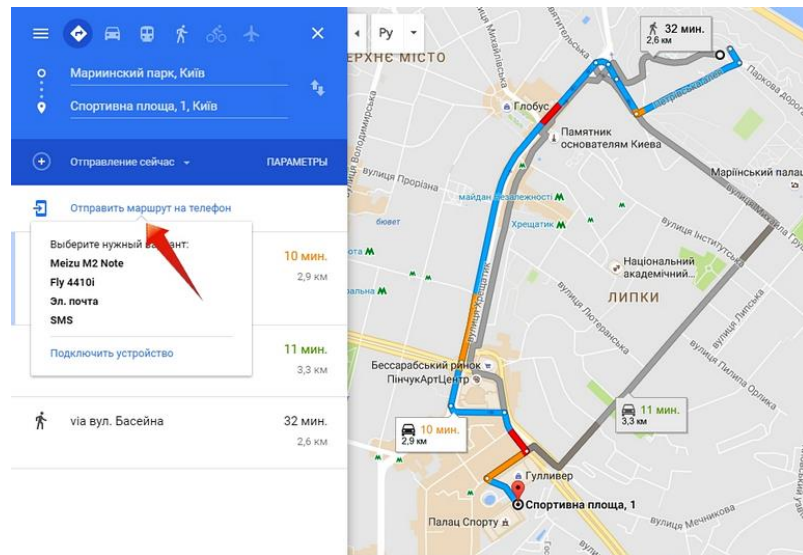


Рис. 1.3. Інтерфейс програмного комплексу Google Map

Перевагами Google Maps є простота у використанні, можливість функціонування в офф-лайн режимі, наявність режиму користувача, що дозволяє вносити свої помітки та уточнення, можливість обміну даних з іншими користувачами у форматах KML/KMZ. Корисним доданком є інтегрування дорожніх позначок до загальної карти. Однак програмний комплекс Google Maps відноситься до програм загального користування та не дозволяє інтегрувати додаткові функціональні доданки для спеціалізованого використання. У зв'язку з цим більшість фахівців не відносить Google Maps до стандартних GIS систем.

Повноцінною GIS платформою є MapINFO, яка підтримується великою компанією з розробки програмного забезпечення для логістичних компаній Pitney Bowes Inc, США.

Перевагою цієї платформи є простий текстовий обмінний формат просторових даних, який на сьогоднішній день підтримується практично всіма ГІС і САД системами, а також наявність вбудованої системи розробки власних розширень на мові MapBasic, який був розширенням мови Basic, що використовується в більшості продуктів фірми Microsoft, а також багатьох інших розробників (рис. 1.4).

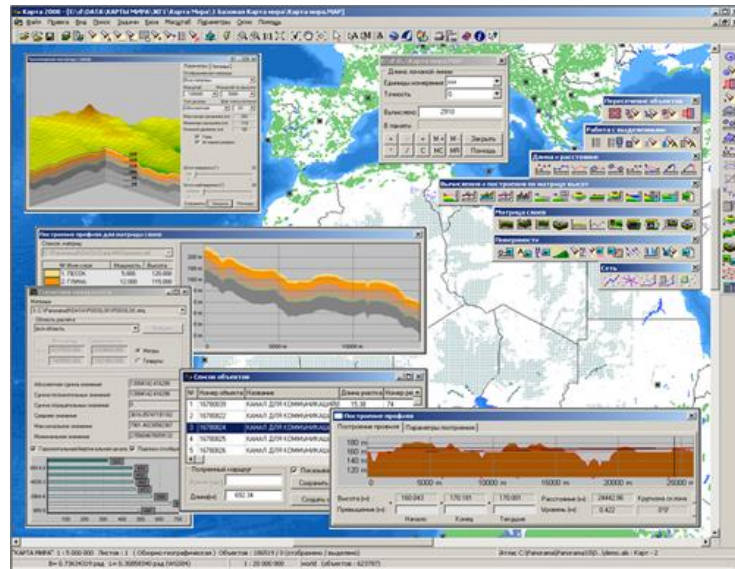


Рис. 1.4. Інтерфейс GIS платформи MapINFO

Остання версія системи дозволяє створювати ГІС першої, третьої і четвертої технологічних схем роботи з просторовими даними. Зберігання даних можливо у внутрішньому форматі, у форматі ESRI ArcView Shape, підключення до сховищ просторових даних через ESRI ArcSDE, табличних даних в Microsoft Access, Excel і безлічі інших.

Підтримується робота з даними в растрових форматах GIF, JPEG, TIFF, GEO TIFF, PCX, BMP, TGA, BIL тощо, включаючи новітні формати стисненого растра - ECW, MrSID, JPEG2000.

В останніх версіях дозволяє працювати з тривимірним поданням даних на рівні введення і зберігання. Повноцінного власного модуля візуалізації тривимірних моделей немає.

Останні версії MapInfo дозволяють безпосередньо підключати з інтернету до проекту шари даних за протоколами WMS і WFS консорціуму OGC.

Більш широкий спектр задач дозволяє вирішувати комплекс Intergraph – GeoMedia.

Це сучасна ГІС-платформа з відкритою архітектурою, яка дозволяє будувати ГІС системи з використанням першої, третьої або четвертої технологічних схем роботи з просторовими даними. Використовує унікальну

технологію вбудованих серверів даних (Data Servers), дозволяє працювати з просторовими даними безлічі форматів і систем координат безпосередньо, без попередньої конвертації і перетворення [29].

До базового настільного ПО компанія Intergraph пропонує різні модулі, для оптимізації робочого процесу, які спрощують організацію роботи багатьох користувачів, що полегшують і автоматизують контроль якості створюваних просторових даних, додають можливості роботи з інженерними мережами.

Intergraph розробило додаток I/CAD (рис. 1.5), який спрямовано на створення диспетчерських центрів, забезпечення управління мобільними ресурсами в області громадської і промислової безпеки. Цим додатком користується диспетчерська служба «911» служби порятунку США.

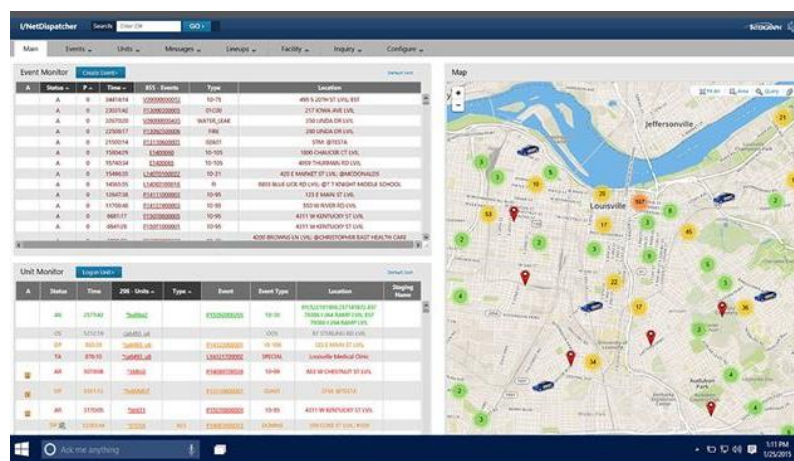


Рис. 1.5. Інтерфейс GIS додатку I/CAD

Потужною GIS платформою є AutoCAD Map 3D (рис. 1.6) - широкофункціональна інструментальна ГІС, яка дозволяє обробляти просторові дані з різних джерел, поєднувати їх з проектними даними в форматі DWG сімейства програм AutoCAD і будувати на основі цих даних складні тривимірні моделі, що включають модель території, а також моделі проєктованих, споруджуваних або експлуатованих об'єктів як у просторовому, так і 3D форматі. Вона не має власного формату зберігання

просторових даних, використовуючи для цієї мети формати інших популярних ГІС або сховища просторових даних. Дозволяє організувати роботу з просторовими даними за першою, третьою і четвертою технологічними схемами.

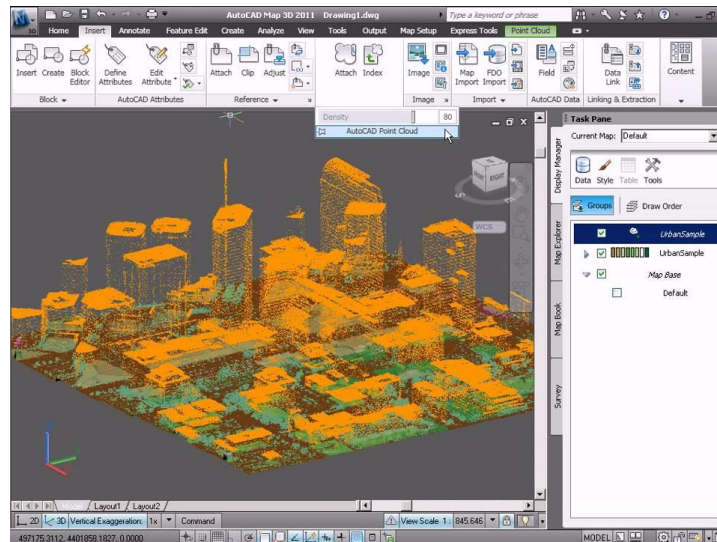


Рис. 1.6. Приклад побудови шарів в програмі AutoCAD Map 3D

Однак використання AutoCAD Map 3D для вирішення задач пожежної безпеки та цивільного захисту має ряд недоліків. Це пов'язано з тим, що AutoCAD Map 3D орієнтовано на архітектурно будівельні цілі міського будівництва і має слабкий функціонал транспортної логістики.

Суттєві переваги в побудові різнопланових GIS комплексів має програмна база ArcGIS (рис. 1.7).

За допомогою програм ArcGIS можна побудувати ГІС першої, третьої і четвертої технологічних схем роботи з просторовими даними. Є можливість роботи як з власним форматом файлів даних, так і зі сховищами просторових даних під керуванням SQL серверів Oracle, Microsoft, IBM DB2, PostgreSQL, Informix тощо. При цьому можливо як створення бази просторових даних у внутрішньому форматі з використанням засобу ArcSDE (третє покоління), так і робота з власними розширеннями для зберігання просторових даних (четверте покоління).

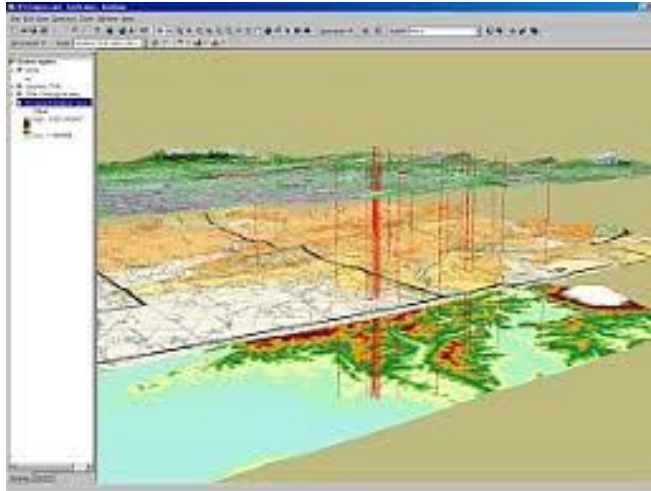


Рис. 1.7. Пошарова структура обробки даних в ArcGIS

Одна з небагатьох ГІС платформ, яка підтримує повноцінну роботу з топологічною моделлю представлення даних (вузлова і ланцюгово-вузлова моделі), а також зберігання, обробку та візуалізацію тривимірного представлення просторових даних.

ArcGIS Server підтримуються стандарти OGC: WMS, WFS, WCS, KML для ГІС-сервісів візуалізації і доступу до даних, стандарт CSW для сервісу метаданих (модуль Geoportal Extension). Використовується ряд стандартів для метаданих і ГІС-сервісів, наприклад, ISO 19115: 2003 Metadata, ISO 19139: 2007 Metadata: XML Schema Implementation, ISO 19119: 2005-Services та інші.

Підтримуються стандарти метаданих декількох національних інфраструктур просторових даних (ВПС), зокрема стандарти INSPIRE, FGDC, Dublin Core. Дозволяє створювати системи для роботи з великими і дуже великими обсягами даних (при використанні відповідного апаратного і системного забезпечення), розрахованими на велику кількість звернень користувачів.

Для якісного управління гасінням потужної пожежі керівник повинен керувати пожежно-рятувальними підрозділами та відстежувати їх розміщення у режимі реального часу. Крім того, обов'язковою є координація

дій штабу по гасінню пожежі з оперативно-диспетчерською службою територіального органу ДСНС. Це дозволяє отримувати всім органам управління актуальну інформацію та приймати вірні управлінські рішення. Ці умови вимагають використовувати для побудови геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами технологічні схеми віддаленого доступу на основі SQL серверів. На сьогодні саме ці схеми побудови GIS є найрозповсюдженішими і їх використовують майже всі провідні розробники, як це показано вище. Використання технологій віддаленого доступу дозволить збирати інформацію до GIS з різних джерел. Це може бути додаткова інформація про об'єкт чи пожежу від оперативно-диспетчерської служби, інформація, зібрана під час проведення розвідки на пожежі, інформація про розташування та переміщення пожежно-рятувальної техніки у режимі реального часу тощо.

Аналіз різних GIS платформ показав, що найбільш потужний та універсальний інструментарій для побудови геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами має програмний комплекс ArcGIS. Це продемонстровано деякими розробниками, які вже намагаються використовувати ArcGIS платформу для цілей цивільного захисту та пожежної безпеки [119, 120].

При побудові архітектури геоінформаційної системи для оптимізації розміщення пожежних підрозділів та руху пожежних автомобілів з урахуванням різного ступеню пожежного ризику та функціонального призначення необхідно враховувати переваги та недоліки існуючих програмних комплексів та чітко визначити перелік задач, що передбачається вирішити.

Таким чином, існуючі платформи GIS систем здатні суттєво підвищити ефективність та оперативність процесу управління пожежними підрозділами. Визначено технологічні схеми побудови геоінформаційних систем управління пожежними підрозділами, які дозволяють будувати платформи з функцією віддаленого доступу на основі SQL серверів.

Використання таких систем дозволить розробляти мобільні GIS додатки, що забезпечить їх використання в довільному місці локальної території. Серед існуючих на сьогодні GIS платформ найбільш універсальний інструментарій та широкий функціонал має платформа ArcGIS.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз нормативно-правової бази України щодо розміщення пожежних підрозділів в містах та об'єднаних територіальних громадах показав, що визначальними критеріями є щільність населення, радіус виїзду та нормативний час прибуття на місце пожежі. При цьому, якщо в містах такий нормативний час становить 10 хвилин, то на територіях об'єднаних територіальних громад допускається до 20 хвилин. Норми щодо облаштування пожежних підрозділів пожежною технікою вказують на необхідність забезпечення кожного підрозділу автоцистернами та автодрабинами при наявності будівель із поверховістю більше 3 поверхів. Для умов об'єднаних територіальних громад повинні бути передбачені автомобілі підвищеної прохідності.

2. Аналіз існуючих методів оцінки пожежного ризику показав, що можна виділити два підходи: кількісний та якісний. Кожен з підходів має свої переваги та недоліки. Кількісний метод розрахунку рівня пожежного ризику має за перевагу оперування конкретними розмірними параметрами та характеристиками об'єкту або території, які підлягають аналізу. Але це має і свої недоліки, оскільки на рівень ризику впливає велика кількість показників, які важко виміряти та отримати точні данні, особливо в умовах надзвичайних ситуацій. Відповідно доводиться користуватися певними припущеннями, що знижує точність оцінки. Однак усі сучасні методи оцінки ризику оперують двома основними показниками: це вірогідність виникнення пожежі та можливі збитки від такої пожежі.

3. Проведений аналіз існуючих моделей та методів оптимального покриття геометричних об'єктів показав, що вже розроблена математична база оптимізації розміщення геометричних об'єктів різної форми, в якості яких можуть виступати райони обслуговування пожежних підрозділів. Також розроблені методи вирішення таких задач геометричного моделювання. Однак існуючі моделі не дозволяють враховувати варіативність властивостей пожежних підрозділів, а саме їх функціональну спроможність, що призводить до суттєвих похибок при оптимізації розміщення пожежних підрозділів в містах та неможливості визначення необхідної кількості та якості пожежної техніки для Центрів безпеки громадян в об'єднаних територіальних громадах.

4. Визначено технологічні схеми побудови геоінформаційних систем управління пожежними підрозділами, які дозволяють будувати платформи з функцією віддаленого доступу на основі SQL серверів. Використання таких систем дозволить розробляти мобільні GIS додатки, що забезпечить їх використання в довільному місці локальної території. Серед існуючих на сьогодні GIS платформ найбільш універсальний інструментарій та широкий функціонал має платформа ArcGIS.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ

У даному розділі розроблена методика оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту. Визначено характеристики об'єктів різного призначення, які впливають на рівень пожежної небезпеки будівель та споруд. Розроблена нейромережева модель оцінки рівня пожежної небезпеки об'єкту.

Розроблена та теоретично обґрунтована методика оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу. Проведена перевірка працездатності розробленої методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу.

Основні результати розділу викладені в публікаціях [25, 27, 31, 34, 40].

2.1. Розробка методики оцінки рівня пожежної небезпеки окремого об'єкту

2.1.1. Визначення характеристик об'єктів різного призначення, які впливають на рівень пожежної небезпеки будівель та споруд

Для розробки методики оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу необхідно визначити фактори, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території, та провести їх статистичну обробку.

При аналізі факторів авторами запропоновано не ототожнювати поняття «рівень пожежної небезпеки» та «пожежний ризик» виходячи з того, що існує велика кількість варіантів інтерпретації терміну «ризик» та методик його розрахунку, деякі з яких є достатньо дискусійними. Однак, жодне з інтерпретацій поняття ризику не дозволяє визначити необхідний рівень пожежної небезпеки для локальної території. При цьому задачею оцінки

рівня пожежної небезпеки локальної території, відповідно до мети даної роботи, є саме визначення необхідної кількості протипожежних сил та засобів для локальної території довільного масштабу.

Масштаб локальної території залежить від точності задач, що вирішуються, при цьому максимальна точність оцінки рівня пожежної небезпеки з метою визначення необхідних протипожежних сил та засобів досягається при відповідності розмірів локальної території розмірам окремого об'єкту (Рис. 2.1).

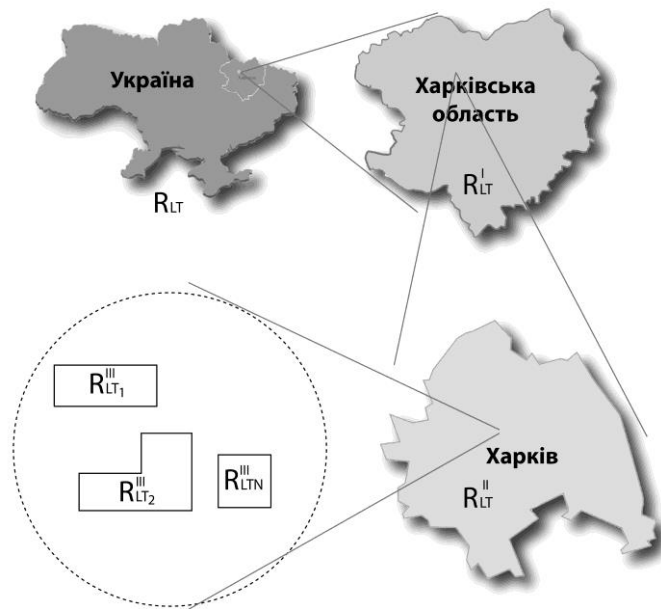


Рис. 2.1. Графічна інтерпретація масштабування локальної території державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів

Рівень пожежної небезпеки за аналогією із ризиком визначається можливими наслідками ймовірної пожежі та вірогідністю настання пожежі і відповідних наслідків. Як зазначалось вище, у науковій літературі по-різному визначаються фактори, що впливають на рівень небезпеки. Попередніми вченими проаналізовані та структуровані всі фактори небезпеки, що запропоновані в роботах [121-124]. Комплексна структура факторів, що визначають рівень пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу, представлена на рис. 2.2 [34].

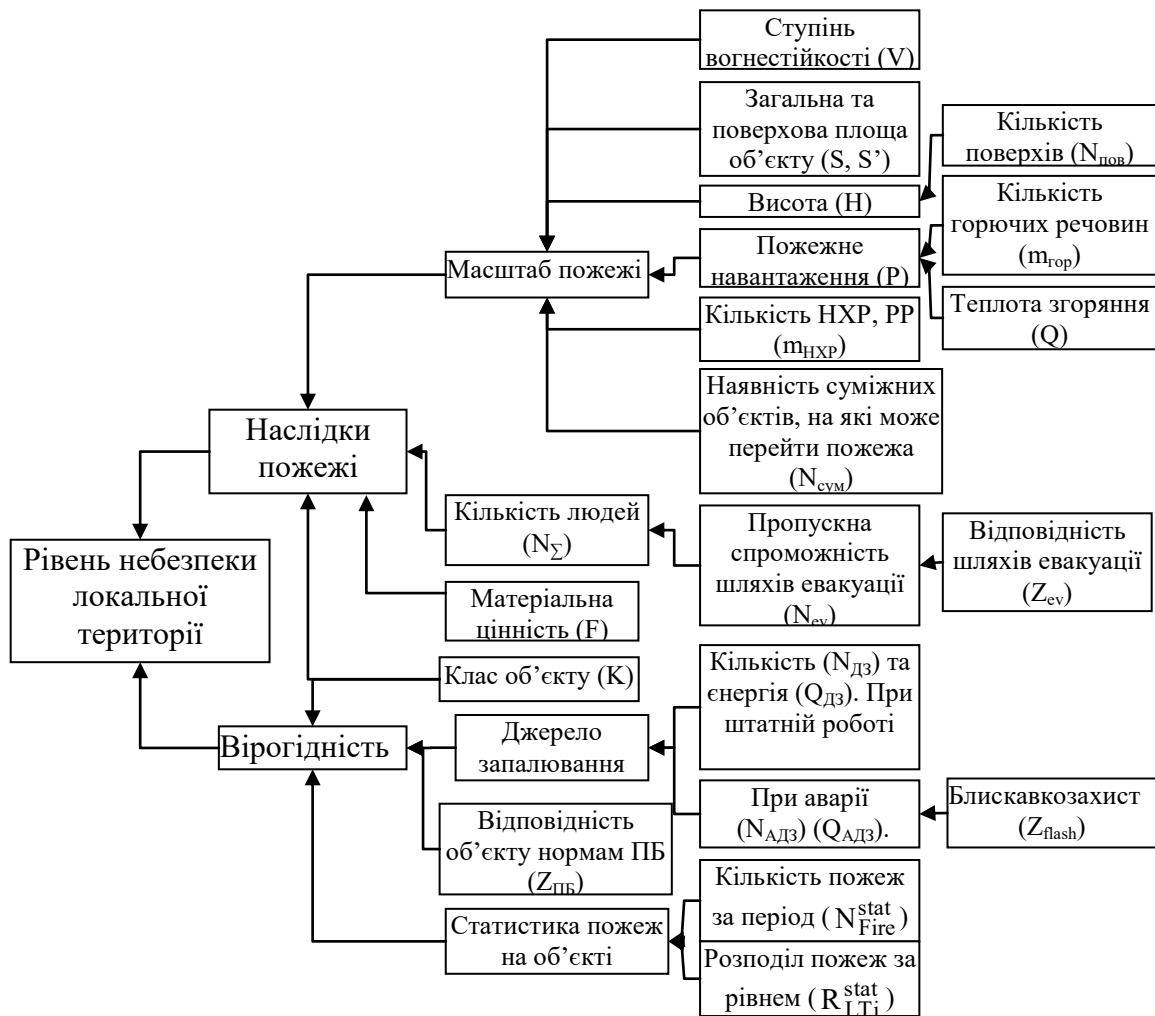


Рис. 2.2. Структура факторів для інтегрованої оцінки рівня пожежної безпеки локальної території

Згідно з комплексною структурою факторів пожежної безпеки (Рис. 2.2) можливі наслідки ймовірної пожежі визначаються:

- кількістю людей, які можуть потрапити в зону пожежі, яка в свою чергу залежить від кількості людей на локальній території, здатності їх вчасно евакуюватись. При цьому спроможність людей евакуюватись із зони пожежі визначається відповідністю шляхів евакуації встановленим нормам пожежної безпеки;

- матеріальною цінністю об'єкту чи об'єктів на локальній території;

- масштабами можливої пожежі, на який впливають: значення пожежного навантаження; кількість горючої речовини; кількість

небезпечних хімічних та/або радіоактивних речовин, що можуть бути викинуті при аварії; висотність та кількість поверхів об'єкту; загальна та поверхова площа об'єкту або локальної території; наявність суміжних об'єктів, на які може поширюватись пожежа [25].

На вірогідність виникнення пожежі впливають:

- наявність джерел запалювання, їх кількість та потужність при нормальній та аварійній роботах;
- рівень відповідності об'єкту чи території нормам пожежної безпеки;
- статистика виникнення пожеж на об'єктах подібних характеристик.

Крім цього, суттєву роль щодо рівня пожежної безпеки в цілому відіграє функціональне призначення локальної території (об'єкту), тобто житлове, промислове, сільськогосподарське, соціально-побутове тощо.

Однак, отримати пряму функціональну залежність рівня пожежної безпеки від цих факторів неможливо за рахунок різної природи параметрів та невизначеності рівня внеску кожного з факторів до загального значення рівня. Тому, в роботі запропоновано новий підхід ранжування рівня пожежної безпеки у відповідності до необхідної кількості сил та засобів для ліквідації можливої пожежі. За основу взято загальнодержавний підхід до ранжування рівня пожеж, які вже сталися [125], але зі зменшенням кроку між рангами (табл. 2.1).

Відповідно до запропонованого підходу (табл. 2.1) визначення рівня пожежної безпеки локальної території довільного масштабу дозволить визначити кількість сил та засобів, що здатні забезпечити належний рівень пожежної безпеки на цій території [27].

Використання відомих математичних моделей не дозволяє розрахувати параметри, що визначають рівень безпеки локальної території.

Таблиця 2.1. - Ранжування локальної території за рівнями пожежної небезпеки [40]

Ранг, R_{LT}	Кількість сил та засобів для ліквідації пожежі, N_{HTP} *	Ранг, R_{LT}	Кількість сил та засобів для ліквідації пожежі
I	1 відділення АЦ*	VI	10 відділень АЦ + 5 СА
II	2 відділення АЦ	VII	15 відділень АЦ + 6 СА
III	4 відділення АЦ	VIII	20 відділень АЦ + 8 СА
IV	4 відділення АЦ + 2 СА**	IX	30 відділень АЦ + 10 СА
V	6 відділень АЦ + 4 СА	X	> 30 відділень АЦ + > 10 СА

* АЦ – автоцистерна.

** СА – спеціалізовані автомобілі (автодрабина, насосно-рукавний автомобіль, штабний автомобіль, пересувна база ГДЗС, інженерна техніка тощо).

2.1.2. Розробка нейромережевої моделі оцінки рівня пожежної небезпеки об'єкту

Вирішити перелічені у попередньому підрозділі недоліки дозволяє використання нейромережевих технологій.

Оцінка рівня пожежної небезпеки з використанням нейромережевих технологій проводилась шляхом створення штучних нейронних мереж, перевагою яких є можливість апроксимації за експериментальними даними будь-яких скільки завгодно складних нелінійних залежностей довільного та невідомого виду [126, 127].

Інша суттєва особливість нейронних мереж полягає у тому, що залежність між вхідними та вихідними даними знаходиться у процесі навчання мережі. Штучна нейронна мережа складається з певної кількості «штучних нейронів». Нейрон має декілька каналів вводу інформації, так

звані дендрити, та каналів виводу інформації – аксони. Аксон нейрона поєднується з дендритами інших нейронів за допомогою синапсів.

На рис. 2.3 представлено графічну модель нейрона, на якій продемонстровано отримання $x(i)$ -го сигналу j -им нейроном через декілька вхідних каналів від інших нейронів. Кожен отриманий сигнал множиться на $w(j, i)$ – вагу синаптичного зв'язку між виходом i -го нейрона та входом j -го нейрона, позитивне значення якої відповідає збуджувальним синапсам, а негативне – гальмуючим синапсам. Значення $w(j, i) = 0$ свідчить про відсутність зв'язку між i -м та j -м нейронами. Надалі виконується операція підсумовування у блоці «Суматор» перетворених вхідних сигналів і додається поріг збудження $b(i)$.

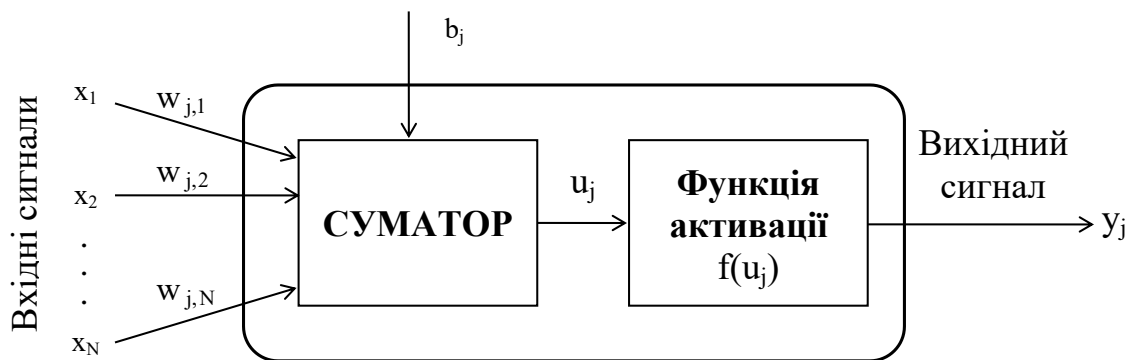


Рис. 2.3. Схема штучного нейрона

В якості функції активації (рис. 2.3) використовували сигмоїд, який має наступний вигляд:

$$f(u_j) = \frac{1}{1 + e^{-au_j}} \quad (2.1)$$

де $u_j = \sum_{i=1}^N w(j,i)x(i) + b(j)$ - функція нейрона, $x(i)$ – вхідні сигнали, $i=1, \dots, N$.

Будову моделі штучної нейронної мережі та аналіз даних проведено з використання статистичного пакету STATISTICA 6.1.

Для навчання нейромереж всі спостереження було розділено на три вибірки. За умовчанням здійснювалося випадкове розділення спостережень між вибірками, щоб уникнути перенавчання мережі та для гарантування якісного узагальнення (прогнозування). Перша вибірка (Повчальна – 50% спостережень) використовувалася для навчання мережі; друга (Контрольна – 25% спостережень) – для кросвалідації алгоритму навчання під час його роботи; третя (Тестова – 25% спостережень) – для остаточного незалежного тестування навченої нейромережі.

Результати навчання багатошарової перцептронної нейромережі дозволили отримати прогностичну модель впливу основних параметрів пожежної небезпеки об'єкту на його рівень пожежної небезпеки у вигляді нейромережі MLP 12-4-1, результати прогнозування якої подано у табл. 2.2.

Навчання нейромережі MLP 12-4-1 проведене із швидкістю $\eta = 0,01$. Результати аналізу подані у табл. 2.3. Схема нейромережі MLP 12-4-1 представлена на рис. 2.4.

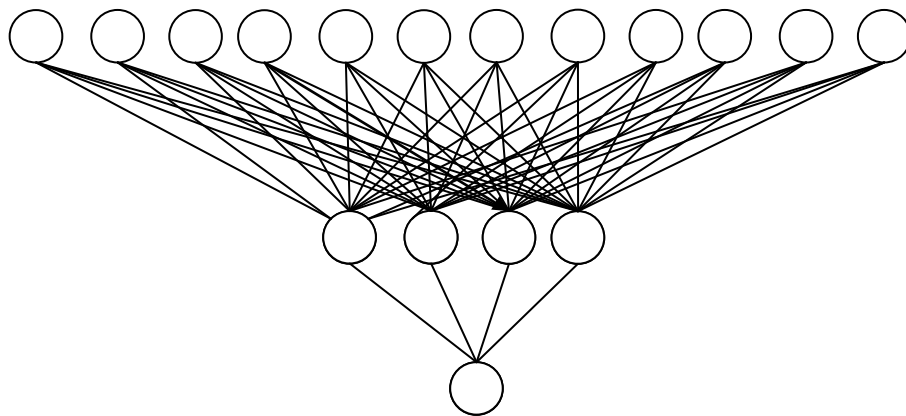


Рис. 2.4. Структурна схема нейромережевої моделі MLP 12-4-1

Таблиця 2.2. - Результати оцінки нейромережею MLP 12-4-1 рівня пожежної небезпеки об'єктів різного призначення [31].

Параметри небезпеки		Статистичні данні					Прогноз			
		Пожежа № 1 ДНЗ «Сонечко», 2019 р.	Пожежа № 2 Житл. буд., м. Одеса, 2020 р.	Пожежа № 3 Резервуар нафтобази, 2020 р.	Пожежа № 4 Полтава трансбуд, 2019 р.	Пожежа № 5 Житл. буд., м. Дніпро, 2019 р.	Пожежа № 6 Магазин, м. Одеса, 2018 р.	Пожежа № 7 Житл.буд., м. Вінниця	Пожежа № 8 Паркінг, м. Київ, 2017 р.	Пожежа № 9 Громадська будівля, м. Київ
Вхідні	S, м ²	96	13200	73	2600	60	432	4800	34700	1535
	V	3	1	3	1	4	3	1	1	3
	S', м ²	96	660	73	2600	60	432	900	34700	432
	H, м	5	60	7	5	6	5	20	7	5
	N _{пов}	1	20	1	1	1	1	5	1	1
	P, МДж/м ²	600	800	14·10 ⁶	500	800	500	800	200	500
	m _{НХР} , кг	0	0	511·10 ³	200	0	0	0	0	0
	N _{сум}	0	0	4	0	2	2	0	0	2
	N _Σ , людей	50	310	0	25	4	80	250	10	80
	N _{св} , люд/хв	8	10	0	20	4	15	10	20	15
	F, млн. грн	1,2	30	13	18	6	10	10	5	10
	K	3-(громад.)	1-(житл.)	2-(пром.)	2-(пром.)	1-(житл.)	3-(громад.)	1-(житл.)	2-(пром.)	3-(громад.)
	Q _{адз} , Дж	0,2	0,6	1,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
	Z _{пла} , (1-Так, 0-Hi)	1	1	1	1	0	1	1	1	1
N _{Fire} ^{stat} , рік ⁻¹	0,8	27	0,6	8	543	5	45	1,2	5	
R _{LTi} ^{stat}	II	IV	V	III	II	IV	IV	III	IV	
Вихідні	N _{НТР}	6 відділень	6 від. + 3 СА	7 від. + 5 СА	9 від. + 3 СА	8 відділень	6 від. + 5 СА	6 від. + 5 СА	6 від. + 5 СА	4 від. + 1 СА
	R _{LT} [*]	V	V	VI	VI	VI	V	V	V	IV
	R _{LTi} ^{max}	VI	VII	IX	VII	VI	VII	VII	VII	VI
	R _{LTi}	-	-	-	-	-	-	V	VI	V

Таблиця 2.3. – Статистичні характеристики трьохшарових персептронів, які запропоновані «майстром рішень» як найкращі для нейромережевої оцінки рівня пожежної небезпеки об'єкту (R_{LTi}) [31]

№ рішення	Архітектура	Продуктивність навчання	Контрольна продуктивність	Тестова продуктивність	Похибка навчання	Контрольна похибка	Тестова похибка	Алгоритм навчання	Функція помилки	Активізація схованого шару	Активізація виходу
1.	MLP 12-8-1	0,874	0,765	0,925	237,7	419,8	156, 8	BFGS 2	SOS	Exponential	Logistic
2.	MLP 12-12-1	0,835	0,678	0,912	208,5	480,3	104,4	BFGS 4	SOS	Identity	Exponential
3.	MLP 12-4-1	0,839	0,864	0,942	180,9	502,9	77,3	BFGS 6	SOS	Exponential	Logistic
4.	MLP 12-1-1	0,838	0,884	0,977	163,9	353,3	83,2	BFGS 9	SOS	Exponential	Logistic

Примітка до табл. 2.3: коди, які були використані для оптимізації мереж: BFGS b – алгоритм Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно (Broyden – Fletcher – Goldfarb – Shanno); b – крок зупинки (мережа з найменшою помилкою на контрольній вибірці); SOS – метод зворотного поширення помилки [128].

Але оцінка рівня пожежної небезпеки на базі статистичних даних носить вірогіднісний характер. Тобто існує вірогідність виникнення пожеж більшого рангу, тому за допомогою нейромережі MLP 12-4-1 також спрогнозовано найбільший можливий рівень пожежної небезпеки на об'єкті R_{LT}^{\max} (табл. 2.2).

Перевірка адекватності розробленої математичної нейромережевої моделі оцінки ступеня пожежної небезпеки об'єкту проводилась шляхом співставлення статистичного рівня пожежної небезпеки на об'єктах, данні яких не брали участі у навчанні нейромережі (R_{LT}^*), та результатів оцінки рівня небезпеки для цих же об'єктів (R_{LTi}). Коефіцієнт кореляції між цими показниками за результатами навчання мережі дорівнює $r_{R_{LT}^* R_{LTi}}^2 \approx 0,767$.

Точність оцінки можна суттєво підвищити шляхом збільшення кількості статистично опрацьованих пожеж на об'єктах різного функціонального призначення. Оскільки нейромережа MLP 12-4-1 володіє здібністю до самонавчання, додавання нових статистичних даних буде корегувати прогностичну модель у бік уточнення оцінки [31].

Графічне відображення результатів оцінки представлено на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Графічна інтерпретація градування об'єктів за розрахованим рівнем пожежної небезпеки локального району м. Харкова

Картографічне градування об'єктів за рівнями небезпеки на локальній території дозволяє провести зонування цієї території та визначити достатність забезпечення силами та засобами. Використання запропонованого підходу та збільшення масиву статистичних даних дозволить проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу у межах міста, району, області, держави.

Якщо екстраполювати результати ранжування на локальну територію більшої площі, до розмірів міста, району, області тощо, то можна отримати піксельне градування території (рис. 2.6) [40].

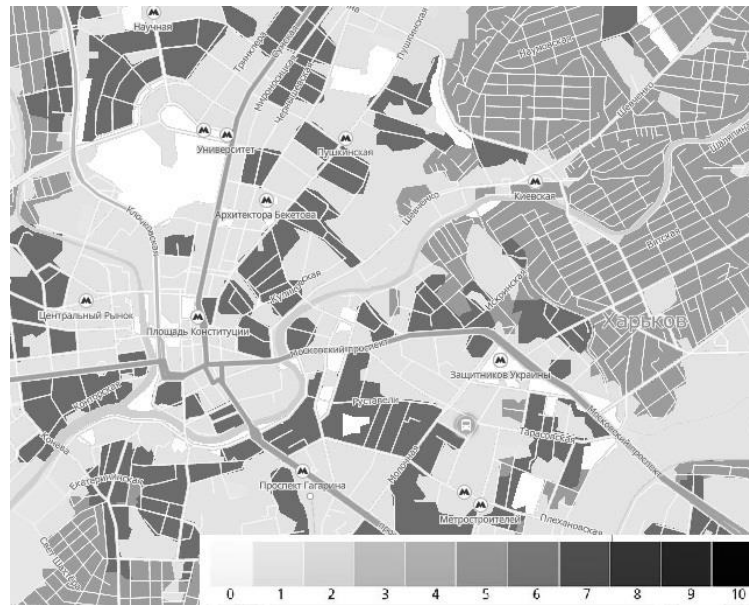


Рис. 2.6. Приклад піксельного графічного градування локальної території за рівнем пожежної небезпеки

Виходячи з того, що розміри окремого пікселя (об'єкту) малі відносно відстані від цього об'єкту до пожежно-рятувальної частини, то при розв'язанні задач розміщення пожежно-рятувальних підрозділів кожен піксель можна розглядати як точку, а розмірами об'єкту нехтувати.

Таким чином, проведено аналітичну обробку та структурування факторів, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території. Запропоновано новий підхід до оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу, включаючи окремі об'єкти, який базується на ранжуванні рівнів небезпек у відповідності до необхідних сил та засобів для забезпечення пожежної безпеки. З використанням нейромережевих технологій отримано прогностичну модель, яка дозволяє проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території зі ступенем кореляції $r = 0,767$. Отримана нейромережа здатна до самонавчання, що дозволяє

уточнювати результати оцінки при введенні нових статистичних даних. Запропонований метод оцінки рівня пожежної небезпеки дозволяє будувати карти пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу.

2.2. Розробка методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу

2.2.1. Теоретичне обґрунтування методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу

Рівень ПН за аналогією із ризиком визначається вірогідністю настання ЛП та відповідних наслідків [129, 130]. Для можливості оцінки рівня ПН проаналізовані та структуровані визначальні фактори для територій із щільною забудовою та малонаселених територій [131–133]. Комплексна структура факторів для інтегрованої оцінки рівня ПН ЛТ великого масштабу представлена на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Комплексна структура факторів для інтегрованої оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території великого масштабу

Відповідно до комплексної структури (рис. 2.7.) на вірогідність впливають наступні фактори:

1. Густина рослинного покриву визначає інтенсивність ЛП та швидкість розповсюдження ЛП поверхнею ЛТ. Найкраще відображення густини рослинного покриву надає картографічний ресурс Awesome Gee Community Catalog [134]. У цьому ресурсі представлено дані, що базуються на інтеграції даних із супутникових систем GEDI, Sentinel-2 (рис. 2.8).

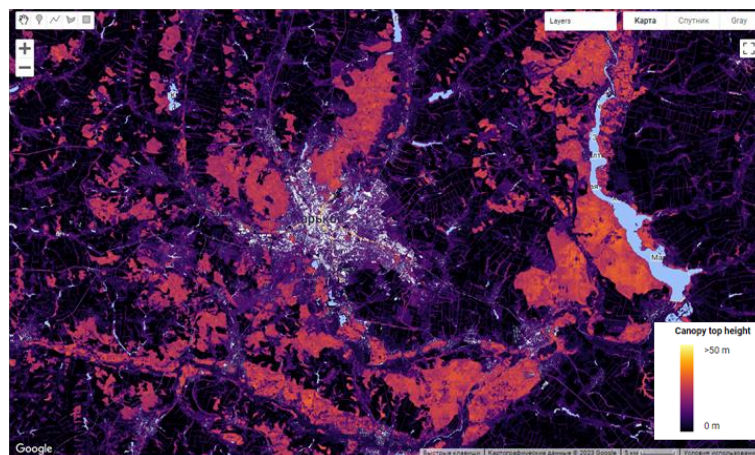


Рис. 2.8. Мапа густини рослинного покриву локальної території великого масштабу за даними супутників GEDI та Sentinel-2

Супутникова система GEDI, надає розріджені дані про висоту з безпрецедентним охопленням. Оптичні супутникові зображення, зокрема Sentinel-2, пропонують щільні спостереження в усьому світі, але не можуть безпосередньо вимірювати вертикальні структури. Об'єднавши GEDI з Sentinel-2, розроблена ймовірнісна модель глибокого навчання для висоти покриву із кількісною оцінкою невизначеності [135].

2. Відстань до населеного пункту має комплексний вплив на ризик. Основною складовою є час до виявлення ЛП та час прибуття до місця ЛП ПРП. Час виявлення може варіюватися у дуже широкому діапазоні від

декількох секунд на об'єктах, обладнаних автоматичною сигналізацією, до декількох годин у випадку ландшафтних ЛП у глибині лісу. Така ж сама тенденція і щодо часу прибуття. Якщо для щільно населених міст час прибуття ПРП становить 5–10 хв., то для лісових ЛП взагалі виникає суттєва складність доставити засоби гасіння ЛП до осередку. Але відстань до населеного пункту опосередковано впливає і на вірогідність виникнення П. Це пояснюється тим, що причиною виникнення більшості ландшафтних ЛП є людський фактор. Тобто віддалення від населеного пункту знижує вірогідність виникнення П.

3. Відстань від шляхів комунікацій безпосередньо впливає на час прибуття ПРП до осередку П. Якщо розрахункова швидкість прямування пожежного автомобілю асфальтованою дорогою складає 60 км/год, то ґрунтовими шляхами – 20 км/год та нижче.

4. Щільність населення визначає кількість осіб, які можуть потрапити до осередку П. Відповідно цей показник буде прямопропорційно визначати кількість загиблих та постраждалих унаслідок П.

Можливі наслідки ймовірної ЛП визначаються наступними факторами:

1. Кількість ЛП за певний період або їх тривалість можна отримати із статистичних довідок. Збір даних про ландшафтні ЛП у степах та лісах здійснює система Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). MODIS є ключовим інструментом супутників Terra і Aqua. Зазначені супутники здійснюють моніторинг всієї поверхні Землі кожні 1–2 дні, отримуючи дані у 36 спектральних діапазонах. Такі дані дозволяють покращити аналіз глобальної динаміки та процесів, що відбуваються на суші, в океанах і нижніх шарах атмосфери. Результати аналізу супутникової інформації сервісом Global Fire Atlas представлено на рис. 2.9. На мапі (рис. 2.9) представлені місця аномальної температурної активності, що вказують на виникнення ЛП та тривалість таких ЛП за днями року. ПН таких ЛП обумовлена не тільки фактором горіння, але й суттєвою екологічною загрозою за рахунок викиду в атмосферу небезпечних газів [136]. Для

зниження такого впливу розробляються окремі методи [137].

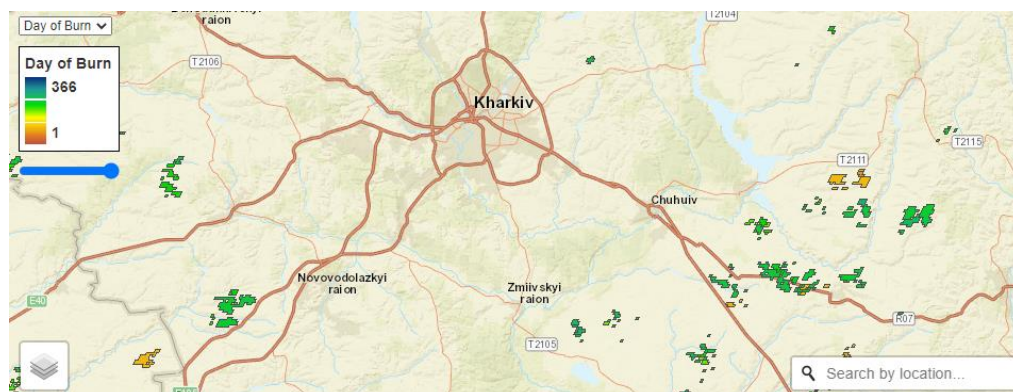


Рис. 2.9. Тривалість ландшафтних пожеж на локальній території за 2022 рік за даними Global Fire Atlas [76]

2. На ЛТ окремих адміністративних районів спостерігається значна нерівномірність щільності населення. У межах таких районів можуть знаходитись великі міста, міста з населенням менше 100 тис. осіб та селища – до 10 тис. осіб. Для формування району виїзду ПРП необхідно знати просторовий розподіл щільності населення. Прикладом загальнодоступної бази з такою інформацією є сервіс FIRMS (рис. 2.10), що містить дані щодо просторового розміщення забудови у вигляді додаткового шару Human Built-up and Settlement Extend.

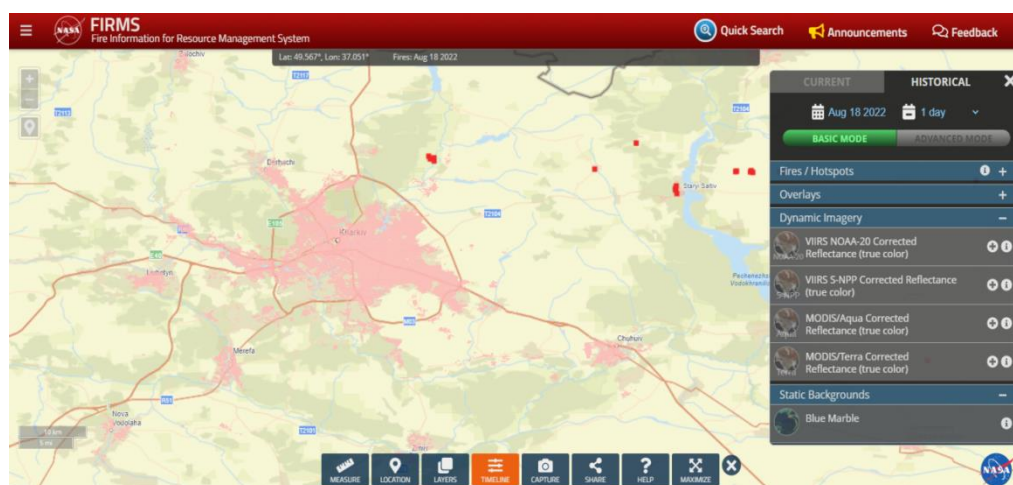


Рис. 2.10. Просторовий розподіл щільності забудови у ресурсі FIRMS

3. Тип рослинності комплексно впливає одразу на декілька факторів ПН. По-перше, це мінімальна енергія джерела запалювання, яка достатня для виникнення П. Цей фактор визначає вірогідність виникнення ЛП на основі співставлення із наявними поблизу джерелами запалення. Крім цього, тип рослинності визначає швидкість розповсюдження ЛП поверхнею ЛТ. Виділяють два принципово різних класи рослинності – степова та лісова.

4. Наявність об'єктів підвищеної ПН обумовлює концентрацію високоенергетичних джерел запалювання. На об'єктах промисловості зазвичай у сукупності присутні такі джерела запалення, як дуга струму високої напруги, фрикційні іскри, відкрите полум'я, порушення правил безпеки праці та ПБ.

Проте, не уявляється можливим згенерувати класичну модель рівня ПН від окреслених вище факторів. Це пояснюється різноманіттям та невизначеністю впливу таких параметрів на рівень ПН ЛТ великого масштабу. Враховуючи зазначене, запропоновано підхід ранжування рівня ПН ЛТ великого масштабу, який базується на потребі у техніці з особовим складом для гасіння П. Результати такого ранжування наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4. - Ранжування локальної території великого масштабу за рівнем пожежної небезпеки в залежності від необхідної кількості автомобілів з особовим складом для гасіння пожеж

Ранг, R _{LT}	Необхідна кількість автомобілів з особовим складом	Ранг, R _{LT}	Необхідна кількість автомобілів з особовим складом
I	1	VI	15
II	2	VII	21
III	4	VIII	28
IV	6	IX	40
V	10	X	>40

Далі запропоновано застосовувати штучну нейромережу для аналізу параметрів, які впливають на рівень ПН ЛТ великого масштабу. Особливістю

такої технології є можливість обробки великих масивів експериментальних та статистичних даних будь-якої складності за відсутності апріорної інформації щодо взаємозв'язків між ними. Це стало можливим завдяки здатності до самонавчання мережі при пошуку залежності між вхідними та вихідними параметрами. Використання графічних даних, представлених на рис. 2.8–2.10, дозволяє проводити попиксельний аналіз обраної ділянки ЛТ великого масштабу. У результаті навчання багатошарової перцептронної нейромережі отримано 4 кращі прогностичні моделі впливу основних параметрів ЛТ великого масштабу на її рівень ПН, які представлені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5. - Характеристики прогностичних моделей для нейромережевої оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території

Архітектура моделі	MLP 12-9-3-1	MLP 12-7-1	MLP 15-5-1	MLP 15-2-1
Продуктивність навчання	0,892	0,842	0,827	0,816
Тестова похибка	148,5	112,8	76,4	85,9
Алгоритм навчання	BFGS 2	BFGS 4	BFGS 6	BFGS 9
Активация прихованого шару	Exponential	Identity	Exponential	Exponential
Активация виходу	Logistic	Exponential	Logistic	Logistic

Але слід враховувати, що результати оцінки рівня ПН ЛТ за допомогою моделей з табл. 2.5 носять вірогіднісний характер і представляють рівень ПР.

Побудова моделі штучної нейронної мережі проводилась за допомогою статистичного пакету STATISTICA 10 (США) шляхом уведення статистичних даних для 250 точок. При цьому в якості навчання використано 180 точок, тестування похибки отриманих моделей проводилось на 50 точках, а перевірка адекватності на 20 точках. При цьому розглядалось два варіанти із 12 та 15 вхідними параметрами (нейронами). В усіх моделях був один вихідний параметр (нейрон), а саме рівень пожежної небезпеки за табл. 2.5.

2.2.2. Перевірка працездатності методики оцінки рівня пожежної небезпеки території великого масштабу

За результатами аналізу даних моделей у табл. 2.5 встановлено, що найменшу похибку має нейромережева модель MLP 15-5-1. Навчання цієї нейромережі проведене із швидкістю $\eta=0,01$. Перевірка адекватності розробленої моделі проводилась шляхом співставлення статистичного рівня ПН в точках (данні яких не використовувались у навчанні нейромережі) (R_{LT}^*), результатів оцінки рівня ПН для цих же об'єктів (R_{LTi}) та відповідних коефіцієнтів кореляції (r^2) (табл. 2.6). Середній коефіцієнт кореляції між цими показниками за результатами навчання мережі дорівнює $r^2 \approx 0,97$. Однак, виходячи з того, що діапазон вихідних даних у 10 рівнів є покроковим від I до X, то кожен крок похибки відразу призводить до зниження точності на 10%.

Таблиця 2.6. - Перевірка адекватності нейромережевої моделі MLP 15-5-1

Параметри	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Координати	50.016712, 36.102304	49.920210, 35.953989	49.839046, 36.768428	49.595110, 35.819919	50.215436, 36.401900
R_{LT}^*	II	V	VI	IV	III
R_{LTi}	II	VI	VI	III	III
r^2	1	0,9	1	0,9	1

Слід звернути увагу на результати за точкою 4 (табл. 2.6). Як видно, похибка результатів прогнозування лежить в межах допустимих 10 %, але при цьому рівень ПН занижений відносно реального. Це може призвести до недооцінки ПН, що суттєво гірше, ніж така ж похибка у бік переоцінки ПН. Тому такі точки необхідно відстежувати та проводити більш ретельний аналіз. Точність оцінки можна суттєво підвищити шляхом збільшення кількості статистично опрацьованих точок різного характеру на довільній ЛТ. Оскільки нейромережа MLP 15-5-1 володіє здібністю до самонавчання,

додавання нових статистичних даних буде корегувати прогностичну модель у бік уточнення оцінки. Графічне відображення отриманих результатів представлено на рис. 2.11.

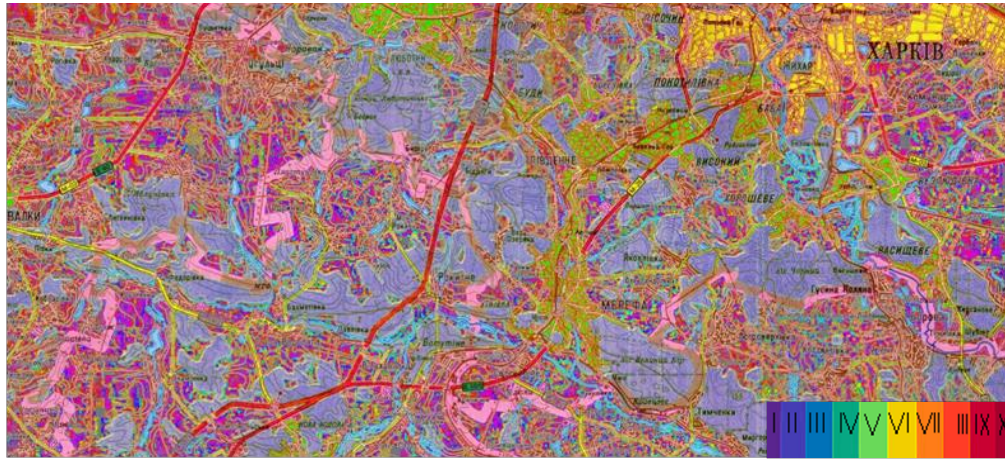


Рис. 2.11. Графічна інтерпретація градування локальної території за розрахованим рівнем пожежної небезпеки

Виходячи з того, що розміри окремого пікселя малі відносно відстані до ПРП, то при розв'язанні задач розміщення ПРП кожен піксель можна розглядати як елементарну точку, а її розмірами знехтувати. Картографічне градування території за рівнями ПН дозволяє провести її зонування та визначити достатність забезпечення силами та засобами. Використання запропонованого підходу дозволить проводити оцінку рівня ПН ЛТ довільного масштабу у межах міста, району, області, держави.

При оцінці ПР ЛТ великого масштабу, яка виходить за межі окремого населеного пункту, набувають значущості інші фактори. Це такі фактори, як щільність населення, наявність та щільність рослинного шару, вірогідність виникнення ЛП на місцевості та мережа шляхів, яка визначає час прямування ПРП до місця виникнення П. Ранжування функціональної спроможності ПРП дозволяє співставити рівень ПН ЛТ із кількістю сил та засобів, що дозволяють допустимо знизити такий ризик. При цьому, зазначений у табл. 1 ранг не обов'язково повинен відповідати окремому ПРП, це може бути

сумарний ранг всіх ПРП, що задіяні до гасіння ЛП на ЛТ. Ранжування території за рівнем ПН за допомогою розробленої методики дозволяє отримувати повну мапу ПР будь-якого району. Недоліками такого підходу є необхідність збору та аналізу великого масиву даних, що є достатньо працемісткою задачею у межах ЛТ великого масштабу. Також при підвищенні растровості підвищується точність визначення, але й об'єм необхідних вхідних параметрів росте з геометричною прогресією. Представлений на рис. 2.10 просторовий розподіл забудови не є повним аналогом просторового розподілу щільності населення, оскільки не врахована поверховість забудови. У містах із населенням понад 100 тис. осіб, в яких відсоток висотної житлової забудови перевищує 10%, розбіжність між щільністю забудови та щільністю населення є суттєвою. Для таких міст коректним буде використання методики оцінки ПР ЛТ малого масштабу. Для районів із переважаючою одно- та двоповерховою забудовою перевищенням щільності населення можна знехтувати. При аналізі статистичних даних щодо ландшафтних ЛП, окрім Global Fire Atlas існують і інші ресурси, які можуть надавати інформацію в інших форматах. Такі ресурси здійснюють свій аналіз на основі даних, отриманих супутниковою системою MODIS. Однак різні підходи до їх аналізу дозволяють отримати різнопланові результати. Але аналіз масиву супутникових даних щодо ландшафтних ЛП в цій роботі не розглядався та є напрямком майбутніх досліджень.

Велика кількість факторів ПР окремої точки ЛТ з розмірністю різного характеру не дозволяє побудувати звичайну математичну модель залежності рівня ПР від окремих параметрів. Вирішення цієї проблемної ситуації стало можливим з використанням алгоритмів нейромережевого навчання. Для навчання нейромережі та перевірки її працездатності використані характеристики із 250 об'єктів. Однак, слід зазначити, що, хоча отримана нейромережа дозволяє отримувати результати прогнозування із задовільною точністю та показником кореляції $r^2 \approx 0,97$, для її навчання було обрано мінімально допустиму кількість даних. Тому подальші дослідження будуть

направлені на продовження навчання розробленої нейромережі, що дозволить збільшити її точність та універсальність. Використання на практиці запропонованих підходів до оцінки рівня ПН ЛТ великого масштабу дозволить проводити оцінку рівня забезпеченості ЛТ необхідними протипожежними силами та засобами.

Таким чином, теоретично обґрунтовано методика оцінки пожежного ризику на локальній території великого масштабу. Особливістю запропонованої методики є диференційована оцінка пожежного ризику кожної точки площини поверхні. Для такої оцінки проаналізовані та структуровані параметри, що є визначальними з точки зору впливу на пожежну небезпеку. До зазначених факторів відносяться: просторовий розподіл щільності населення та забудови, транспортно-комунікаційна мережа, просторовий розподіл густини та виду рослинності та статистичні данні щодо ландшафтних пожеж. Передбачено використання в режимі реального часу геоінформаційних ресурсів Fire Information for Resource Management System, Awesome Gee Community Catalog, Global Fire Atlas та даних супутникової системи Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Запропоновано новий підхід ранжування пожежного ризику елементарної площини території у відповідності до необхідної кількості ресурсів рятувальних підрозділів для забезпечення належного рівня безпеки. Для співставлення параметрів локальної території з рангами пожежного ризику використано нейромережеві методи обробки даних. Отримано нейромережеву модель, здатну співставляти пожежний ризик території з її параметрами.

Проведено перевірку працездатності розробленої методики та градування рівнів пожежного ризику довільної території на основі прогностичної нейромережевої моделі із середнім ступенем кореляції 0,97. Встановлено, що запропонована нейромережа здатна до самонавчання, що дозволяє уточнювати результати оцінки при введенні нових статистичних даних. На основі отриманих даних створена графічна інтерпретація

градування локальної території за розрахованим рівнем пожежної небезпеки. Зокрема, із використанням зазначеної методики стала можливою побудова карт пожежної небезпеки та зонування локальної території довільного масштабу. У цілому підтверджена працездатність запропонованої методики щодо оцінки та корегування стану забезпечення локальних територій ресурсами цивільного захисту. Особливої актуальності розроблена методика набуває при просторовому розміщенні нових пожежно-рятувальних підрозділів громад.

Висновки до розділу 2

1. У роботі проведено аналітичну обробку та структурування факторів, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території. Запропоновано новий підхід до оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу, включаючи окремі об'єкти, що базується на ранжуванні рівнів небезпек у відповідності до необхідних сил та засобів для забезпечення пожежної безпеки. З використанням нейромережевих технологій отримано прогностичну модель, яка дозволяє проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території зі ступенем кореляції $r = 0,767$. Отримана нейромережа здатна до самонавчання, що дозволяє уточнювати результати оцінки при введенні нових статистичних даних. Запропонований метод оцінки рівня пожежної небезпеки дозволяє будувати карти пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу.

2. Теоретично обґрунтовано методику оцінки пожежного ризику на локальній території великого масштабу. Особливістю запропонованої методики є диференційована оцінка пожежного ризику кожної точки площини поверхні. Передбачено використання в режимі реального часу геоінформаційних ресурсів Fire Information for Resource Management System, Awesome GEE Community Catalog, Global Fire Atlas та даних супутникової системи Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Запропоновано новий

підхід ранжування пожежного ризику елементарної площини території у відповідності до необхідної кількості ресурсів рятувальних підрозділів для забезпечення належного рівня безпеки. Отримано нейромережеву модель, здатну співставляти пожежний ризик території з її параметрами. Проведено перевірку працездатності розробленої методики та градування рівнів пожежного ризику довільної території на основі прогностичної нейромережевої моделі із середнім ступенем кореляції 0,97.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

У даному розділі визначені значущі фактори оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Встановлено основні складові системи пожежної безпеки, на які впливає територіальне розміщення пожежних підрозділів. Визначено можливі шляхи оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів. Розроблена модель територіального розміщення пожежних підрозділів на основі методів геометричного покриття областей. Проведено постановку задачі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Розроблено метод вирішення задач територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Проведено оцінку впливу інтенсивності руху пожежних автомобілів на розміри зони обслуговування. Розроблена математична модель інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями. На основі порівняльного аналізу транспортних комунікацій населених пунктів різного масштабу проведено перевірку працездатності математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів.

Основні результати розділу викладені у публікаціях [23, 26, 28, 30, 32].

3.1. Визначення значущих факторів при оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

3.1.1. Аналіз основних складових системи пожежної безпеки, на які впливає територіальне розміщення пожежних підрозділів

Основним обов'язком служби цивільного захисту є надання допомоги та рятування людей і майна в умовах надзвичайних ситуацій. Надання цих послуг зазвичай починається з аварійно-рятувальних частин, розташованих по всій території, що підлягає захисту. Для забезпечення ефективного захисту підрозділи повинні прибувати на виклик за мінімальний проміжок часу після повідомлення про інцидент і мати достатньо ресурсів для початку пожежно-рятувальних робіт або надання невідкладної медичної допомоги.

Планування розташування аварійно-рятувальної частини повинно враховувати ряд змінних, включаючи важливість часу для реагування на пожежі та медичні надзвичайні ситуації, при яких послідовність надання екстреної медичної допомоги відіграє важливу роль. Час є критичним елементом при повідомленні про надзвичайну ситуацію. Пожежа може поширюватися зі швидкістю, що в багато разів перевищує її об'єм за хвилину. Час є критичним фактором для порятунку людей та застосування вогнегасних речовин для мінімізації втрат. Проміжок часу між займанням і початком гасіння пожежі має прямий зв'язок зі збитками від пожежі. Надання екстреної медичної допомоги також є критично важливим у часі. Рівень виживання при деяких видах надзвичайних ситуацій залежить від швидкого втручання підготовленого персоналу екстреної медичної допомоги. У більшості випадків, щошвидше прибуває підготовлений пожежний рятувальник, то більше шансів на виживання і збереження майна.

Не залежно від швидкості зростання або тривалості горіння всі пожежі проходять однакові стадії розвитку. Одна конкретна стадія виявляється дуже важливою, оскільки вона знаменує собою критичну зміну умов. Вона називається перекиданням вогню. Вимірювання часу до спалаху залежить від часу і температури. Розвиток пожежі відбувається в геометричній прогресії, тобто вогонь подвоює себе щосекунди дозволеного вільного горіння.

Існує ряд факторів, які визначають, коли може статися спалах. До них відносяться: тип палива, розташування палива у приміщенні, розмір приміщення тощо. Оскільки ці фактори змінюються, точний час спалаху

передбачити неможливо. Зазвичай спалах може статися від менш ніж 4 до понад 10 хвилин після початку вільного горіння. Пожежа після перекидання вогню горить сильніше і поширюється швидше, ускладнюючи проблеми пошуку і порятунку у будівлі, а для боротьби з вогнем потрібна більша кількість пожежників.

Існує низка критичних часових рамок, якими пожежна служба може керувати, а також деякі, якими не може, але які впливають на успіх. Час від загорання до виявлення пожежі та повідомлення про неї можна опосередковано контролювати. Цим періодом часу можна керувати, вимагаючи використання автоматичних систем виявлення та/або гасіння пожежі та автоматичного повідомлення на пульт зв'язку оперативно-рятувальної служби територіального підрозділу ДСНС України. В ідеальному світі всі споруди повинні бути обладнані системами автоматичного виявлення та/або гасіння пожеж. Одним з факторів, який допоміг впоратися з цим завданням, є все більш широке використання автоматичних детекторів диму в житлових приміщеннях. Однак, чого не вистачає, так це автоматичного повідомлення на пульт зв'язку ДСНС України [28].

Існує п'ять етапів у загальній послідовності часу реагування пожежної служби. Кожен з п'яти етапів після отримання тривоги описаний нижче:

1. Час диспетчеризації: час, необхідний для отримання та обробки екстреного виклику. Сюди входить (1) отримання виклику, (2) визначення характеру надзвичайної ситуації, (3) перевірка місця виникнення надзвичайної ситуації, (4) визначення ресурсів, необхідних для обробки виклику, та (5) сповіщення підрозділів, які повинні виїхати на виклик.

2. Час прибуття: час від моменту, коли підрозділи підтверджують повідомлення про надзвичайну ситуацію, до початку відліку часу реагування.

3. Час реагування: час, який починається, коли підрозділи знаходяться на шляху до місця надзвичайної ситуації, і закінчується, коли підрозділи прибувають на місце події.

4. Час доступу: час, необхідний бригаді для переміщення від місця зупинки машини до місця виникнення надзвичайної ситуації. Це може включати переміщення у внутрішні приміщення або на верхні поверхи великої будівлі та подолання будь-яких перешкод у доступі до цієї зони.

5. Час розгортання: час, необхідний пожежним підрозділам для розгортання, підключення рукавних ліній, встановлення драбин тощо, а також для підготовки до гасіння пожежі.

Час диспетчеризації - це період, необхідний для отримання сигналу тривоги та відправлення відповідних підрозділів. Час диспетчеризації залежить від способу отримання тривоги та способу обробки диспетчерських систем і дій. Удосконалені системи екстреного виклику 112 та комп'ютеризовані диспетчерські системи можуть мінімізувати час, необхідний для отримання та обробки сигналів тривоги.

Часом прибуття можна певною мірою керувати, покращуючи спосіб зв'язку між диспетчерським центром і пожежною станцією, щоб скоротити час, необхідний для обробки інформації про тривогу.

Час реагування є одним з найбільш керованих сегментів часу в усій послідовності. Це час, який потрібен пожежній машині або кареті швидкої допомоги, щоб дістатися від пожежної частини до місця події (від початку руху до зупинки). Часом у дорозі можна керувати, обираючи стратегічні місця розташування пожежних частин, виходячи з того, скільки часу потрібно для того, щоб дістатися від пожежної частини найефективнішим маршрутом до місця події.

Час доступу можна контролювати за допомогою належного процесу планування перед пожежею, який знайомить пожежників з точками доступу, автоматичними системами управління, місцями розташування панелей оповіщення та маршрутами проходження через будівлю. Використання скриньок для ключів може полегшити розблокування дверей, а співпраця зі службами безпеки на великих об'єктах може полегшити доступ, тим самим скоротивши час доступу.

Час розгортання включає в себе висадку з пожежного автомобіля, протягування та розміщення рукавних ліній, під'єднання рукавних ліній, надягання автономних дихальних апаратів, вхід в будівлю та подачу води. Можливість заощадити час під час розгортання мінімальна, навіть для підготовленого персоналу.

Надання екстреної медичної допомоги (ЕМД) тими, хто першими реагують, також є критично важливим для багатьох видів травм і подій. Якщо у людини стався серцевий напад і серцево-легенева реанімація (СЛР) була розпочата протягом чотирьох хвилин, шанси потерпілого залишити лікарню живим майже в чотири рази вищі, ніж якщо б він не отримав СЛР до закінчення чотирьох хвилин.

Як для пожеж, так і для інших надзвичайних ситуацій з масовими потерпілими, основою для розміщення пожежних частин має бути час, необхідний для доставки адекватних ресурсів до місця виклику з кожної пожежної частини або комбінації пожежних частин. Найефективніший спосіб покращити результати як пожежного, так і медичного реагування на надзвичайні ситуації - це скоротити час реагування. Розуміючи цілі кожного кроку в послідовності реагування, оперативно-рятувальна служба може оцінити свою поточну ефективність відповідно до цих цілей. Ця інформація забезпечує необхідну основу для оцінки вартості скорочення часу реагування на будь-якому з цих етапів.

3.1.2. Визначення можливих шляхів оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів

По суті, кожна громада повинна визначити оптимальний час реагування та час у дорозі. Існує ряд факторів, які впливають на вибір конкретного часу реагування/дороги. При прийнятті рішення щодо

конкретного часу реагування/дороги для громади необхідно враховувати всі відповідні фактори. Фактори, які слід враховувати, включають:

1. Які види послуг надає оперативна служба цивільного захисту?
2. Чи надає служба як пожежні, так і екстрені медичні послуги, чи тільки пожежні? Надання екстреної медичної допомоги є важливим фактором при виборі часу реагування/дороги через необхідність надання первинної допомоги якнайшвидше.
3. Що таке розумний час доїзду для громади? Вибір часу реагування/дороги повинен бути практичним. Короткий час реагування/дороги дозволить відділу надавати послуги за короткий проміжок часу, але вимагатиме більшої кількості аварійно-рятувальних частин.
4. Чи існує припис щодо часу в дорозі на основі типу ризику, небезпеки або попиту? Певні загрози або типи населення можуть вимагати швидшого часу реагування. Стандарти часу реагування для громади, можливо, повинні відображати варіації, засновані на цих типах міркувань. Обраний час повинен забезпечувати баланс між очікуваннями від послуг та фінансовою спроможністю громади забезпечити необхідні підрозділи та ресурси.
5. Який розмір території, що обслуговується, а також тип і кількість наявних ресурсів? Громада повинна враховувати розмір території, що обслуговується, а також тип і кількість наявних ресурсів. Великі сільські райони зазвичай мають довший час реагування/подорожі та менше ресурсів, ніж міські чи приміські райони. Наприклад, пожежна служба та служба екстреної медичної допомоги, яка працює на волонтерських засадах, швидше за все, матиме довший час реагування/подорожі, ніж міська чи приміська служба, яка укомплектована штатним персоналом, що працює на постійній основі. Необхідно враховувати демографічні показники території, що обслуговується, та схеми руху транспорту у пікові періоди, а також попередню пожежну та екстрену медичну активність.
6. Який рівень ризику готова прийняти громада? Коли громада обирає довший час у дорозі, вона готова прийняти більший рівень ризику.

Прийняття більшого рівня ризику може ґрунтуватися на минулому досвіді; наприклад, відомо, що в районах, до яких потрібно довше добиратися, значно менше інцидентів. Вибір часу реагування/подорожі для громади повинен бути зроблений після вивчення всіх факторів. У багатьох випадках це рішення слід приймати після того, як аналіз розпочався і особи, які приймають рішення, мають змогу ознайомитися з результатами аналізу.

Існує кілька способів, якими громада може встановити стандарт часу реагування/дороги. Деякі з них включають:

- використання історичних даних щодо реагування на пожежі та виклики ЕМД;
- попит на послуги;
- рівень допомоги, який громада бажає отримувати;
- рівень допомоги, який громада може собі дозволити.

У деяких випадках аналіз допоможе встановити стандарт після розгляду низки сценаріїв. Міжнародні норми із забезпечення цивільного захисту населення містять часові цілі, які повинні бути встановлені професійними пожежними підрозділами наступним чином: час явки: одна хвилина (60 секунд) для прибуття на виклик. Час реагування на пожежу: чотири хвилини (240 секунд) або менше для прибуття першої пожежної команди на місце пожежі та/або вісім хвилин (480 секунд) або менше для розгортання повного складу за першим сигналом тривоги на місці пожежі. Час реагування першої бригади або вищого рівня екстреної медичної допомоги: чотири хвилини (240 секунд) або менше для прибуття підрозділу з можливостями першого реагування або вищого рівня на випадок екстреної медичної допомоги. Час реагування розширеної системи життєзабезпечення: вісім хвилин (480 секунд) або менше для прибуття розширеного підрозділу життєзабезпечення на місце екстреного медичного інциденту, де послуга надається пожежною службою. У стандарті зазначено, що пожежна служба повинна встановити цільовий показник ефективності на рівні не менше 90 % для досягнення кожного цільового показника часу реагування [28].

У міжнародній практиці застосовуються наступні визначення:

Час відправлення: час від моменту отримання сигналу тривоги на пункті реагування громадської безпеки до моменту, коли диспетчер отримує достатню інформацію і відповідні підрозділи повідомляються про надзвичайну ситуацію.

Час готовності: час, який починається з моменту підтвердження підрозділами повідомлення про надзвичайну ситуацію до точки початку відліку часу реагування.

Час реагування: час, який починається, коли підрозділи знаходяться на шляху до місця надзвичайної ситуації і закінчується, коли підрозділи прибувають на місце події.

При роботі диспетчерської служби нормативні документи вимагають, щоб на 95 % тривог відповідь була надана протягом 15 с, на 99 % тривог - протягом 40 с, а відправка служби екстреного реагування повинна бути завершена протягом 60 с у 95 % випадків.

Після отримання виклику про допомогу пожежна служба виїжджає з першим підрозділом на місце події протягом 3 хв. Після отримання виклику про допомогу пожежна служба виїжджає на місце події протягом 4 хв на 90 % території, що обслуговується. Після отримання виклику про невідкладну медичну допомогу пожежна команда прибуде на місце події протягом 4 хв, а карета швидкої допомоги - протягом 6 хв.

Процес визначення стандартів реагування складається з дев'яти частин:

1) Існуюче розгортання - оцінка поточної конфігурації розгортання та можливостей відомства. Оцінка включає в себе огляд історичного процесу прийняття рішень у відомстві. Чи є причина, чому станції знаходяться в їх нинішньому розташуванні? Яке обладнання було придбано і чому? Чи можна змінити ці минулі рішення?

2) Очікування громади щодо результатів - які поточні очікування громади щодо протипожежного захисту та надання екстрених послуг? Цей результат включає огляд очікуваного реагування на різноманітні пожежні

ризика в громаді; техногенні та природні катастрофи; ЕМД, важкі аварійно-рятувальні роботи, небезпечні матеріали, літаки та аеропорти, а також інциденти на воді та на судах.

3) Оцінка ризиків у громаді - які активи в громаді знаходяться під загрозою? Наприклад, ризик пожежі будівлі можна оцінити використовуючи фактори пожежної безпеки та безпеки життєдіяльності, зокрема швидкість поширення вогню та відповідність нормам безпеки життєдіяльності, щоб визначити класифікацію ризиків. Класи ризику можуть включати низький, помірний та максимальний ризики. У багатьох громадах можна дійти висновку, що більшість зон, віднесених до помірною або типового ризику, складаються з житлових об'єктів. Крім того, можуть бути надані різні відповіді для міських, приміських, сільських або віддалених районів, які визначаються за термінологією перепису населення.

4) Дослідження розподілу - де знаходяться першочергові ресурси?

5) Дослідження концентрації - де концентрація інцидентів і адекватність першого сигналу тривоги або ефективних сил реагування?

6) Історична надійність - чи існує проблема частоти багаторазових викликів, наприклад, нагромадження одночасних викликів у певній зоні або зонах?

7) Дослідження ефективності реагування в минулому - який відсоток відповідності забезпечує існуюча система, виходячи з поточних цілей продуктивності?

8) Попередження та пом'якшення наслідків - чи існують тактики, які можна застосувати для стратегічного впливу на результат подій, що відбуваються? Використання аналізу ризиків і визначення стратегічних заходів може не лише запобігти інциденту, але й мінімізувати його тяжкість, якщо такий інцидент все ж таки станеться.

9) Загальна оцінка - стандарти звітів про охоплення реагування за типами ризиків. Наприклад, «У 90 % усіх інцидентів першочерговий підрозділ повинен прибути протягом 4 хв в дорозі або 6 хв загального

рефлекторного часу. Підрозділ швидкого реагування повинен бути здатним просунути на першу лінію для боротьби з пожежею, розпочати рятувальні роботи або надати базове життєзабезпечення в разі медичних інцидентів. У зоні помірного ризику підрозділ швидкого реагування повинен прибути протягом 8 хв або 10 хв загального часу рефлексії, у 90 % випадків, і бути здатним забезпечити подачу 1500 л/хв для гасіння пожежі або надати допомогу п'ятьом пацієнтам, які потребують невідкладної медичної допомоги».

Деякі громади можуть прийняти кілька прийнятних стандартів часу реагування для різних рівнів ризику в громаді або ж прийняти один єдиний стандарт часу реагування для всіх ризиків. Тут під ризиком розуміється місце, де може бути здійснене реагування, а також характеристики (наприклад, потенціал пожежі, вплив на мешканців) цього місця.

Встановлення декількох нормативів часу реагування/доїзду залежно від рівня ризику означає, що деякі райони будуть охоплені за коротший проміжок часу, ніж інші райони. Єдиний стандарт часу реагування для громади або району, що обслуговується, забезпечить приблизно однаковий рівень початкового реагування для всіх районів громади. Нижче наведені деякі ризики, які слід враховувати при різному часі реагування/доїзду:

- спринклерні та неспринклерні об'єкти: теоретично, повністю забезпечені спринклерними установками об'єкти нерухомості піддаються меншому ризику, ніж не забезпечені ними. Громада може вирішити розмістити пожежні станції ближче до об'єктів без спринклерів, оскільки спринклери здатні автоматично подавати воду на пожежу;

- комерційні об'єкти проти житлових: у цьому випадку громада повинна вирішити, де знаходиться більший ризик. Чи існує більший ризик для комерційної нерухомості? О котрій годині дня ризик є більшим? Чи є ризик більшим у житлових приміщеннях вночі?

- багатоквартирні та односімейні житлові будинки: чи є ризик більшим у багатоквартирних житлових районах, ніж в односімейних житлових

районах? На розташування пожежної станції повинні впливати демографічні фактори. Питання щодо ризиків повинні стосуватися високої небезпеки для життя (тобто потенційних збитків) або високої грошової вартості;

- високий рівень аварійності у порівнянні із низьким рівнем аварійності: громада, яка вирішує надавати різні рівні послуг для різних районів, виходячи з рівня ризику, потребуватиме набагато складнішого дослідження щодо розташування пожежної частини.

Слід зазначити, що більшість наданої інформації стосується кадрових пожежних підрозділів, які працюють цілодобово. Для пожежних підрозділів за викликом та добровільних пожежних формувань час прибуття на виклик, як правило, буде більшим. Це важливо і повинно бути враховано в загальному часі реагування.

Таким чином, встановлено, що основною задачею оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів є створення умов відповідності рівня пожежної небезпеки у кожній точці локальної території функціональним можливостям потенційних пожежних підрозділів при гасінні пожежі за умов мінімізації фінансових витрат на це. Визначено, що основними шляхами для забезпечення такої відповідності є диференційний підхід щодо функціонального забезпечення пожежних підрозділів, урахування умов виїзду та прямування пожежних підрозділів та забезпечення умов нарощування сил та засобів при гасінні масштабних пожеж.

3.2. Розробка моделі територіального розміщення пожежних підрозділів на основі методів геометричного покриття областей

3.2.1. Постановка задачі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Як вже зазначалось вище, просторово район обслуговування окремою пожежно-рятувальною частиною буде мати вигляд багатокутника [44, 74]. Розміри цього багатокутника визначаються відстанями, які може подолати

пожежний автомобіль за нормативний час існуючими в районі автомобільними шляхами комунікацій (Рис. 3.1).

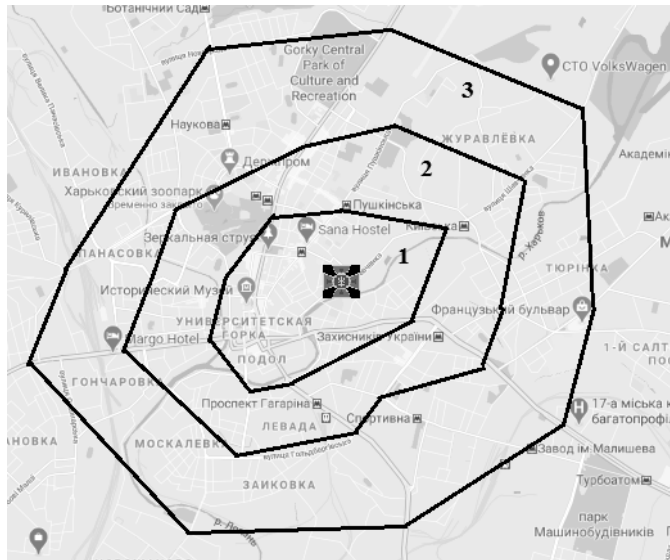


Рис. 3.1. Багатокутна форма району обслуговування ДПРЧ-9 ГУ ДСНС у Харківській області за певний час: 1 – 10 хв; 2 - 20 хв; 3 – 30 хв.

Однак, якщо не обмежуватись одним нормативним часом, то розміри та форма багатокутника буде змінюватись у часі (Рис. 3.1).

Тобто район виїзду окремої пожежно-рятувальної частини у графічному вигляді можна представити як багатокутник $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau))$, де n – кількість пожежно-рятувальних частин на локальній території, що розглядається, $n=1, \dots, N$. Район виїзду у вигляді багатокутника визначається координатами вершин, $m_{F,n}(\tau) = \{X_{F,n,1}(\tau), Y_{F,n,1}(\tau), \dots, X_{F,n,i}(\tau), Y_{F,n,i}(\tau)\}$, які, у свою чергу, залежать від часу τ (рис. 3.2). Слід зазначити, що координати вершин $m_{F,n}(\tau)$ зазначаються відносно центру координатної осі $O_{F,n}$, який співпадає з місцем розміщення пожежно-рятувальної частини.

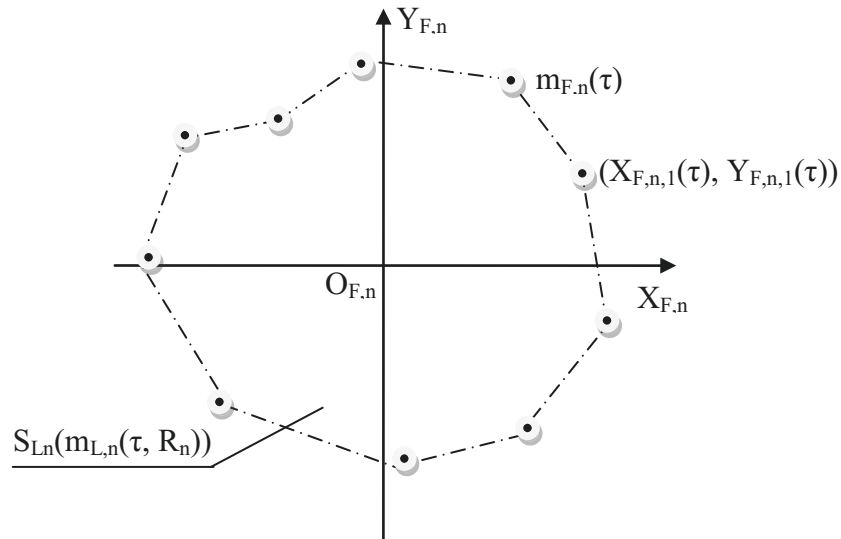


Рис. 3.2. Багатокутник району обслуговування n -ої пожежно-рятувальної частини

При цьому слід зазначити, що пожежно-рятувальна частина знаходиться в межах адміністративного району, міста або області. Якщо межі адміністративного району представити у вигляді багатокутника $S_0(m_0)$, де $m_0 = \{x_{0,1}, y_{0,1}, \dots, x_{0,i}, y_{0,i}\}$ координати його вершин, а початок координат співпадає з однією з вершин та є центром глобальної нерухомої системи координат (Рис. 3.2), то межі району виїзду пожежно-рятувальних частин $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau))$ будуть знаходитись в межах $S_0(m_0)$, тобто $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau)) \in S_0(m_0)$.

Для визначення положення локальних систем координат багатокутників $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau))$ у глобальній системі координат необхідно ввести параметри розміщення цих систем $u_{F,n} = \{x_{F,n}, y_{F,n}\}$.

Також, як зазначалось вище, кожна пожежно-рятувальна частина має різні функціональні спроможності, тому додатково необхідно ввести ваговий показник $R_{F,n}$, який, відповідно до таблиці 2.4, дозволяє визначити кількість сил та засобів, яку може надати відповідно пожежно-рятувальна частина. Якщо брати до уваги існуючі підрозділи ДСНС України, то такий ранг в переважній більшості не може бути більше 4.

Відповідно до зазначеного вище, район виїзду пожежно-рятувальної частини буде позначатись як $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$.

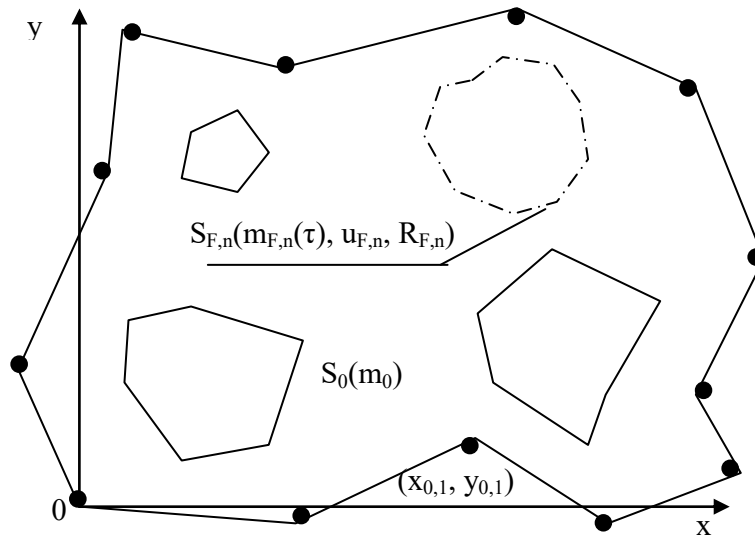


Рис. 3.3. Графічна інтерпретація розміщення районів обслуговування пожежно-рятувальних частин різної функціональної спроможності в межах адміністративного району

Таким чином, якщо порівняти результати ранжування локальної території за рівнями пожежної небезпеки (рис. 2.11) та геометричний опис розміщення районів обслуговування пожежно-рятувальних частин (рис. 3.3), то задача оптимального розміщення районів обслуговування пожежно-рятувальних частин різної функціональної спроможності в межах адміністративного району може бути сформульована наступним чином:

- необхідно здійснити покриття області $S_0(m_0)$ об'єктами $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$ таким чином, щоб їх кількість була мінімальною [26]:

$$\min_w N(m_{F,1}(\tau), u_{F,1}, V_{F,1}, \dots, m_{F,N}(\tau), u_{F,N}, V_{F,N}); \quad (3.1)$$

при цьому область припустимих рішень W може бути представлена за допомогою наступних обмежень:

- розміри об'єктів $S_{F,n}$ змінюються в залежності від τ , тобто $S_{F,n}(\tau)$ з кроком $\Delta\tau=5$ хв та початковим часом $\tau_0 = 5$ хв;

$$\tau = \tau_0 + k\Delta\tau, \quad (3.2)$$

- в кожній точці області $S_0(m_0)$ з рівнем пожежної небезпеки $R_{L,n} = \{x_{L,n}, y_{L,n}\}$, з урахуванням її покриття одним або декількома об'єктами $S_{F,n}$, повинна виконуватись умова:

$$\sum_{n=1}^N R_{F,n}(\tau) \geq R_{L,n}(\tau), \quad (3.3)$$

- нарощування сил та засобів в зоні гасіння пожежі $\sum_{n=1}^N R_{F,n}(\tau)$ може відбуватись поетапно з кроком в часі $\Delta\tau=5$ хв, з початковим часом $\tau_0 = 5$ хв та $R_{F,n}(\tau_0) = 2$;

- площі взаємного перетину об'єктів покриття з початковим часом $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau_0), u_{F,n}, R_{F,n})$ мають бути мінімальними [30]:

$$S_{F,n}(m_{F,n}(\tau_0), u_{F,n}) \cap S_{F,h}(m_{F,h}(\tau_0), u_{F,h}) \rightarrow \min; \quad (3.4)$$

$$n = 1, \dots, N-1; h = j+1, \dots, N;$$

- мінімум площі перетину об'єктів покриття $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$ та $cS_0(m_{cS_0}, u_{cS_0})$ – доповнення області $S_0(m_0)$ до простору R^2 :

$$S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}) \cap cS_0(m_{cS_0}, u_{cS_0}) \rightarrow \min; . \quad (3.5)$$

$$n = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

Аналіз загальної моделі оптимального розміщення пожежно-рятувальних підрозділів з урахуванням обмежень спеціального виду свідчить про те, що задача (3.1)÷(3.5) належить до класу задач комбінаторної

оптимізації, тобто для одержання її розв'язання необхідно здійснити перебір припустимих варіантів покриття, причому розв'язанням буде той варіант, який забезпечує мінімум цільової функції (3.1).

3.2.2. Метод вирішення задач територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Метод розв'язання поставленої задачі складається з двох етапів. На першому етапі проводиться визначення області розміщення пожежних підрозділів з виконанням умови (3.3), на другому етапі розв'язується задача оптимізації, тобто здійснюється мінімізація цільової функції (3.1) з урахуванням інших обмежень даної задачі.

Для визначення допустимої області розміщення пожежних підрозділів приймемо наступні умови:

- точки області $S_0(m_0)$ з рівнем пожежної небезпеки $R_{L,n} = \{x_{L,n}, y_{L,n}\}$ мають визначенні та незмінні координати $\{x_{L,n}, y_{L,n}\}$;

- оскільки нарощування сил та засобів для гасіння пожежі відбувається поступово з інтервалом часу $\Delta\tau$, відповідно для кожної точки з рівнем $R_{L,n}$ можна побудувати серію багатокутних об'єктів $S_{L,n}(m_{L,n}(\tau, R_n))$ де $R_n = I, \dots, R_{L,n}$ (рис. 3.4), які представляють собою граничну область розміщення пожежних підрозділів. Відповідно для кожної окремої області повинна виконуватись умова:

$$\sum_{n=1}^N R_{F,n} \geq R_n, R_n = I, \dots, R_{L,n} \quad (3.6)$$

Очевидно, що пріоритетом розміщення пожежних підрозділів будуть області перетину:

$$P_j(x_j, y_j) \in \bigcap_{n=1}^N S_{L,n}(m_{L,n}(\tau, R_n)), j=1, \dots, N_j \quad (3.7)$$

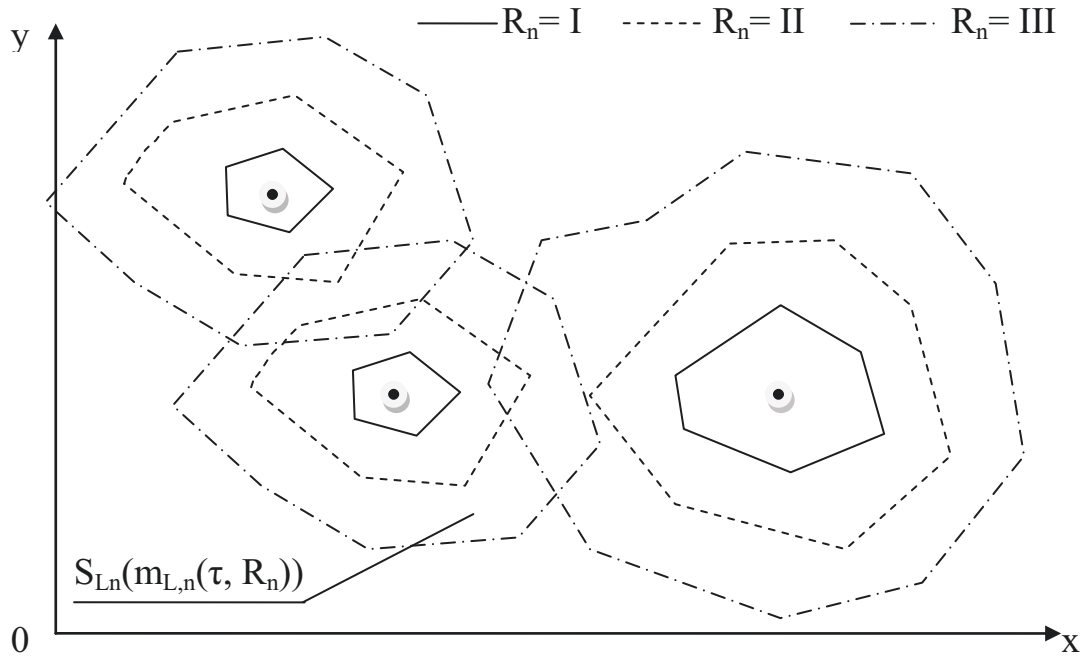


Рис. 3.4. Графічна інтерпретація допустимих областей розміщення пожежних підрозділів для виконання умови (3.3)

Відповідно рішенням першого етапу знаходження допустимих областей розміщення пожежних підрозділів є виконання умов (3.6) та (3.7).

Для знаходження глобального екстремуму цільової функції (3.1) побудуємо дерево рішень, яке має наступні властивості:

1) на кожному рівні дерева рішень мають знаходитись координати точок $P_j(x_j, y_j)$, $j=1, \dots, N_j$, яким мають належати параметри розміщення локальних (рухомих) систем координат $X_{F,n}O_{F,n}Y_{F,n}$ об'єктів покриття $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$ відносно глобальної системи координат;

2) кількість рівнів дерева рішень дорівнює кількості об'єктів покриття N , тобто є змінною та визначається в процесі розв'язання задачі покриття;

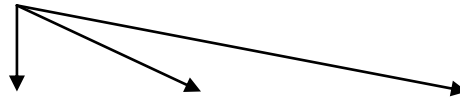
3) збільшення кількості рівнів дерева рішень припиняється за умови виконання обмежень (3.1)÷(3.5);

4) для відтинання безперспективних гілок дерева рішень використовуються відповідне правило - параметри розміщення декількох об'єктів $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$, тобто пожежних підрозділів, не можуть одночасно належати одній точці $P_j(x_j, y_j)$;

5) глобальний екстремум цільової функції (3.1) визначається після аналізу всіх припустимих варіантів покриття заданої області.

Таким чином, дерево рішень для розв'язання задачі (3.1)÷(3.5) має наступний вигляд:

$$S_{c,1}(m_{c,1}, u_{c,1}) : P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_{N\xi}(x_{N\xi}, y_{N\xi});$$



$$S_{c,2}(m_{c,2}, u_{c,2}) : P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_{N\xi}(x_{N\xi}, y_{N\xi});$$

⋮

$$S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i}) : P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_{N\xi}(x_{N\xi}, y_{N\xi});$$

⋮

$$S_{c,N}(m_{c,N}, u_{c,N}) : P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_{N\xi}(x_{N\xi}, y_{N\xi});$$

Рис. 3.5. Дерево рішень для знаходження глобального екстремуму цільової функції (3.1)

Верхня оцінка кількості гілок вищенаведеного дерева рішень (оцінка складності), яку необхідно проаналізувати для знаходження глобального екстремуму цільової функції, дорівнює:

$$O = (N_\xi)^N; \quad (3.8)$$

де N_ξ – кількість точок $P_\xi(x_\xi, y_\xi)$ у під областях $v_\kappa(m_\kappa, u_0)$,
 $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$, причому $N_\xi \geq N_\kappa$;
 N – кількість об'єктів покриття.

Для відтинання безперспективних гілок дерева рішень (рис. 3.5) використовувались правила, розроблені в роботі [42].

Правило 1. Параметри розміщення об'єктів $S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i})$ та $S_{c,h}(m_{c,h}, u_{c,h})$, $i \neq h$, $i, h \in \{1, \dots, N\}$, не можуть одночасно належати одній точці $P_\xi(x_\xi, y_\xi)$, $\xi \in \{1, \dots, N_\xi\}$.

Правило 2. Якщо деякий варіант покриття (рис. 3.6) заданої області $S_0(m_0, u_0)$ не містить об'єктів $S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i})$, $i = 1, \dots, N$, що належать підобластям з пріоритетом $g_l(m_l, u_0) \in G$, $l = 1, \dots, N_l$, то такий варіант покриття при визначенні глобального екстремуму цільової функції (3.1) не розглядається.

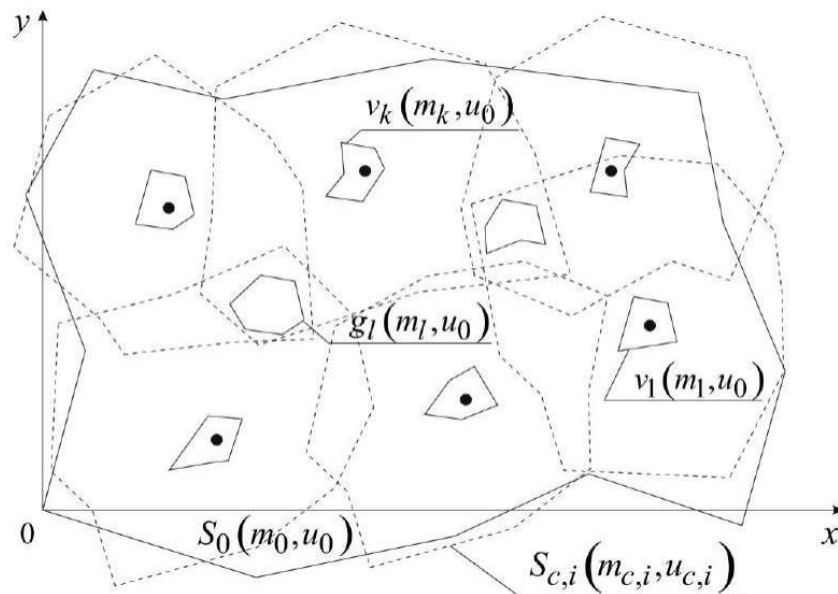


Рис. 3.6. Геометрична інтерпретація безперспективної гілки дерева рішень

Очевидно, що важливим етапом побудови дерева рішень та розв'язання задачі (3.1)÷(3.5) є оцінка виконання обмежень (3.4) та (3.5), оскільки це дозволяє зупинити формування нових рівнів дерева рішень та визначити кількість об'єктів покриття $S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i})$, $i = 1, \dots, N$, на відповідній гілці дерева [23].

Для того, щоб оцінити належність підобластей $v_\kappa(m_\kappa, u_0)$, $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$, об'єктам покриття застосовуються наступні способи:

– побудова ϕ -функції [80] для об'єктів $\bigcup_{i=1}^N S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i})$ та $v_\kappa(m_\kappa, u_0)$, $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$, так, як це наведено на рис. 3.7.

Якщо $\Phi \left(m_\kappa, \bigcup_{i=1}^N S_{c,i}, u_0, \bigcup_{i=1}^N S_{c,i} \right) \geq 0$, $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$, то

обмеження (3.5) виконано.

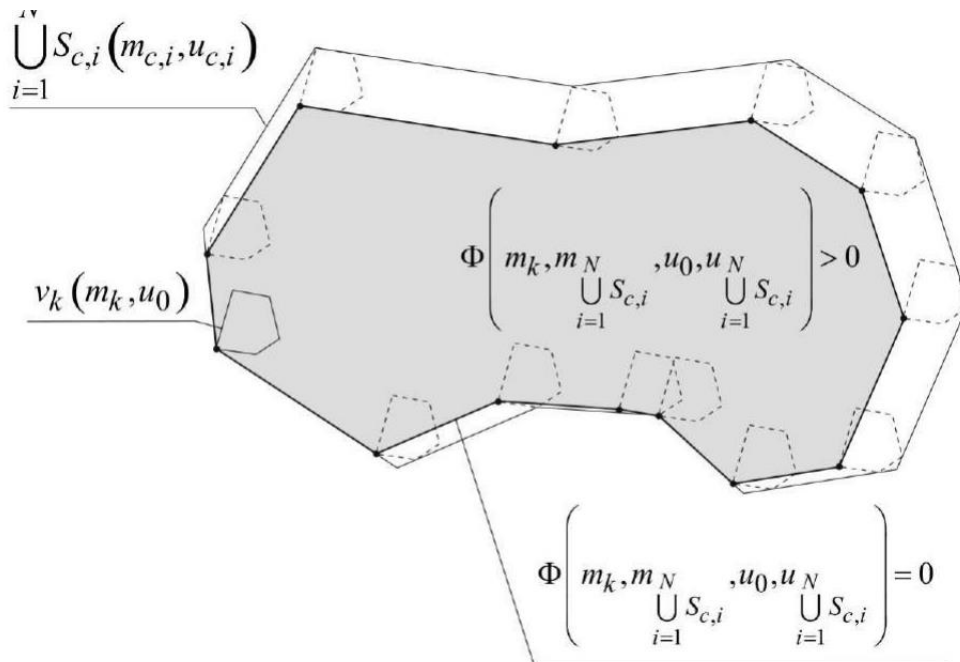


Рис. 3.7. Геометрична інтерпретація обмеження (3.5)

- побудова множини точок $V_{\kappa,\psi}(x_\psi, y_\psi) \in \text{Int}v_\kappa(m_\kappa, u_0)$, $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$, $\psi = 1, 2, \dots$. Для виконання обмеження (3.5) необхідно, щоб враховувалися наступні умови:

$$V_{\kappa,\psi}(x_\psi, y_\psi) \in \bigcup_{i=1}^N S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i}); \psi = 1, 2, \dots; \quad (3.9)$$

$$(x_{\kappa,b}, y_{\kappa,b}) \in \bigcup_{i=1}^N S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i}); b = 1, \dots, n_\kappa. \quad (3.10)$$

У виразі (3.10) $(x_{\kappa,b}, y_{\kappa,b})$ – координати вершин підобласті $v_\kappa(m_\kappa, u_0)$, $\kappa = 1, \dots, N_\kappa$. Для того, щоб оцінити виконання умов (3.9) та (3.10), застосовується спосіб, наведений на рис. 3.8.

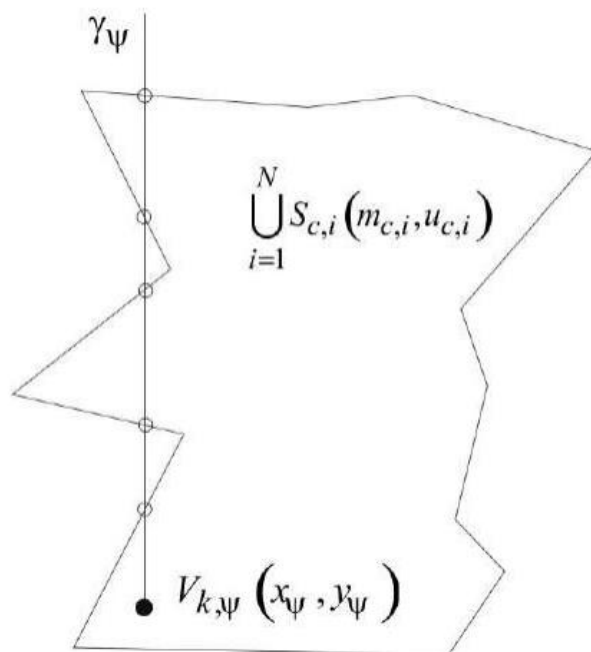


Рис. 3.8. Належність точки неопуклому багатокутнику

Даний спосіб полягає у тому, що з відповідної точки проводиться промінь та обчислюється кількість точок перетину променя та границі

неопуклого багатокутника. Якщо кількість точок є непарною, то дана точка належить багатокутнику.

Аналогічний спосіб використовується для перевірки обмеження (3.5).

Запропонований метод геометричного моделювання дозволяє вирішувати ряд задач оптимізації функціонування пожежної охорони окремого регіону чи держави в цілому. Однак окремі задачі мають свої особливості.

При перевірці правильності розміщення пожежних підрозділів існують умови стаціонарного розміщення об'єктів $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$ з визначеними параметрами $m_{F,n}(\tau)$, $u_{F,n}$ та $R_{F,n}$. У цьому випадку визначення екстремуму цільової функції (3.1) не відбувається, а проводиться пошук областей, де не виконується умова (3.3). Ці області є потенційно небезпечними та потребують вжиття додаткових заходів з підвищення рівня пожежної безпеки.

При оптимальному розміщенні пожежних підрозділів у міській забудові алгоритм вирішення задачі співпадає з розглянутим вище із пошуком екстремуму цільової функції (3.1) за відповідних додаткових умов (3.3) – (3.7). Однак при цьому виникає обмеження, пов'язане із неможливістю розміщення пожежного підрозділу у довільній точці. При цьому необхідно враховувати вид прилеглої забудови, комунікації, наявність вільного місця та додаткові параметри. За цих умов існує два підходи до вирішення цієї задачі. Один з підходів полягає в урахуванні додаткових умов на розміщення пожежних підрозділів у певному переліку можливих місць. Такий підхід нами розглянуто вище, що дозволяє суттєво скоротити кількість гілок дерева рішень. Другий підхід полягає у визначенні пріоритетних областей розміщення пожежних підрозділів, а конкретне місце визначається головним архітектором міста. В якості переваги такого підходу є гнучкість до врахування всіх існуючих обмежень та суперечок.

Третім видом задач є розміщення Центрів безпеки громадян об'єднаними територіальними громадами. На таких територіях відсутня

щільна забудова і пожежні підрозділи можна розміщувати у зручному місці. Тобто пошук екстремуму цільової функції (3.1) проводиться із визначенням припустимих областей розміщення пожежних підрозділів, а вже територіальна громада визначає конкретне місце розбудови. Однак при цьому слід враховувати, що у Центрах безпеки громадян одночасно розміщуються і підрозділи поліції та швидкої медичної допомоги. Тому доцільним є співставлення припустимих областей розміщення для кожного виду оперативного підрозділу в межах одного Центру безпеки громадян.

Таким чином, сформульована задача територіального розміщення пожежних підрозділів з урахуванням їх функціональних можливостей. Цільовою функцією такої задачі є мінімізація кількості пожежних підрозділів із забезпеченням можливості прибуття пожежних підрозділів у такій кількості, щоб реалізувати успішне гасіння пожежі на об'єкті. Додатковими умовами розв'язання задачі територіального розміщення пожежних підрозділів є мінімізація областей перекриття районів їх виїзду та поетапність нарощування сил та засобів на гасіння пожежі.

Розроблений метод оптимального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який враховує рівні пожежних ризиків об'єктів чи локальних територій. Мінімізація кількості пожежних підрозділів відбувається шляхом зниження площі перетину районів обслуговування підрозділів та співставлення рівня пожежної небезпеки об'єктів із функціональною спроможністю всіх пожежних підрозділів, які можуть бути залучені для гасіння пожежі у нормований час. В якості обмеження розглядається умова поетапного нарощування сил та засобів на гасіння пожежі. Запропонований метод дозволяє вирішувати задачі оптимального розміщення пожежних підрозділів у міській забудові, в районах місцевих територіальних громад та проводити перевірку якості вже розміщених підрозділів.

3.3. Оцінка впливу інтенсивності руху пожежних автомобілів на розміри зони обслуговування

3.3.1. Розробка математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями

Першочерговим етапом є визначення основних характеристик, що впливають на інтенсивність руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями.

На швидкість руху автомобілю по дорозі впливає стан покриття транспортної мережі. З метою усереднення результатів стан дорожнього покриття можна розбити на три категорії. Приймається, що на асфальтованих дорогах міжнародного, державного, регіонального та місцевого рівня транспортний засіб може рухатись зі швидкістю, відповідно до його технічних характеристик. На асфальтованих дорогах селищного рівня швидкість руху автотранспорту становить 90 % від його технічних характеристик. На ґрунтових дорогах швидкість руху автотранспорту - 70% від його технічних характеристик [138]. Відповідно коефіцієнт, що враховує вплив стану дорожнього покриття k_{surf} складає [32]:

$$k_{surf} \in \begin{cases} k_{surf}^{h.way} = 1 \\ k_{surf}^{track} = 0,9 \\ k_{surf}^{d.road} = 0,7 \end{cases}, \quad (3.11)$$

де $k_{surf}^{h.way}$ - коефіцієнт впливу дорожнього покриття асфальтованих доріг міжнародного, державного, регіонального та місцевого рівнів; k_{surf}^{track} - коефіцієнт впливу дорожнього покриття асфальтованих доріг селищного рівня; $k_{surf}^{d.road}$ - коефіцієнт впливу дорожнього покриття ґрунтових доріг.

На швидкість руху автотранспорту також впливає щільність трафіку автотранспорту маршрутом руху. Щільність трафіку визначається шириною

дороги та кількістю дорожніх стрічок [139]. В якості граничної умови обрано кількість автомобілів на автошляху, що створюють затор $n_{\text{auto}}^{\text{jam}}$. Відповідно коефіцієнт, що враховує пропускну здатність дорожньої мережі k_{traffic} складає:

$$k_{\text{traffic}} = 1 - \frac{n_{\text{auto}}}{n_{\text{auto}}^{\text{jam}}}, \quad (3.12)$$

де $n_{\text{auto}}^{\text{jam}}$ – мінімальна кількість автотранспорту на шляху, при якому створюється затор; n_{auto} – кількість автотранспорту на шляху в момент часу, що розглядається.

Також на інтенсивність руху автотранспорту впливає наявність світлофорів по маршруту руху. При цьому визначальними є два показники – час дозволяючого сигналу світлофора τ та загальний час циклу світлофору T [140]. Відповідно коефіцієнт, що враховує вплив світлофорів на інтенсивність руху k_{light} складає:

$$k_{\text{light}} = \begin{cases} \tau/T, n_{\text{light}} \geq 1 \\ 1, n_{\text{light}} = 0 \end{cases}, \quad (3.13)$$

де n_{light} – кількість світлофорів.

Узагальнюючи представлені результати (3.11)-(3.13) отримаємо математичну модель інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками [32]:

$$v_f = v_{\text{tech}} \cdot (k_{\text{surf}} \cdot k_{\text{traffic}} \cdot k_{\text{light}}), \quad (3.14)$$

де v_f – фактична швидкість руху пожежного автомобіля; v_{tech} – швидкість руху пожежного автомобіля за технічними характеристиками.

3.3.2. Перевірка працездатності математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів

З використанням розробленої моделі (3.14) проведено розрахунок середньої швидкості руху пожежного автомобіля у денний та нічний час для трьох категорій населених пунктів – обласні центри, міста районного значення, селища. При розрахунках врахована різниця завантаження дорожніх мереж у денний та нічний час. Враховано, що в селищах відсутні світлофори. Результати розрахунків для пожежних автомобілів з $v_{tech} = 80$ км/год представлено в табл. 3.1. З метою зручності інтерпретації, отримані результати додатково представлені у графічному вигляді (рис. 3.9).

Таблиця 3.1. - Середня швидкість пожежного автомобіля на автошляхах з різними характеристиками

Клас	Населені пункти	v_f , км/год	
		День	Ніч
I	м. Харків	37	78
	м. Одеса	32	72
	м. Дніпро	41	76
II	м. Чугуїв	60	69
	м. Зміїв	62	71
	м. Ізюм	59	65
III	с. Васищево	35	36
	с. Манченки	37	38
	с. Циркуни	38	38

З табл. 3.1 видно, що навантажений денний трафік в обласних центрах суттєво знижує середню швидкість руху пожежних автомобілів, яка падає на 35-40 % у порівнянні з нічним періодом. У той же час для таких міст із широкополосними дорогами у нічний час є найбільша швидкість руху, яка на 5-7 % вища ніж у містах районного значення та на 30 % вища ніж у селищах.

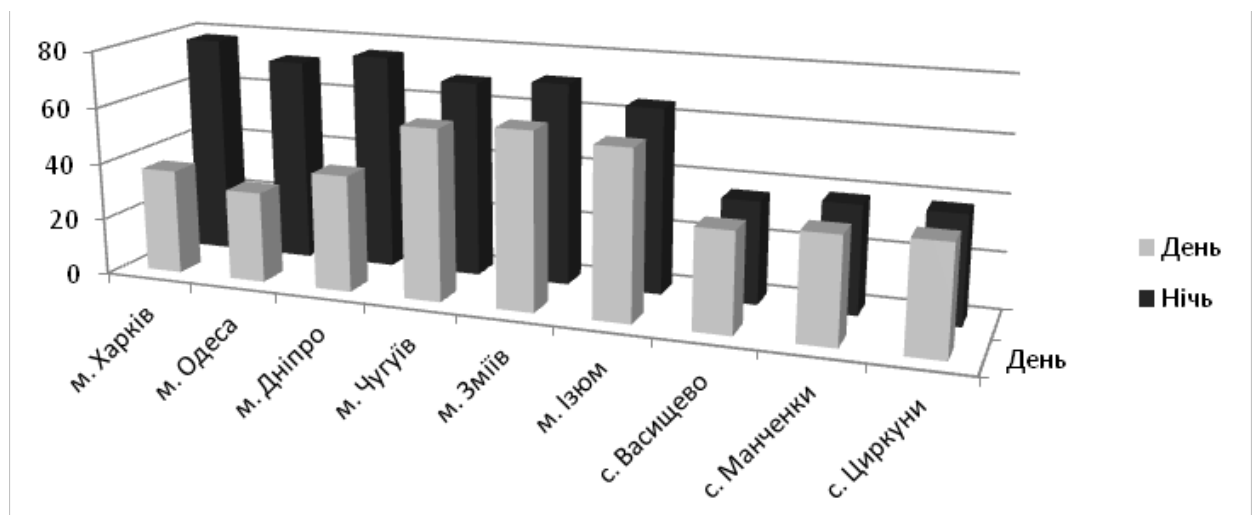


Рис. 3.9. Розподіл середньої швидкості руху пожежного автомобіля при різних дорожніх умовах

При цьому у денний час максимальна швидкість руху пожежного автотранспорту у містах районного значення на 45-50 % більша ніж у обласних центрах та селищах (рис. 3.9). Це пояснюється тим, що такі міста мають хороше покриття доріг із низьким завантаженням автотранспорту.

З порівняльного аналізу результатів розрахунків чітко видно є кластеризація даних щодо швидкості руху пожежного автотранспорту. Тобто характер населеного пункту має визначальну роль при визначенні середньої швидкості руху пожежного автотранспорту.

При оцінці часу прямування пожежного підрозділу до місця пожежі оперування однаковою середньою швидкістю руху для будь-яких умов та характеристик транспорту призводить до суттєвих похибок. Запропонована математична модель інтенсивності руху пожежних автомобілів

транспортними комунікаціями дозволяє врахувати основні відмінності транспортних комунікацій в обласних центрах, містах районного значення та селищах. Математична модель (3.14) побудована за принципом урахування корегуючих коефіцієнтів до початкової швидкості руху пожежного автомобіля без додаткових перешкод.

Результат розрахунків середньої швидкості пожежного автомобіля в різних умовах транспортної комунікації (рис. 3.9) показав, що добовий розподіл швидкості для селищ та міст районного значення несуттєвий, оскільки відсутні пікові навантаження на транспортні комунікації у денний час. При цьому середня швидкість автомобіля в обласних центрах у нічний час є максимальною, оскільки за рахунок високої якості транспортних комунікацій у цей період автотранспорт може реалізувати увесь свій потенціал.

Таким чином, розроблено математичну модель інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками. Модель враховує швидкість автомобілю за технічними параметрами, пропускну здатність автомережі, стан покриття доріг та наявність керуючих світлофорів. Отримана модель дозволяє уточнювати середню швидкість руху пожежного автотранспорту при прямуванні на пожежу транспортними мережами різного стану. Розроблена математична модель дозволяє диференціювати середню швидкість руху автотранспорту в залежності від тактико-технічних характеристик. Таким чином, у моделі враховано два блоки параметрів – характеристики території обслуговування та стан пожежної техніки.

Перевірено працездатність розробленої математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками. Розрахунок середнього часу прямування автотранспорту показав, що обласні центри мають найбільшу різницю швидкостей руху у денний та нічний періоди, яка досягає 40 %. При цьому в таких містах спостерігається найбільша нічна швидкість руху, яка лише на

5-7% менша від максимального значення, встановленого технічними характеристиками пожежного автомобіля. Також розрахунки показали, що в містах районного значення та селищах різниця між денним та нічним періодами несуттєва і становить 1-3%, що пояснюється низькою щільністю автомобільного потоку транспортними комунікаціями. Результати розрахунків та їх аналіз підтвердили працездатність розробленої математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками.

Висновки до розділу 3

1. Установлено, що основною задачею оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів є створення умов відповідності рівня пожежної небезпеки в кожній точці локальної території функціональним можливостям потенційних пожежних підрозділів при гасінні пожежі за умов мінімізації фінансових витрат на це. Визначено, що основними шляхами для забезпечення такої відповідності є диференційний підхід щодо функціонального забезпечення пожежних підрозділів, урахування умов виїзду та прямування пожежних підрозділів і забезпечення умов нарощування сил та засобів при гасінні масштабних пожеж.

2. Сформульована задача територіального розміщення пожежних підрозділів з урахуванням їх функціональних можливостей, цільовою функцією якої є мінімізація кількості пожежних підрозділів із забезпеченням можливості прибуття пожежних підрозділів у такій кількості, щоб реалізувати успішне гасіння пожежі на об'єкті. Розроблений метод оптимального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який враховує рівні пожежних ризиків об'єктів чи локальних територій. Мінімізація кількості пожежних підрозділів відбувається шляхом зниження площі перетину районів обслуговування підрозділів та співставлення рівня пожежної небезпеки об'єктів із функціональною

спроможністю всіх пожежних підрозділів, які можуть бути залучені для гасіння пожежі у нормований час.

3. Розроблено математичну модель інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками. Модель враховує швидкість автомобілю за технічними параметрами, пропускну здатність автомережі, стан покриття доріг та наявність керуючих світлофорів. Перевірено працездатність розробленої математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками. Розрахунок середнього часу прямування автотранспорту показав, що обласні центри мають найбільшу різницю швидкостей руху у денний та нічний періоди, яка досягає 40 %. При цьому в таких містах спостерігається найбільша нічна швидкість руху, яка лише на 5-7% менша від максимального значення, встановленого технічними характеристиками пожежного автомобіля.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОД СУКУПНОГО РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

У даному розділі розроблено програмну реалізацію методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Для цього розроблена структура та програмна реалізація програмного комплексу для методу сукупного розміщення пожежних підрозділів.

Проведено перевірку достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів.

Проведено перевірку ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

Розроблено алгоритм роботи методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

Розроблені практичні рекомендації щодо використання методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

Основні результати розділу викладені у публікаціях [24, 26, 29, 33, 35-41].

4.1. Розробка програмного комплексу для практичної реалізації методу сукупного розміщення пожежних підрозділів

4.1.1. Розробка структури програмного комплексу для практичної реалізації методу сукупного розміщення пожежних підрозділів

Одним із способів практичної реалізації математичної моделі інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями в роботі запропонована структура геоінформаційних систем управління

пожежними підрозділами різної функціональної спроможності. Така структура повинна мати пошарову структуру інтегрованих карт.

Нижче проведемо обґрунтування необхідних шарів (рис. 4.1) [33].



Рис. 4.1. Структура геоінформаційних систем управління пожежними підрозділами різної функціональної спроможності

Базою побудови GIS-сервісу повинна бути географічна мапа місцевості із зазначенням висот місцевості, водних перешкод та інших географічних особливостей.

Наступним шаром повинна бути транспортно-комунікаційна мережа із зазначенням шляхів руху автотранспорту. Необхідною інформацією є стан трафіку транспортної мережі та її пропускну здатності. В залежності від обраного програмного комплексу ця інформація може бути інтегрована або в загальний шар транспортної мережі, або в якості окремого шару, як представлено на рис. 4.1.

Обов'язковим шаром є розміщення забудов. Доцільно зробити цей шар у форматі 3D, оскільки висотна характеристика будівель є важливою

інформацією для управління процесом гасіння пожежі. Мапа забудови повинна мати градування локальної території за рівнем пожежної небезпеки для встановлення пріоритетних об'єктів пожежної охорони, як це проілюстровано в роботі [23]. Зручніше таку інформацію представляти у вигляді окремого шару, оскільки шари із забудовами вже створені попередніми розробниками, як це розглядалось вище, і їх можна використовувати у готовому вигляді [118-120]. Однак, доцільним є активізація позначок об'єктів, що представляють підвищений пожежний ризик, для надання додаткової інформації про об'єкт при активації. До переліку такої інформації можуть входити контакти керівника об'єкту, диспетчера або управляючої установи, напруга електроживлення, поверховий план об'єкту тощо (рис. 4.2) [33].



Рис. 4.2. Макет інтерактивного вікна характеристики об'єкту

На шар забудови повинен накладатись шар із зазначенням місця виникнення пожежі. Це місце може бути прив'язане до конкретного об'єкту

або розміщено у довільному місці простору. Позначки пожеж повинні бути інтерактивними для надання необхідної інформації при активації (рис. 4.3). Важливою інформацією є назва та основні характеристики об'єкту, де сталася пожежа, можливі додаткові небезпеки, які частини надають техніку за відповідним номером виклику тощо.

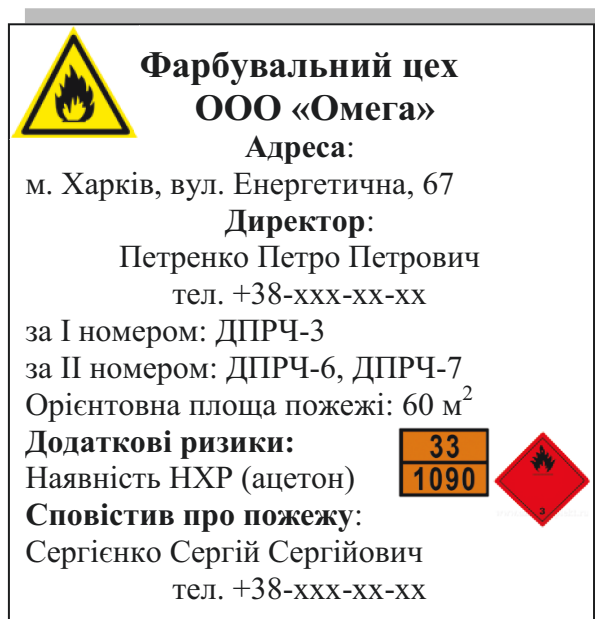


Рис. 4.3. Макет інтерактивного вікна позначки пожежі

Наступним шаром повинна бути мапа розміщення пожежних депо із зазначенням наявності спеціальної техніки в них. При цьому така мапа повинна мати інтерактивний характер для можливості варіювання як місцем розміщення підрозділу при проведенні проектування забудови локальної території, так і якісного та кількісного складу підрозділу. Оптимізація розміщення пожежних підрозділів проводиться згідно методики, розробленої в роботі [23]. Однак, можливі варіанти територіального розміщення не повинні суперечити нормативному документу - Постанові КМУ від 27 листопада 2013 р. № 874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-

територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)».

Кожна розміщена на шарі позначка пожежно-рятувальної частини є інтерактивною та при активації надає необхідну оперативну інформацію, наприклад, як представлено на рис. 4.4.

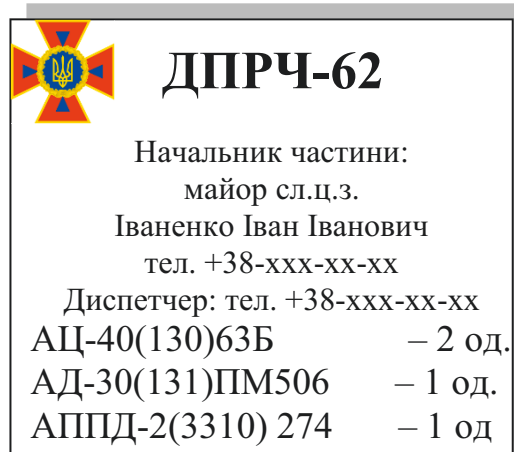


Рис. 4.4. Макет інтерактивного вікна позначки пожежно-рятувальної частини

Завершальним шаром повинна бути мапа маршруту руху пожежного підрозділу від пожежної частини до місця виникнення пожежі. Цей шар будується вже безпосередньо програмним комплексом GIS із використанням всього комплексу наданої бази даних.

Процедура роботи із запропонованою структурою геоінформаційної системи управління пожежно-рятувальними підрозділами полягає у наступному:

1. Оперативний диспетчер, отримавши повідомлення про пожежу, позначає це місце на інтерактивній карті GIS додатку. Програма автоматично визначає пожежно-рятувальний підрозділ, до району виїзду якого відноситься ця пожежа. Диспетчер погоджує та активізує цей виклик для контролю хибного виклику.

2. Під час збору та виїзду пожежно-рятувального підрозділу до місця пожежі диспетчер додає до програми додаткову інформацію, яка може бути корисною. Мобільний GIS додаток у керівника пожежно-рятувального

підрозділу автоматично визначає найшвидший маршрут руху до місця пожежі з урахування дорожньої ситуації та трафіку. Пожежно-рятувальний підрозділ вже на етапі слідування отримує актуальну інформацію на мобільний GIS додаток та має змогу ознайомитись з особливостями об'єкту.

3. При необхідності виклику додаткових сил та засобів керівник гасіння пожежі, який прибув на місце пожежі, та організований їм штаб за допомогою GIS додатку визначають, який вид аварійно-рятувальної техніки та її кількість є у найближчих пожежно-рятувальних частинах. GIS додаток допомагає керівнику визначити, з якої пожежно-рятувальної частини найшвидше прибуде необхідна техніка з урахуванням дорожньо-транспортної мережі та трафіку.

4. При виникненні одночасно декількох пожеж в різних місцях локальної території інформація про наявність аварійно-рятувальної техніки в пожежно-рятувальних частинах оновлюється та відповідає реальній ситуації на момент виклику того чи іншого підрозділу.

Для якісного управління гасінням потужної пожежі керівник повинен керувати пожежно-рятувальними підрозділами та відстежувати їх розміщення у режимі реального часу. Крім того, обов'язковою є координація дій штабу по гасінню пожежі з оперативно-диспетчерською службою територіального органу ДСНС. Це дозволяє отримувати всім органам управління актуальну інформацію та приймати вірні управлінські рішення. Ці умови вимагають використовувати для побудови геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами технологічні схеми віддаленого доступу на основі SQL серверів. На сьогодні саме ці схеми побудови GIS є найрозповсюдженішими і їх використовують майже всі провідні розробники, як це показано вище. Використання технологій віддаленого доступу дозволить збирати інформацію до GIS з різних джерел (рис. 4.1). Це може бути додаткова інформація про об'єкт чи пожежу від оперативно-диспетчерської служби, інформація, зібрана під час проведення

розвідки на пожежі, інформація про розташування та переміщення пожежно-рятувальної техніки у режимі реального часу та інше.

Аналіз різних GIS платформ показав, що найбільш потужний та універсальний інструментарій для побудови геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами має програмний комплекс ArcGIS. Це продемонстровано деякими розробниками, які вже намагаються використовувати ArcGIS платформу для цілей цивільного захисту та пожежної безпеки [29].

Побудована вище структура є основою для програмної розробки мобільного додатку для використання як на персональних комп'ютерах в оперативно-диспетчерських центрах, так і на переносних пристроях у штатбах по ліквідації пожежі та у керівників пожежно-рятувальних підрозділів, що задіяні на гасіння пожежі.

Обладнання аварійно-рятувальної техніки трекерами із GPS зв'язком дозволить додатково розширити можливості GIS платформ щодо керування пожежними підрозділами. Це дозволить відстежувати рух пожежного автотранспорту, оперативно перенаправляти їх у необхідне місце та визначати час прибуття підрозділу до місця виклику.

Однак, залишається поза увагою питання інтеграції розробленої геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами до загальної системи цивільного захисту держави. Це питання потребує додаткового дослідження.

4.1.2. Програмна реалізація методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Програмна реалізація методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності побудована в програмному просторі DELPHI з використанням геоінформаційних систем (GIS). Архітектура геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами

використовує стандартні розширення для SQL серверів та включає в себе щонайменш 9 шарів, деякі з яких мають інтерактивні зв'язки із додатковими базами даних [41].

Метод територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності базується на моделях просторового геометричного моделювання. Цільовою функцією такої задачі є мінімізація кількості пожежних підрозділів із забезпеченням можливості прибуття пожежних підрозділів у такій кількості, щоб реалізувати успішне гасіння пожежі на об'єкті. Додатковими умовами розв'язання задачі територіального розміщення пожежних підрозділів є мінімізація областей перекриття районів їх виїзду та поетапність нарощування сил та засобів на гасіння пожежі.

Розв'язання задачі комбінаторної оптимізації проводилось за допомогою дерева рішень з використанням способів та алгоритмів автоматизованого розв'язання.

З метою перевірки достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях різної щільності населення та промислово-технічного навантаження було розроблено автоматизований програмний комплекс Fire Emergency Department Direction (FEDDIR) (рис. 4.5) [35].

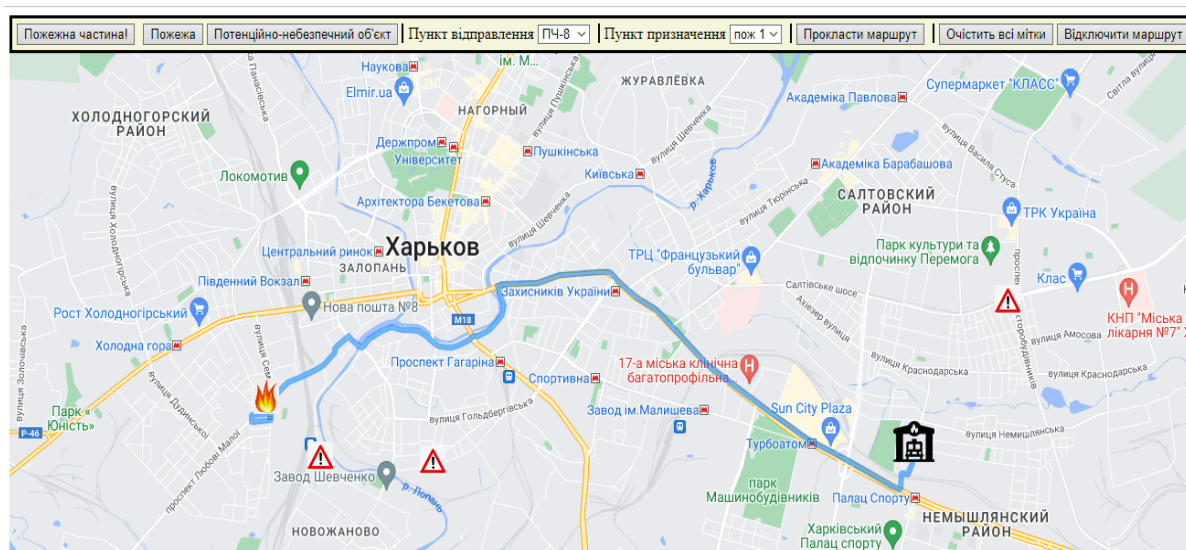


Рис. 4.5. Інтерфейс програми FEDDIR

Автоматизований програмний комплекс FEDDIR побудовано на базі інтерактивної мапи місцевості, що дозволяє автоматично будувати маршрути руху між точками та визначати середній час прямування до пункту призначення. До програми FEDDIR інтегровано алгоритм розв'язання моделі територіального розміщення пожежних підрозділів. Пошарова архітектура побудови FEDDIR дозволяє інтегрувати додаткові шари напруженості транспортного трафіку по шляхам, що дозволяє корегувати маршрути руху шляхом мінімізації часу прямування. Для автоматизації роботи у програмний комплекс вноситься база розміщення пожежних підрозділів, потенційно-небезпечних об'єктів із описом основних параметрів цих об'єктів. Оператор програми також має змогу оперативно вводити розміщення пожеж, що виникли (рис. 4.6) [38].

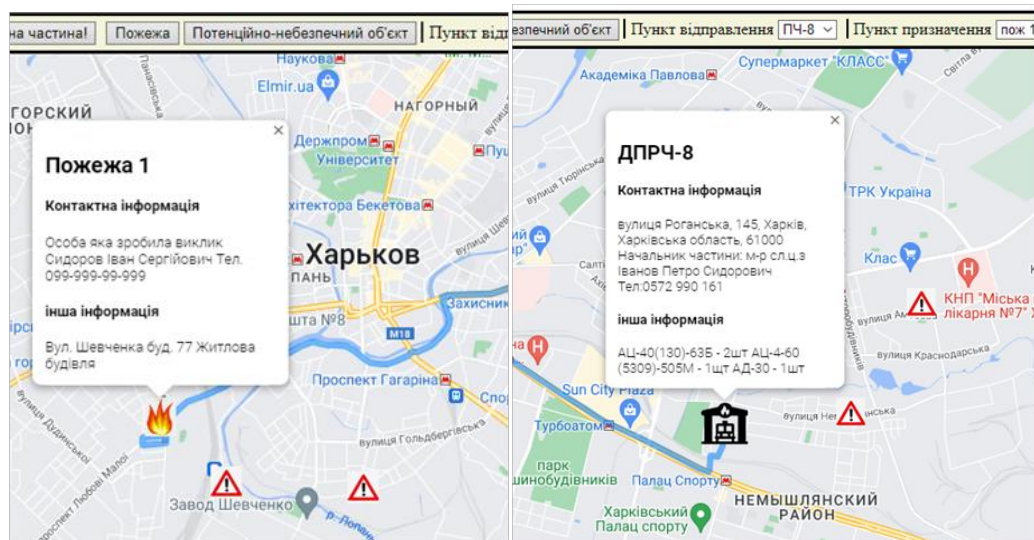


Рис. 4.6. Приклади інтерактивних позначок у програмі FEDDIR

Як видно з рис. 4.6, в якості додаткової інформації надається адреса пожежі, тип забудови та данні особи, що зробила виклик. Перелік наявної у пожежній частині аварійно-рятувальної техніки допомагає керівнику гасіння пожежі правильно оцінити потенційні можливості найближчих підрозділів на випадок ускладнення ситуації.

Запропонований автоматизований програмний комплекс FEDDIR можливо використовувати у практичній діяльності оперативно-рятувальних служб. FEDDIR може використовуватись для вирішення наступних практичних задач:

1. Розрахунок оптимального розміщення майбутніх підрозділів оперативних служб (пожежні, рятувальні, швидка допомога, поліція, центри допомоги громадян) при проектуванні забудови міст, розбудови районів та облаштування об'єднаних територіальних громад.

2. Перевірка коректності вже розміщених підрозділів оперативних служб з умовами зміни рівнів ризику різних об'єктів та зміни функціональної спроможності самих підрозділів.

3. Оптимізація роботи чергових диспетчерів оперативних служб при визначенні конкретного підрозділу для обслуговування екстреного виклику та визначення оптимального маршруту руху для них.

4. Автоматизація роботи штабу з ліквідації масштабної надзвичайної ситуації при визначенні оперативних можливостей резервних підрозділів та планування задіяння додаткових сил та засобів.

Перелічені вище практичні задачі вирішуються шляхом інтегрування до програмного комплексу FEDDIR мапи стану дорожнього трафіку у визначений момент часу, алгоритму оптимізації розміщення підрозділів оперативних служб, можливості гнучкої зміни стану як пожежної обстановки, так і переміщення пожежних підрозділів.

Таким чином, запропонована структура геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами, яка складається із 8 шарів. Наявність представленого комплексу шарів дозволяє збирати та аналізувати інформацію про характер ландшафту локальної території, її забудову, ступінь пожежного ризику, розгалуженість дорожньо-транспортної мережі та стан трафіку, кількість та масштаби пожежі, розташування пожежно-рятувальних підрозділів та кількість сил та засобів оперативно-рятувальних служб на локальній території. Побудова деяких шарів з інтерактивною

функцією дозволяє отримувати розширену інформацію про об'єкти за будови, параметри пожежі, наявність та місце розміщення пожежно-рятувальних підрозділів та оперативно актуалізувати цю інформацію [36].

Розроблено програмний комплекс Fire Emergency Department Direction, який дозволяє автоматизувати процес визначення місць оптимального розміщення пожежних підрозділів. За допомогою програмного комплексу Fire Emergency Department Direction можливо оптимізувати місця розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності та визначати найшвидший шлях прямування до місця пожежі із врахуванням щільності трафіку на дорогах. Математичною основою процесу оптимізації у програмі Fire Emergency Department Direction є модель просторового геометричного розміщення багатокутного об'єкту. Цільовою функцією такої моделі є мінімізація кількості пожежних підрозділів.

4.2. Перевірка достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів

Відповідно до методу [23] математична модель просторового розміщення пожежних підрозділів представляє собою задачу комбінаторної оптимізації просторового покриття області $S_0(m_0)$ об'єктами $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$, яка представлена моделями (3.1)-(3.5).

Перевірка достовірності проводилась наступним чином: за допомогою моделі (3.1)–(3.5) визначались оптимальні місця розміщення пожежних підрозділів у межах міста Харкова зі стаціонарними позиціями потенційно-небезпечних об'єктів. У програмі FEDDIR визначався мінімальний час прямування до потенційно-небезпечних об'єктів (рис. 4.7).


Далі обирались декілька варіантів зміни місць розташування пожежних підрозділів від визначеного оптимального та у програмі FEDDIR визначався мінімальний час прямування до тих же місць призначення. Результати порівняння представлені в табл. 4.1 [26].

Возможные маршруты

проспект Героїв Харкова 11,6 км. примерно 17 мин. (27 мин. с учетом пробок)

M18 12,1 км. примерно 19 мин. (30 мин. с учетом пробок)

проспект Героїв Харкова и Червоношкільна наб. 12,6 км. примерно 20 мин. (30 мин. с учетом пробок)

 Громадянський провулок, 5, Харків, Харківська область, Україна, 61000

11,6 км. примерно 17 мин. (27 мин. с учетом пробок)

1. Направляйтесь на юго-запад по Громадянський пров. в сторону вул. Відродження	0,1 км
2. Поверните направо на вул. Відродження	0,1 км
3. Поверните налево на вул. Профспілкова	0,2 км
4. Поверните направо на проспект Героїв Харкова	6,2 км
5. Поверните налево на Червоношкільна наб. (по знакам на КИЇВ/КІУ/МАГАЗИН СЕИФ)	0,8 км
6. На круге сверните на 2-й съезд и продолжайте движение по Червоношкільна наб. в сторону СУМИ/SUMY/КИЇВ/КІУ/ЦИРК/CIRCUS	0,7 км
7. Продолжайте движение по Нетеченська наб.	1,0 км
8. Поверните направо на Гончарівська гребля/вул. Конєва	0,2 км
9. Поверните налево на вул. Велика Гончарівська (по знакам на вулиця Вел. ГОНЧАРІВСЬКА)	1,3 км
10. Поверните налево на вул. Семінарська (по знакам на вулиця ВОЛОДАРСЬКОГО)	0,3 км
11. Поверните направо на просп. Любові Малої	0,3 км
12. Поверните направо на перекрестке 1 на вул. Григорівська	83 м

Активация Winc
Чтобы активировать
раздел "Параметры"

Рис. 4.7. Визначення оптимального маршруту до місця пожежі у програмі FEDDIR

Таблиця 4.1. - Час прямування пожежних підрозділів від місць постійного розташування до потенційно-небезпечних об'єктів [36]

Варіанти розміщення	Координати пожежного підрозділу	Час прямування до об'єктів (А - Завод ім. Шевченко; В – Новожанівський м'ясокомбінат)
Оптимізований	49.958064, 36.206050	А – 4'37"; В – 7'12"
Варіант 1	49.962340, 36.226363	А – 5'49"; В – 8'07"
Варіант 2	49.958649, 36.219254	А – 3'22"; В – 11'56"
Варіант 3	49.964940, 36.213047	А – 8'02"; В – 6'45"
Варіант 4	49.956748, 36.204352	А – 10'31"; В – 4'52"
Варіант 5	49.966714, 36.221475	А – 1'04"; В – 18'32"

В якості прикладу обрані найбільш потенційно пожежонебезпечні об'єкти Новобоварського району міста Харкова та одна з пожежних частин цього району. Найбільш пожежонебезпечними об'єктами Новобоварського району є промислово-виробниче підприємство Завод імені Т. Г. Шевченко та

Новожанівський м'ясокомбінат. Варіювання місцем розташування пожежної частини проводилось в межах її району виїзду.

Розробка програмного комплексу FEDDIR дозволила автоматизувати процес оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів. Використання програмного комплексу FEDDIR дозволило перевірити достовірність розроблених моделей та методу територіального розміщення пожежних підрозділів шляхом порівняння мінімального часу прямування пожежних підрозділів до місця пожежі. Результати розрахунку, представлені у табл. 4.1, показують, що зміщення одного підрозділу на 1 км від оптимальної позиції призводить до збільшення часу прямування на 7 %, при збільшенні відстані до 2 км час збільшується на 15 %. При цьому, якщо змістити на 1 км від визначеної оптимальної позиції 2 пожежних підрозділи, то зростання часу прямування досягає 16 %, а переміщення на ту ж відстань 3-х підрозділів дає приріст часу слідування 24 %. Відповідно, перевірка за допомогою програми FEDDIR показала, що розрахунки оптимального територіального розміщення пожежних підрозділів за моделями (3.1)–(3.5) дозволяють досягти мінімально можливого часу слідування пожежних підрозділів до місця пожежі [39].

Таким чином, проведено перевірку достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Достовірність розробленої моделі перевірялась шляхом порівняння часу прямування двох пожежних підрозділів до визначених потенційно-небезпечних об'єктів з різними координатами розміщення. Усі довільно обрані варіанти розміщення пожежних підрозділів у порівнянні з оптимізованим збільшують час прямування до потенційних місць пожежі від 7 % до 4 разів. Перевірка працездатності розробленої математичної моделі показала, що її використання при оптимізації розміщення ≥ 3 пожежних підрозділів дозволяє скоротити час прямування до 24 %.

4.3. Перевірка ефективність методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Перевірка ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності [23] проводилась методом порівняння результатів оптимізації розміщення підрозділів із результатами оптимізації, отриманими за найбільш близькою методу [141], обраного як прототип.

Згідно методу [141] основним рівнянням є мінімізаційна функція:

$$\frac{\min N}{W} (m_{c,1}, u_{c,1}, \dots, m_{c,N}, u_{c,N}) \quad (4.1)$$

де W :

$$\omega_{\Omega}(m_{c,i}, m_{c,h}, u_{c,i}, u_{c,h}) \rightarrow 0; \quad (4.2)$$

$$i = 1, \dots, N-1; h = i+1, \dots, N;$$

$$\omega(m_{c,i}, m_{cS_0}, u_{c,i}, u_{cS_0}) \rightarrow 0; \quad (4.3)$$

$$i = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

$$u_{c,i} \in P_{\xi}(x_{\xi}, y_{\xi}); i = 1, \dots, N; \xi \in \{1, \dots, N_{\xi}\}; N_{\xi} \geq N_k; \quad (4.4)$$

$$\omega_{\Omega} \left(m_{\bigcup_{k=1}^{N_k} v_k}, m_{\bigcup_{i=1}^N S_{c,i}}, u_0, u_{\bigcup_{i=1}^N S_{c,i}} \right) = S \left(\bigcup_{k=1}^{N_k} v_k(m_k, u_0) \right); \quad (4.5)$$

$$O_{d,j}(x_{d,j}, y_{d,j}) \in \bigcap_{\mu}^{M_j} S_{c,\mu}(m_{c,\mu}, u_{c,\mu}), j = 1, \dots, N_d; \mu \in \{1, \dots, N\}; \quad (4.6)$$

$$m_{c,i} = f(t); i = 1, \dots, N; \quad (4.7)$$

де t – параметр, що впливає на метричні характеристики об'єктів покриття $m_{c,i}, i = 1, \dots, N$.

У даній моделі вираз (4.1) являє собою цільову функцію; вираз (4.2) – обмеження на мінімум площі взаємного перетину об'єктів покриття $S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i}), i = 1, \dots, N$; вираз (4.3) – обмеження на мінімум площі перетину об'єктів покриття $S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i}), i = 1, \dots, N$; та $cS_0(m_0, u_0)$ – доповнення області $S_0(m_0, u_0)$ до простору R^2 ; вираз (4.4) – умова належності локальних систем координат об'єктів покриття заданим точкам; вираз (4.5) – умова повного покриття підобластей $v_k(m_k, u_0), k = 1, \dots, N_k$; вираз (4.6) – обмеження спеціального виду, що полягає у належності точок $O_{d,j}(x_{d,j}, y_{d,j}), j = 1, \dots, N_d$, областям перетину заданої кількості M об'єктів покриття; вираз (4.7) – обмеження спеціального виду, що визначає форму та розміри об'єктів покриття.

Визначальним критерієм для порівняння ефективності методу за моделями (3.1)–(3.5) [23] та (4.1)–(4.7) [141] обрано коефіцієнт покриття $k_{\text{покр}}$, який безпосередньо впливає на час прибуття пожежних підрозділів до місця пожежі та визначається як [39]:

$$k_{\text{покр}} = \frac{S\left(\bigcup_{i=1}^N S_{c,i}(m_{c,i}, u_{c,i})\right)}{S(S_0(m_0, u_0))}. \quad (4.8)$$

Оскільки основною відмінністю та перевагою методу [23] є можливість оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів з різною функціональною спроможністю, то порівнювались два варіанти розрахунку: при однаковій функціональній спроможності всіх пожежних підрозділів та при варіюванні рангу функціональної спроможності (R_F) від I до IV, відповідно до [23]. Результати розрахунків для деяких обласних центрів

України та об'єднаних територіальних громад існуючими підрозділами приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. - Коефіцієнти покриття за методами [141] та [23]

Локальна територія	Варіанти функціональної спроможності різних пожежних підрозділів	$k_{\text{покр. за [141]}}$	$k_{\text{покр. за [23]}}$
м. Київ	Однакова	0,87	0,88
	Різна	0,87	0,92
м. Харків	Однакова	0,81	0,83
	Різна	0,81	0,9
Чугуївська міська територіальна громада	Однакова	0,69	0,7
	Різна	0,69	0,76
Солоницівська селищна територіальна громада	Однакова	0,53	0,55
	Різна	0,53	0,65

Для порівняння обрані чотири типи локальної території по щільності пожежної навантаги та населення. Найбільший рівень пожежної небезпеки має столичне місто Київ з населенням близько 5 млн. осіб. На другому місті розглянуто обласний центр м. Харків з населенням 1,5 млн. осіб. Далі обрана територіальна громада з містом районного значення та найнижчий рівень пожежного ризику має селищна територіальна громада.

Перевірка ефективності розробленої моделі (3.1)–(3.5), методу на її основі та програмного комплексу проводилась шляхом порівняння з результатами розрахунків за аналогічним методом [141], заснованою на моделях (4.1)–(4.7). Ефективність та достовірність цього методу перевірена раніше іншими дослідниками та не викликає сумніву. Результати перевірки ефективності (табл. 4.2) показали, що при однаковій функціональній спроможності відмінність коефіцієнтів покриття для локальних територій з різною щільністю населення несуттєва та знаходиться в межах 0,3–1,1 %. Тоді як при різній функціональній спроможності пожежних підрозділів

відмінність перевищує 20 %. При цьому спостерігається наступна залежність: найбільше уточнення коефіцієнту покриття при різній функціональній спроможності пожежних підрозділів за моделлю (3.1)–(3.5) спостерігається у великих населених пунктах (м. Київ, м. Харків) – 15 %. При зменшенні щільності забудови та населення на прикладі Чугуївської міської територіальної громади відмінність для $k_{\text{покр.}}$ падає до 7 %, а при подальшому зменшенні щільності населення на прикладі Солоницівської селищної територіальної громади відмінність для $k_{\text{покр.}}$ знов зростає до 17 %. На нашу думку, це пояснюється великою кількістю та щільністю пожежних підрозділів у великих містах, що дозволяє збільшити варіативність їх функціональної спроможності. Відповідно ігнорування цими параметрами у моделі (4.1)–(4.7) призводить до значного інтегрального відхилення. Відповідно зменшення кількості пожежних підрозділів Чугуївській міській територіальній громаді знижує відхилення інтегруючого коефіцієнту покриття. Однак, на локальних територіях сільського та селищного типу на прикладі Солоницівської селищної територіальної громади поряд зі зменшенням кількості пожежних підрозділів суттєво зростає відстань прямування до місця пожежі. Оскільки коефіцієнт покриття $k_{\text{покр.}}$ залежить від відстаней між пожежними підрозділами та місць виникнення пожеж, то відповідно вплив параметру функціональної спроможності навіть для невеликої кількості пожежних підрозділів зростає [39].

Таким чином, перевірка ефективності запропонованого методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності показала, що її використання дозволяє уточнити коефіцієнт покриття локальної території з населенням ≥ 1 млн. осіб до 15 %; з населенням від 50 000 до 1 000 000 осіб до 7 %; з населенням $\leq 50 000$ осіб >15 %. Перевірка ефективності проводилась шляхом порівняння розрахунків запропонованого методу із найбільш близьким прототипом, який вже пройшов практичну апробацію.

4.4. Розробка алгоритму роботи методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Поряд із математичним апаратом, описаним у розділі 3, невід'ємною складовою методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності є керуючий алгоритм його реалізації. Виходячи з того, що отримані нові результати можуть бути використанні як при оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів, так і для оптимізації управління пожежними підрозділами, у випадку масштабних пожеж в роботі розроблено два алгоритми (рис. 4.8 та рис. 4.9).

Алгоритм використання розробленого методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності при оптимізації розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності (рис. 4.8.) складається з 18 блоків, з'єднаних прямими зв'язками та які умовно можна розбити на дві підгрупи – оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території та розрахунок району обслуговування пожежними підрозділами. Розроблений алгоритм дозволяє паралельно вирішувати дві задачі – це оцінка відповідності розміщення вже існуючих пожежних підрозділів та розміщення нових підрозділів при розбудові міст та створенні об'єднаних територіальних громад [37].

Метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності працює наступним чином.

На першому етапі проводиться збір, класифікація та аналіз параметрів житлових, адміністративних та промислових об'єктів у містах із населенням більше 50 тис. осіб, які визначають вірогідність виникнення пожеж та їх масштаб. Перелік таких параметрів детально розглянуто та проаналізовано у розділі 2 рис. 2.2. Якщо проводиться аналіз рівня пожежної небезпеки на локальній території великого масштабу з відсутністю щільнонаселених міст, то проводиться збір та аналіз параметрів, представлених на рис. 2.7. Як було зазначено вище, для таких територій визначальними вже стають параметри пожежної безпеки самої території замість таких параметрів окремих об'єктів.

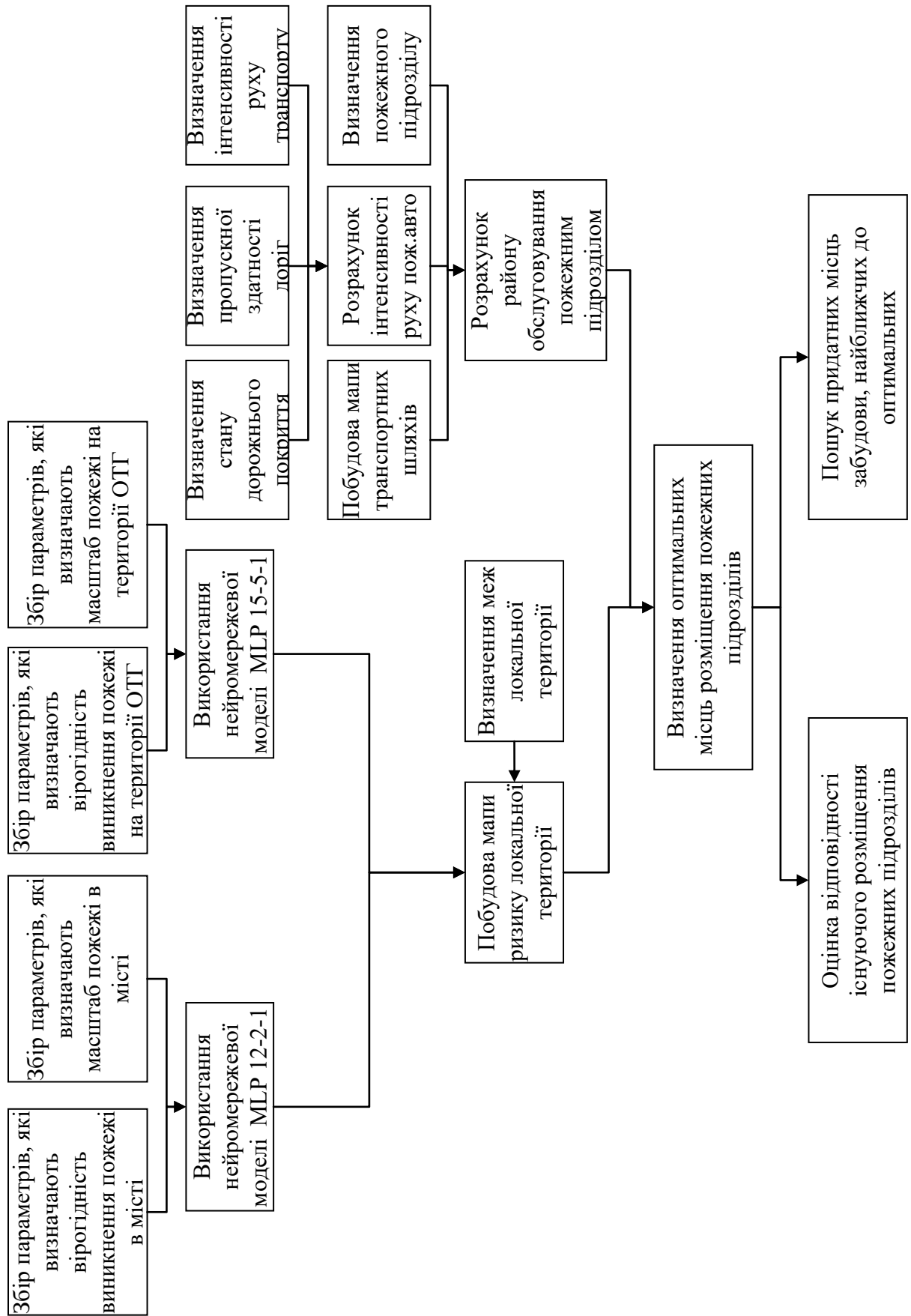


Рис. 4.8. Алгоритм використання розробленого методу при оптимізації розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

У більшості випадків до таких умов відносяться саме об'єднані територіальні громади.

Після цього проводиться внесення цих параметрів у нейромережеві моделі MLP 12-2-1 та MLP 15-5-1 для міст та ОТГ відповідно.

На наступному етапі визначаються межі локальної території, що розглядаються. Інтегруючи отримані за допомогою нейромережевих моделей данні щодо рангового розподілу, проводиться побудова мапи пожежного ризику локальної території. Побудова мапи пожежного ризику може проводитись пооб'єктно (аналогічно рис. 2.5), порайонно (аналогічно рис. 2.6.) та попиксельно (аналогічно рис. 2.11.) в залежності від параметрів локальної території та поставлених задач.

Паралельно з першою групою відпрацьовується блок побудови району обслуговування пожежними підрозділами. Для цього визначаються стан дорожнього покриття, їх пропускна здатність та інтенсивність руху транспорту автотранспортною мережею на визначеній локальній території.

Далі з використанням рівняння (3.1)–(3.5) проводиться розрахунок інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними шляхами району. При застосуванні отриманих результатів для існуючої мапи транспортних шляхів проводиться розрахунок району обслуговування для всіх можливих пожежних підрозділів на локальній території. Результат розрахунку буде мати вигляд багатокутника із вершинами за основними шляхами комунікації.

Основним етапом оптимізації місць розміщення пожежних підрозділів є інтеграція отриманих вище параметрів та вирішення оптимізаційної задачі (3.1) за допомогою дерева рішень. При накладанні результатів оптимізації на реальну мапу локальної території за допомогою розробленого програмного комплексу FEDDIR дозволяється проводити оцінку відповідності розміщення вже існуючих пожежних підрозділів шляхом порівняння координат реальних пожежних підрозділів та оптимізованих. При суттєвій невідповідності або при забудові нового району чи утворенні об'єднаної територіальної громади поруч із оптимізованими місцями можна обрати місця під забудову та

створення нового пожежного підрозділу. Це рекомендовано робити з урахуванням транспортних комунікацій, мереж опалення, каналізації та електроживлення [37].

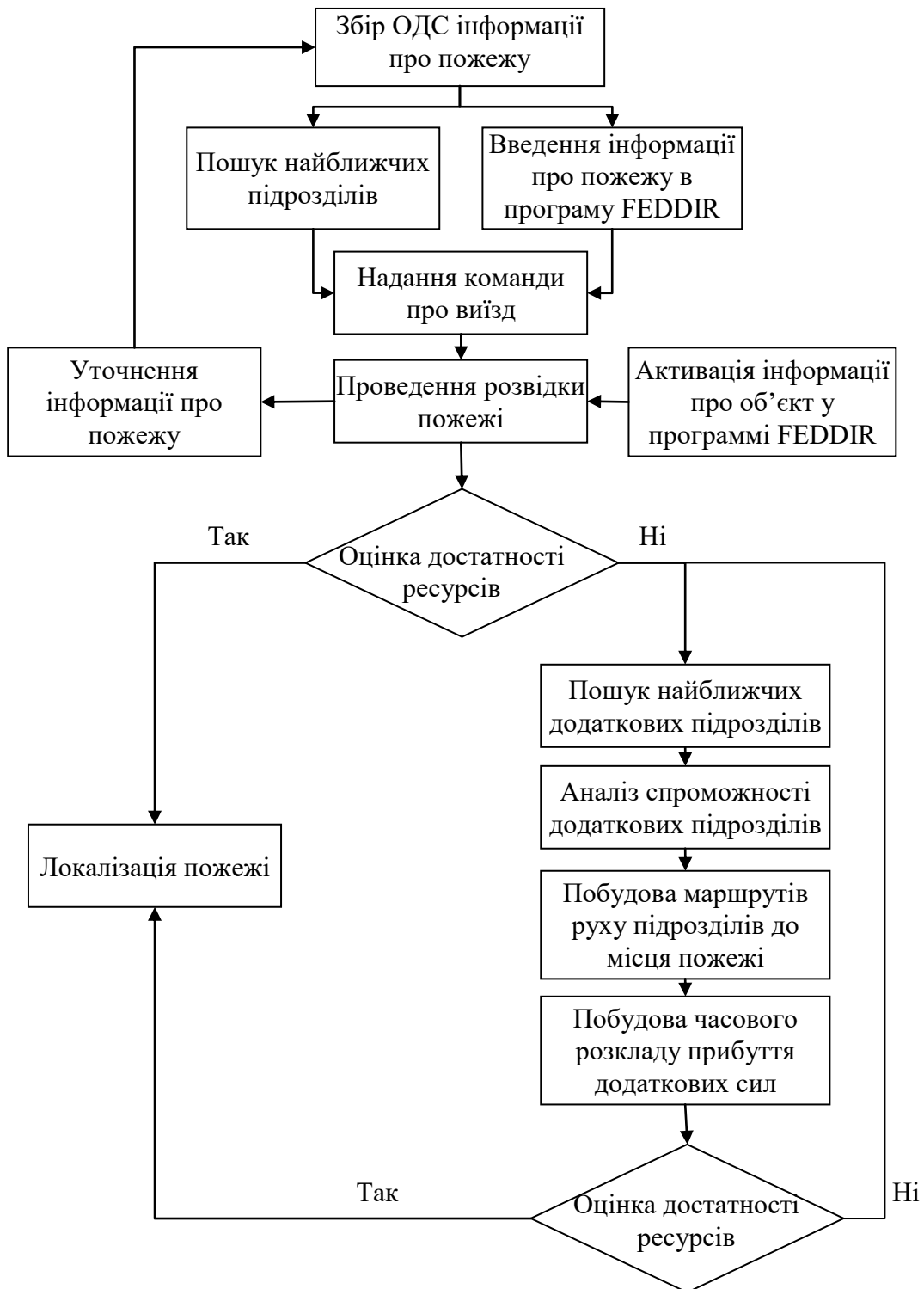


Рис. 4.9. Алгоритм використання розробленого методу для автоматизації роботи керівника гасіння пожежі

Окрім оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів, отримані нові наукові результати можна використовувати для підвищення ефективності роботи керівника гасіння пожежі при задіянні великої кількості пожежних підрозділів. Особливо це стає актуальним при необхідності залучення пожежних підрозділів різного функціонального призначення. З цією метою розроблено керуючий алгоритм, представлений на рис. 4.8.

Алгоритм застосування розробленого методу для автоматизації роботи керівника гасіння пожежі складається з 14 блоків, поєднаних прямими та зворотними зв'язками, включаючи два логічних блоки управління.

Першою ланкою роботи методу є збір оперативно-диспетчерською службою (ОДС) територіальних пожежних підрозділів. У випадку великих міст це оперативно-координаційні центри головних управлінь Державної служби України з надзвичайних ситуацій в областях (ОКЦ ГУ ДСНС України). До ОДС поступає виклик про пожежу від свідка або від системи автоматизованої сигналізації. Отримавши повідомлення про пожежу, диспетчер дізнається максимально можливу кількість інформації (місце пожежі, кількість постраждалих та інше) від свідка, що повідомив, та намагається отримати додаткову необхідну інформацію з існуючих баз даних.

Зібравши наявну інформацію про пожежу, диспетчер у програмному комплексі FEDDIR визначає, до району обслуговування якого пожежного підрозділу відноситься об'єкт, де сталася пожежа, та проводить пошук найближчих підрозділів і надає команду про виїзд. Паралельно диспетчер вносить інформацію про пожежу в інтерактивну вкладку програми FEDDIR (як показано на рис. 4.9.).

Пожежний підрозділ після виїзду на пожежу починає проведення розвідки, під час якої проводиться збір додаткової інформації та уточнення існуючої. В якості додаткового джерела інформації, у випадку пожеж на об'єктах підвищеної небезпеки, можна використовувати інтерактивні

вкладки програми FEDDIR (рис. 4.9). Уся отримана інформація повертається диспетчеру ОДС.

Керівник гасіння пожежі (КГП), оцінивши ситуацію, на місці проводить оцінку достатності сил та засобів для локалізації пожежі. Паралельно з цим проводяться перші невідкладні рятувальні роботи.

У випадку недостатності ресурсів для успішного гасіння пожежі розроблений автоматизований програмний комплекс FEDDIR дозволяє спростити пошук найближчих до місця пожежі додаткових пожежних підрозділів та оцінити наявність сил та засобів у них (рис. 4.9). Після того, як керівник гасіння пожежі визначить, які ресурси та з яких підрозділів необхідно залучити для гасіння пожежі, в програмі FEDDIR здійснюється побудова оптимальних маршрутів руху від цих підрозділів до пожежі та побудова часового розкладу прибуття додаткових сил.

Після цього КГП проводить повторну оцінку достатності ресурсів з урахуванням графіку нарощування сил та засобів. У випадку успішного вирішення задачі забезпечення необхідної кількості ресурсів проводиться локалізація пожежі. У протилежному випадку повторюється процедура щодо нарощування сил та засобів із використанням програми FEDDIR.

Таким чином, розроблені керуючі алгоритми методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності дозволяють використовувати розроблені нові наукові результати для вирішення практичних задач перевірки відповідності розміщених пожежних підрозділів рівням пожежної небезпеки території, визначати оптимальні місця створення нових пожежних підрозділів при розбудові міст та створенні ОТГ, а також підвищувати ефективність та зручність роботи КГП при гасінні великих пожеж із залученням великої кількості техніки різного функціонального призначення.

4.5. Розрахунок економічного ефекту при використанні методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

У розділі 4.3. показано, що використання розробленого методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності дозволяє підвищити коефіцієнт покриття території обслуговування до 15% з використанням тієї ж кількості пожежних підрозділів. У такому випадку економічний ефект від практичного використання запропонованого методу можна рахувати двома варіантами.

Варіант 1. Використати припущення, що впровадження запропонованого методу дозволить скоротити збитки від пожеж на 15 % за рахунок скорочення середнього часу прибуття на пожежу в довільну точку території обслуговування. Статистика річних збитків від пожеж представлена на рис. 4.10 [142].

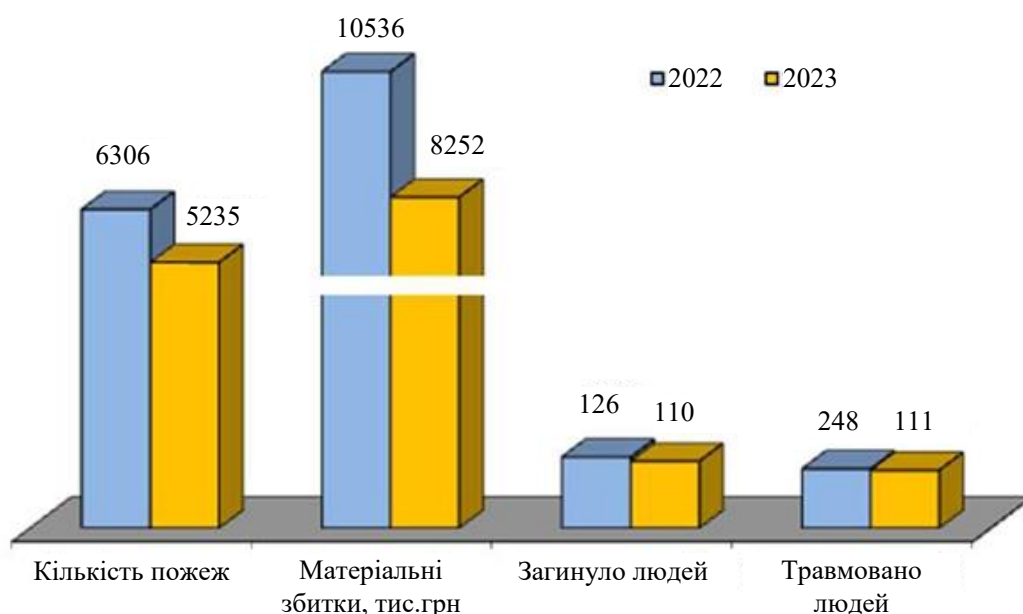


Рис. 4.10. Статистика річних збитків від пожеж у Харківській обл. у період 2022-2023 років

З рис. 4.10. видно, що найбільша кількість збитків спостерігалась у 2022 році (10536 тис. грн). На цей період перепадають найактивніші бойові дії на сході та півдні України, однак для більш коректного аналізу у підрахунках будемо використовувати данні 2023 року.

$$E_1 \approx 3 \times 15\% \approx 8252 \times 15\% \approx 1237 \text{ тис.грн}; \quad (4.9)$$

Тобто економічний ефект від використання запропонованого методу за рахунок підвищення ефективності пожежогасіння в Харківській обл. становить 1237 тис. грн.

Варіант 2. Уточнення коефіцієнту покриття призведе до скорочення чисельності пожежних підрозділів із збереженням сталого рівня пожежної безпеки на локальній території обслуговування.

Розрахуємо кошторис побудови типової пожежної частини в об'єднаній територіальній громаді (табл. 4.3-4.5).

Таблиця 4.3. - Плановий кошторис видатків для створення матеріально-технічної бази місцевої ланки територіальної підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДС ЦЗ)

№ п/п	Статті витрат разового характеру на придбання ТМЦ, обладнання, спецтехніки довгострокового використання та будівництво	грн.
1	Видатки на придбання засобів зв'язку та комп'ютерної техніки	77 000
	у тому числі:	
	станція стаціонарна (1 шт)	18 000
	радіостанція мобільна на пожежний автомобіль (1 шт).	9 000
	радіостанції переносні (3 шт x 6 тис. грн.).	18 000
	персональний комп'ютер (1 шт x 12 тис.грн.)	12 000
	багато функціональний пристрій (1 шт x 4,5 тис. грн.)	4 500
	пристрій реєстрації переговорів диспетчера (1 шт x 15 тис. грн.)	15 000

	<i>телефонний апарат (1 шт x 0,5 тис. грн.)</i>	500
2	Видатки на придбання основних засобів всього :	187 700
	у тому числі:	
	<i>придбання меблів та побутових приладів</i>	70 000
	<i>придбання речового майна (формений одяг 17 осіб x 3,1 тис. грн. один комплект).</i>	52 700
	<i>придбання спеціального одягу пожежного (13 осіб x 5 тис. грн. один комплект).</i>	65 000
3	Видатки на придбання пожежного автомобіля з необхідним пожежно технічним озброєнням	2 500 000
4	Видатки на будівництво пожежного депо	1 500 000
	ВСЬОГО	4 264 700

Таблиця 4.4. - Плановий кошторис видатків постійного характеру на утримання місцевої ланки територіальної підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДС ЦЗ) у складі 17 штатних одиниць посад

№ п/п	Статті витрат постійного характеру	на місяць (грн.)	на рік (грн.)
1	Видатки на оплату праці згідно розрахунку наведеному у додатку	51612	619 342
2	Нарахування на заробітну плату (податки, збори)	18735	224 822
3	Видатки на придбання паливно-мастильних матеріалів всього :	1898	22 780
	<i>у тому числі:</i>		
	<i>492 (1139л x 20 грн. за 1л)</i>	1898	22 780
4	Видатки на послуги зв'язку	500	6 000
5	Видатки на комунальні послуги всього :	2785	33 416
	<i>у тому числі</i>		
	<i>оплата водопостачання</i>	120	1 440
	<i>оплата електроенергії</i>	748	8 976
	<i>оплата вугілля</i>	1917	23 000
6	Інші поточні видатки(канцелярські та господарчі товари)	175	2 100
	ВСЬОГО	75705	908 460

Таблиця 4.5. - Розрахунок видатків на оплату праці місцевої пожежно-рятувальної команди (штатною чисельністю 17 одиниць посад), грн.

№ п/п	Найменування посад	кількість посад	посад. оклад	Всього на місяць на 1 особу	Заробітна плата разом на рік	Нарахування податків та зборів на рік
1	Начальник команди	1	1842	3551	42608	15467
2	Начальник варти	4	1660	3200	153600	55757
3	Пожежний-рятувальник	8	1403	2704	259584	94229
4	Водій	4	1413	2879	138192	50164
	Матеріальна допомога в розмірі посадового окладу				25358	9205
	Разом	17	6318	12334	619342	224822

Тобто:

- видатки разового характеру для будівництва Центру безпеки та придбання техніки і обладнання ($B_{\sigma+T}$) - 4,26 млн. грн. (таблиця 4.3);
- видатки постійного характеру - 908,5 тис. грн., які поділяються на:
 - видатки на оплату праці з нарахуванням податків та зборів ($B_{оп}$) - 844,2 тис. грн. (таблиця 4.5);
 - видатки на придбання палива, оплату комунальних послуг, та інших поточних видатків ($B_{пв}$) - 64,3 тис. грн. (таблиця 4.4).

Основні витрати на створення матеріально-технічної бази для функціонування одного «Центру безпеки» громади складають:

$$B_{\Sigma} = B_{\sigma+m} + B_{он} + B_{не} = 4264,7 + 844,2 + 64,3 = 5173,2 \text{ тис.грн}; \quad (4.10)$$

Відповідно економічний ефект, розрахований за таким варіантом буде складати:

$$E_2 \approx B_{\Sigma} \times 15\% \approx 5173,2 \times 15\% \approx 776 \text{ тис.грн.} \quad (4.11)$$

Таким чином, проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованого методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який становить для Харківської області за рахунок зменшення матеріальних збитків 1,2 млн. грн на рік та 0,7 млн. грн для об'єднаної територіальної громади за рахунок зменшення кількості пожежних підрозділів.

4.6. Розробка практичних рекомендацій щодо використання методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

ГІС-аналіз може ефективно проілюструвати проблемні області, а також запропоновані рішення. ГІС може показувати різні дані для імітації реагування на конкретні місця, включаючи техніку та персонал у послідовності прибуття, численні тривоги та час у дорозі до кожного сегмента вулиці в системі. Це забезпечить точну інформацію для прийняття важливих рішень командиром інциденту, включаючи можливість прогнозування часу, необхідного для розподілу ресурсів для різних аварійних операцій. Зона реагування для кожної пожежної станції може бути розрахована і відображена на основі заданого часу в дорозі. Зона реагування кожної станції може бути показана на карті різними кольорами. ГІС-аналіз створює кольорові карти, які показують перекриття між станціями для заданого часу в дорозі. Кольорові карти показують області, де є дві або більше станцій, зони першочергового реагування яких перекриваються, причому кольори перекриття відрізняються від кольорів зон реагування станцій. Ці карти можна використовувати, щоб визначити, чи реагують кілька компаній на певну територію, або, щоб показати, де станції розміщені неефективно. Також відображаються зони, які не отримують покриття або отримують недостатнє покриття.

Реагування підрозділів, які можуть прибути на підсилення у випадку масштабної надзвичайної ситуації, також може бути проаналізоване як частина загального дослідження, щоб показати прибуття додаткових ресурсів. Це особливо корисно, щоб показати реакцію спеціального обладнання та команд, зокрема команд з поводження із небезпечними матеріалами, передових рятувальних команд або інших спеціальних команд. Ураховуючи обмеженість ресурсів, можна проаналізувати цілий регіон, використовуючи всі ресурси регіону. Альтернативні та майбутні місця розташування аварійно-рятувальних частин можна дослідити за допомогою сценаріїв «що, якщо», використовуючи різні місця розташування пожежних частин та час у дорозі. Інформація з цих програм може бути інтегрована з даними місцевих та регіональних груп планування, щоб показати, де можуть знадобитися нові підрозділи та/або дороги для найкращого обслуговування існуючих та зростаючих громад. Комплексне дослідження розташування пожежних частин на основі ГІС може бути центральним компонентом генерального плану розташування пожежних підрозділів. Цей план може показати як ефективність, так і недоліки поточного покриття пожежних станцій для визначеного часу прибуття, а також надати модель майбутнього покриття пожежних частин з використанням визначеного або інших стандартів часу доїзду.

Розроблений автоматизований програмний комплекс, побудований на основі ГІС-аналізу, який оцінює існуючі місця розташування підрозділів, а також альтернативні місця розташування інших аварійно-рятувальних підрозділів та доповнення до них. Після того, як місця розташування пожежних частин обрані, програма може бути використана для розподілу ресурсів з метою найбільш ефективного покриття виявлених ризиків. Комплексний аналіз розташування пожежних частин на основі ГІС забезпечує основу для ефективного розподілу ресурсів, що має вирішальне значення для генерального планування пожежної служби та громади.

Кольорові карти і дані дуже корисні при проведенні презентацій для громадян і виборних посадових осіб. Комп'ютерні програми беруть складні сценарії реагування, які можуть включати багато взаємопов'язаних факторів, і значно спрощують їх, створюючи кольорові картографічні зображення. Більшість карт і даних є легко зрозумілими і надають фактичні дані про реагування аварійного обладнання на конкретних місцях.

Будь-яке планування роботи пожежної служби, що передбачає розподіл ресурсів, вимагає дослідження розташування пожежних підрозділів. Відповідне дослідження може показати, як ефективно розміщення ресурсів через правильне розташування станцій може покращити надання екстреної допомоги населенню, мінімізуючи при цьому як капітальні, так і поточні витрати. Після того, як місце для пожежного депо визначено, може бути ще кілька варіантів вибору конкретного майданчика. Одним із загальних пунктів, які слід враховувати при виборі місця, є рельєф місцевості та схильність до повеней або інших погодних умов. ГІС може надати дуже детальну інформацію щодо особливостей рельєфу та оптимального розташування ділянки. ГІС може аналізувати і відображати типи ґрунтів, сейсмічні розломи, висоту і нахил місцевості, місця, схильні до повеней, та інші характеристики, важливі для вибору місця розташування станції. Розмір споруди, кількість призначеного персоналу та наявність тренувального майданчика визначатимуть розмір необхідної ділянки. Іншим важливим фактором є зв'язок з прилеглими вулицями та автомагістралями. Аналіз транспортних потоків у прилеглий місцевості допоможе визначити, чи підходить ділянка для розміщення пожежної станції. Споруда аварійно-рятувальної частини повинна бути розташована таким чином, щоб машини могли заїжджати на вулиці та автомагістралі якомога безпечніше і повертатися на станцію, не порушуючи дорожнього руху і не наражаючи на небезпеку персонал. Бажано розміщувати станцію на бічній вулиці, а не на вулиці з інтенсивним рухом. Вимоги до організації дорожнього руху на

конкретній ділянці будуть відрізнятись для спецтехніки із відповідними приладами оповіщення та звичайними транспортними засобами.

Додаткові складнощі виникають при організації підрозділів із волонтерами. Цей напрямок зараз дуже активно розвивається в Україні. Основна причина полягає в тому, що волонтери повинні прибути на станцію перед тим, як реагувати на надзвичайну ситуацію. Тому ділянка повинна забезпечувати легкий доступ для волонтерів, які прибувають на станцію, щоб відповідати на виклики. Можуть виникнути ситуації, коли техніка покидає станцію, а волонтери все ще прибувають на виклик. Це складніша ситуація, ніж у випадку з цілодобовою службою, де весь персонал перебуває на станції і негайно реагує на виклик.

Першочерговим обов'язком пожежних підрозділів є надання пожежно-рятувальних послуг. Пожежа може поширюватися зі швидкістю, що в багато разів перевищує її об'єм за хвилину, тому час стає критично важливим елементом, коли екіпажі реагують на надзвичайну ситуацію. Своєчасне надання послуг значною мірою залежить від місця розташування пожежних станцій. Тому, плануючи розташування пожежних станцій, громада повинна розробити свої стандарти часу реагування. Ці стандарти ґрунтуються на аналізі типів послуг, які необхідно надавати, розумного часу доїзду, розміру території, що обслуговується, наявних ресурсів та рівня прийняттого ризику. Після встановлення стандартів часу реагування ГІС можна використовувати для визначення місця розташування пожежних станцій з більшим ступенем точності. ГІС-технології розгортаються в ряді інших сфер реагування на надзвичайні ситуації для підвищення ефективності, скорочення часу і надання більш якісної інформації та даних для підтримки прийняття рішень. Сюди входять диспетчеризація, мобільні операції та управління в надзвичайних ситуаціях. Диспетчери несуть важливу відповідальність за обробку екстрених викликів і направлення відповідних ресурсів громадської безпеки до місця надзвичайної ситуації залежно від типу та терміновості інциденту.

Процедура роботи із запропонованим методом територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності полягає у наступному:

1. Оперативний диспетчер, отримавши повідомлення про пожежу, позначає це місце на інтерактивній карті GIS додатку. Програма автоматично визначає пожежно-рятувальний підрозділ, до району виїзду якого відноситься ця пожежа. Диспетчер погоджує та активізує цей виклик для контролю хибного виклику.

2. Під час збору та виїзду пожежно-рятувального підрозділу до місця пожежі диспетчер додає до програми додаткову інформацію, яка може бути корисною. Мобільний GIS додаток у керівника пожежно-рятувального підрозділу автоматично визначає найшвидший маршрут руху до місця пожежі з урахування дорожньої ситуації та трафіку. Пожежно-рятувальний підрозділ вже на етапі слідування отримує актуальну інформацію на мобільний GIS додаток та має змогу ознайомитись з особливостями об'єкту.

3. При необхідності виклику додаткових сил та засобів керівник гасіння пожежі, який прибув на місце пожежі, та організований їм штаб за допомогою GIS додатку визначають, який вид аварійно-рятувальної техніки та її кількість є у найближчих пожежно-рятувальних частинах. GIS додаток допомагає керівнику визначити, з якої пожежно-рятувальної частини найшвидше прибуде необхідна техніка з урахуванням дорожньо-транспортної мережі та трафіку.

4. При виникненні одночасно декількох пожеж в різних місцях локальної території інформація про наявність аварійно-рятувальної техніки в пожежно-рятувальних частинах оновлюється та відповідає реальній ситуації на момент виклику того чи іншого підрозділу.

Таким чином, розроблені практичні рекомендації щодо використання методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності дозволять вирішити актуальні задачі проектування забудови міст та об'єднаних територіальних громад органами

виконавчої влади та практичними підрозділами ДСНС України при управлінні пожежними підрозділами під час гасіння масштабних пожеж.

Висновки по розділу 4.

1. Запропонована структура геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами, яка складається із 8 шарів. Наявність представленого комплексу шарів дозволяє збирати та аналізувати інформацію про характер ландшафту локальної території, її забудову, ступінь пожежного ризику, розгалуженість дорожньо-транспортної мережі та стан трафіку, кількість та масштаби пожежі, розташування пожежно-рятувальних підрозділів та кількість сил та засобів оперативно-рятувальних служб на локальній території. Розроблено програмний комплекс Fire Emergency Department Direction, який дозволяє автоматизувати процес визначення місць оптимального розміщення пожежних підрозділів, за допомогою якого можливо оптимізувати місця розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності та визначати найшвидший шлях прямування до місця пожежі з урахуванням щільності трафіку на дорогах.

2. Проведено перевірку достовірності математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Достовірність розробленої моделі перевірялась шляхом порівняння часу прямування двох пожежних підрозділів до визначених потенційно-небезпечних об'єктів з різними координатами розміщення. Усі довільно обрані варіанти розміщення пожежних підрозділів у порівнянні з оптимізованим збільшують час прямування до потенційних місць пожежі від 7 % до 4 разів. Перевірка працездатності розробленої математичної моделі показала, що її використання при оптимізації розміщення ≥ 3 пожежних підрозділів дозволяє скоротити час прямування до 24 %.

3. Перевірка ефективності запропонованого методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності показала, що її використання дозволяє уточнити коефіцієнт покриття локальної території з населенням ≥ 1 млн. осіб до 15 %; з населенням від 50 000 до 1 000 000 осіб до 7 %; з населенням $\leq 50 000$ осіб > 15 %. Перевірка ефективності проводилась шляхом порівняння розрахунків запропонованого методу із найбільш близьким прототипом, який вже пройшов практичну апробацію.

4. Розроблено алгоритм роботи методу сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який складається з 18 блоків, з'єднаних прямими зв'язками та дозволяє паралельно вирішувати задачі оцінки відповідності розміщення вже існуючих пожежних підрозділів та розміщення нових підрозділів при розбудові міст та створенні об'єднаних територіальних громад. Розроблено алгоритм використання запропонованого методу для автоматизації роботи керівника гасіння пожежі, який складається з 14 блоків, поєднаних прямими та зворотними зв'язками, включаючи два логічних блоки управління.

5. Проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованого методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який становить для Харківської області за рахунок зменшення матеріальних збитків 1,2 млн. грн на рік та 0,7 млн. грн для об'єднаної територіальної громади за рахунок зменшення кількості пожежних підрозділів.

6. Розроблені практичні рекомендації щодо використання методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності дозволяють вирішити актуальні задачі проектування забудови міст та об'єднаних територіальних громад органами виконавчої влади та практичними підрозділами ДСНС України при управлінні пожежними підрозділами під час гасіння масштабних пожеж.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у галузі пожежної безпеки, а саме: розроблено метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності в інтересах оптимізації розміщення пожежних підрозділів різного кількісного та якісного складу як в межах щільнонаселених міст, так і в межах об'єднаних територіальних громад.

За підсумками виконаної наукової роботи зроблено наступні висновки:

1. Проаналізовані існуючі підходи до розміщення пожежних підрозділів в межах адміністративно-територіальної одиниці. Існуючі моделі та методи дозволяють оптимізувати розміщення пожежних підрозділів з урахуванням дорожньо-транспортної мережі та швидкістю прямування пожежних підрозділів, однак не враховують різні функціональні спроможності цих підрозділів, що пов'язано з їх різним кількісним та якісним технічним складом.

2. З використанням нейромережових технологій отримано прогностичні моделі, які дозволяє проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території із щільною забудовою зі ступенем кореляції $r=0,767$ та локальної території великого масштабу зі ступенем кореляції $r=0,97$. Нейромережові моделі отримані на основі параметрів забудови міста та аналізу просторового розподілу щільності населення, виду та щільності рослинності та пожежної активності на локальній території із використанням даних із ресурсів Fire Information for Resource Management System (FIRMS) та Global Fire Atlas. Отримані нейромережі здатні до самонавчання, що дозволяє уточнювати результати оцінки при введенні нових статистичних даних.

3. Розроблено математичну модель сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, що враховує рівні пожежних ризиків об'єктів чи локальних територій з цільовою функцією мінімізації кількості пожежних підрозділів із забезпеченням можливості їх

прибуття у такій кількості, щоб реалізувати успішне гасіння пожежі на об'єкті з умовами мінімізації областей перекриття районів їх виїзду та поетапності нарощування сил та засобів на гасіння пожежі. Згідно до діючих на сьогодні нормативних актів, мінімальний час прибуття першого пожежного підрозділу встановлено на рівні 5 хв. Розроблено математичну модель інтенсивності руху пожежних автомобілів транспортними комунікаціями з різними характеристиками, яка дозволяє диференціювати середню швидкість руху автотранспорту в залежності від їх тактико-технічних характеристик. Перевірка працездатності розробленої математичної моделі показала, що її використання при оптимізації розміщення ≥ 3 пожежних підрозділів дозволяє скоротити час прямування до 24 %.

4. Розроблено та програмно реалізовано метод сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності, який дозволяє проводити розрахунок оптимального розміщення майбутніх підрозділів оперативних служб та автоматизувати роботу штабу з ліквідації масштабної надзвичайної ситуації при визначенні оперативних можливостей резервних підрозділів та планування задіяння додаткових сил та засобів. Перевірка ефективності запропонованого методу показала, що його використання дозволяє уточнити коефіцієнт покриття локальної території з населенням ≥ 1 млн. осіб до 15 %; з населенням від 50 000 до 1 000 000 осіб до 7 %; з населенням $\leq 50 000$ осіб до >15 %. Перевірка ефективності проводилась шляхом порівняння розрахунків запропонованого методу із найбільш близьким прототипом, який вже пройшов практичну апробацію. Економічний ефект від впровадження запропонованого методу становить від 0,7 до 1,2 млн. грн за різними способами оцінки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vambol S., Vambol V., Suchikova Y., Deyneko N. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. EEJET. 2017. V. 1/10(85). P. 27–36.
2. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., Rashkevich N. Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. EEJET. 2017. V. 6/10(90). P. 57–64.
3. Rybalova O., Artemiev S., Sarapina M., Tsymbal B., Bakhareva A., Shestopalov O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. EEJET. 2018. V. 2/10(92). P. 4–17.
4. Fire resistance of reinforced concrete and steel structures: monograph / V. Sadkovyi, E. Rybka, Yu. Otrosh and others. Kharkiv: PC TC, 2021. 180 p.
5. Ragimov S., Sobyna V., Vambol S., Vambol V., Feshchenko A., Zakora A., Strejekurov E., Shalomov V. Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2018. V. 91. №1. P. 27–33.
6. Vambol S., Vambol V., Sobyna V., Koloskov V. Investigation of the energy efficiency of waste utilization technology, with considering the use of low-temperature separation of the resulting gas mixtures. Energetika. 2018. V. 64(4). P. 186–195.
7. Kovalov A., Otrosh Y., Kovalevska T., Togobytska V., Rolin I. Treatment of Determination method for strength characteristics of reinforcing steel by using thread cutting method after temperature influence. MSF. 2020. V. 1006. P. 179–184.
8. Otrosh Y., Danilin O., Zhuravskiy M. Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. E3S Web of Conferences. 2019. V. 123. № 01012.

9. Mygalenko K., Nuyanzin V., Zemlianskyi A., Dominik A., Pozdieiev S. Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. V. 1/10(91), P. 31–37.
10. Xia Z., Li H., Chen Y., Yu W. Integrating spatial and non-spatial dimensions to measure urban fire service access. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. Vol. 8. P. 138–145. doi:10.3390/ijgi8030138
11. Oh J. Y., Hessami A., Yang H. Y. Minimizing Response Time with Optimal Fire Station Allocation. *Studies in Engineering and Technology*. 2019. Vol. 6(1). P. 47-58. doi:10.11114/set.v6i1.4187
12. Murray A. T. Optimizing the spatial location of urban fire stations. *Fire safety journal*. 2013. Vol. 62(1). P. 64–71. doi:10.1016/j.firesaf.2013.03.002
13. Edmund G. Brown Jr., Ken Alex, Scott Morgan. *Fire Hazard Planning General Plan Technical Advice // Series Governor's Office of Planning and Research*. 2015. P. 55.
14. Басманов О. Є., Савельєв Д. І., Мележик Р. С., Луценко Т. О. Алгоритм оптимального розподілу техніки між пожежними підрозділами. *Проблеми надзвичайних ситуацій, НУЦЗУ, Харків*. 2023. № 38. С. 181-193.
15. Комяк В.М., Соболь О. М., Чапля Ю. С. Математична модель оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусково-нелінійними границями. *Вестник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2014. №. 3 (50). С. 300–304.
16. Соболь О. М., Чапля Ю. С. Спосіб побудови 0-рівня Ф-функції для плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусково-нелінійними границями. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2014. № 3. С. 119–125.
17. Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Доценко Ю. В. Побудова моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції. *ВосточноЕвропейский журнал передових технологій*. Харків, 2013. №. 4

- (3). С. 15–17.
18. Dreyfus S. E. An appraisal of some shortest-path algorithms. *Operations research*. 1969. Т. 17. № 3. С. 395–412. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.17.3.395>.
 19. Bortfeldt A. A Genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces. *European Journal of Operational Research*. 2006. Т. 172. №. 3. С. 814–837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.11.016>
 20. Beardwood J., Halton J., Hammersley J. The shortest path through many points. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 1959. Т. 55. №. 4. С. 299–327. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0305004100034095>.
 21. Moser T. J. Shortest path calculation of seismic rays. *Geophysics*. 1991. Т. 56. №. 1. С. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1442958>.
 22. Кустов М.В., Тютюнник В.В., Федоряка О.І. Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. *Проблеми пожежної безпеки*. Харків: НУЦЗ України, 2020. Випуск 48. С. 83-93.
 23. Кустов М.В., Соболь О.М., Федоряка О.І. Територіальне розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗ У, 2021. Випуск 33. С. 181-192.
 24. Кустов М. В., Морщ Є. В., Федоряка О. І., Сошинський О. І., Савченко О.В. Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗ України, 2021. Випуск 34. С. 122-133.
 25. Kustov M., Fedoryaka O., Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., Veretennikova Ju. Level of fire danger of the local territory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: PC Technology Center, 2023. Volume 2. Issue 10 (122). P. 31-38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653>

26. Кустов М. В., Федоряка О. І., Корнієнко Р. В. Ефективність методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗ України, 2022. Випуск 36. С. 54-65.
27. Кустов М.В., Федоряка О.І. Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. «World science: problems, prospects and innovations». Toronto: Perfect Publishing, 2020. P. 781-790.
28. Кустов М.В., Федоряка О.І. Особливості математичної моделі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали XIV Науково-технічної конференції НДІ мікрографії «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії». Харків: НДІ мікрографії, 2021. С. 42.
29. Кустов М.В., Федоряка О.І., Манжелей А.О. Управління пожежними підрозділами: геоінформаційний аспект. Збірник доповідей 147 Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) «Безпека людини у сучасних умовах». Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. 188-189.
30. Федоряка О.І., Кустов М.В. Формулювання задачі розміщення пожежних підрозділів з різною кількістю сил та засобів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 125-126.
31. Кустов М.В., Федоряка О.І. Використання нейромережових технологій у визначенні рівня небезпеки локальної території. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 422.
32. Кустов М.В., Федоряка О.І. Математична модель інтенсивності руху пожежних автомобілів по транспортним комунікаціям з різними

- характеристиками. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 468.
33. Кустов М.В., Федоряка О.І. Особливості структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ У, 2022. С. 114-115.
34. Кустов М.В., Федоряка О.І. Особливості оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території з урахуванням нерівномірності факторів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 231-233.
35. Кустов М.В., Федоряка О.І. Розроблено автоматизований програмний комплекс Fire Emergency Department Direction. Матеріали круглого столу «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням». Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 134-135.
36. Кустов М.В., Федоряка О.І. Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022. С. 177-178.
37. Кустов М.В., Федоряка О.І. Автоматизована програма управління пожежними підрозділами. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 147.
38. Кустов М.В., Федоряка О.І. Особливості програмної реалізації методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків:

НУЦЗ України, 2023. С. 297.

39. Федоряка О.І., Кустов М.В. Аналіз ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях різної щільності населення та промислово-технічного навантаження. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 161-163.
40. Федоряка О.І., Кустов М.В. Особливості математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях. «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням». Матеріали круглого столу. Харків: НУЦЗУ, 27 жовтня 2023. С. 166-167.
41. Зуруєва К.О., Федоряка О.І., Корнієнко Р.В. Програмний комплекс для управління екстреними службами. The IX International Scientific and Practical Conference «Promising ways of information technology development», November 13-15, 2023, Bilbao, Spain. P. 368-371.
42. Kravtsiv S. Ya., Sobol O. M., Maksimov A. V. The anasysis of integral risks of the territoire of Ukraine. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків. 2016. Вип. 23. С. 53–60.
43. Kravtsiv S. Ya., Sobol O. M., Samiliv T. Ya. Determination of the limits of the application of the statistical method for evaluation integral fire risks. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків. 2018. Вип. 27. С. 47–51.
44. Jain S., Jain S., Jain G. Traffic congestion modelling based on origin and destination. Procedia Engineer. 2017. № 187. P. 442–450.
45. Постанова КМУ від 27 листопада 2013 р. № 874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів

- господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)», Київ. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення 27.02.2024).
46. Національний стандарт України. ДСТУ 8767:2018. «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування». Київ. (ДП «УкрНДНЦ»). 2018. Чинний від 2019–01–01
47. Постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004 № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-п>. (дата звернення 27.02.2024).
48. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.06.2015 № 409 «Про затвердження Типового положення про регіональну та місцеву комісію з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/409-2015-п>. (дата звернення 27.02.2024).
49. Закон України 157-13 від 5 лютого 2015 року «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-19> (дата звернення 27.02.2024).
50. Закон України від 21.05.1997 № 280/97-ВР «Про місцеве самоврядування в Україні» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр>. (дата звернення 27.02.2024).
51. Постанова Кабінету Міністрів України від 21.08.2013 № 616 «Про затвердження Положення про добровільні формування цивільного захисту» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2013-п>. (дата звернення

- 27.02.2024).
52. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. (дата звернення 27.02.2024).
 53. Постанова Кабінету Міністрів України від 11.01.2017 № 5 «Про затвердження Порядку здійснення постійного та обов'язкового аварійно-рятувального обслуговування суб'єктів господарювання, галузей та окремих територій» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5-2017-п>. (дата звернення 27.02.2024).
 54. Постанова Кабінету Міністрів України від 13.11.2013 № 828 «Про затвердження Порядку атестації аварійно-рятувальних служб і рятувальників» // Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/828-2013-п>. (дата звернення 27.02.2024).
 55. Національний стандарт України. ДСТУ ISO 16732-1:2018 (ISO 16732-1:2012, IDT) «Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 1. Загальні положення. ДП «УкрНДНЦ». Чинний від 01.10.2019
 56. Хайкин С. Нейронные сети. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
 57. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
 58. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюнник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія. Х.: НУЦЗУ, 2016. 319 с.
 59. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Yu., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on

- measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise*, 2021. Vol. 4/10 (106). P. 37–44.
60. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Krainiukov O., Harbuz S., Bezuhla Yu., Morozov I. Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector. *EEJET*. 2020. V. 2/10 (104). P. 6–12.
 61. Semko A. N., Beskrovnaya M. V., Vinogradov S. A., Hritsina I. N., Yagudina N. I. The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2014. V. 52(3). P. 655–664.
 62. Dong X. M., Li Y., Pan Y. L., Huang Y. J., Cheng X. D. Study on urban fire station planning based on fire risk assessment and GIS technology. *Procedia engineering*. 2018. V. 211. P. 124–130.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.129>
 63. Liu Z. G., Li X. Y., Jomaas G.. Effects of governmental data governance on urban fire risk: A city-wide analysis in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. V. 78. 103138.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103138>
 64. Pospelov B., Rybka E., Meleshchenko R., Krainiukov O., Biryukov I., Butenko T., Yashchenko O., Bezuhla Yu. Short-term fire forecast based on air state gain recurrency and zero-order Brown model. *EEJET*. 2021, V. 3/10 (111). P. 27–33.
 65. Sadkovyi V., Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Rud A., Karpets K., Bezuhla Yu. Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *EEJET*. 2020. V. 6/10(108). P. 14–22.
 66. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Samoilo M., Krainiukov O., Biryukov I. Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *EEJET*. 2021. V. 2/10(110). P. 43-50.
 67. Resolution of the CMU № 715 05.09.2018 «On the approval of the criteria by which the degree of risk from economic activity is assessed and the

periodicity of planned measures of state supervision (control) in the field of man-made and fire safety by the State Service for Emergency Situations is determined» Kyiv, 2018, 9 p.

68. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Karpets K., Pirohov O., Semenyshyna I., Kapitan R. Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. *EEJET*. 2019. V. 6/4(102). P. 39–46.
69. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *EEJET*. 2017. V. 2/9(86). P. 32–37.
70. Jain S., Jain S., Jain G. Traffic congestion modelling based on origin and destination. *Procedia Engineer*. 2017. V. 187. P. 442–450.
71. Dubinin D., Lisniak A., Ostapov K., Hrytsyna I., Hovalenkov S. Research and justification of the time for conducting operational actions by fire and rescue units to rescue people in a fire. *Sigurnost*. 2022. V. 64(1). P. 35–46.
72. Matthews P. Station design: a GIS approach to fire station and EMS projects. *Firehouse*. 2018. P. 12–18.
73. Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J. C., Li X., Liu R. A state-of-the-art review on the integration of building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS). *ISPRS IJGI*. 2017. V. 6(2). P. 53.
74. Keane R. E., Drury S. A., Karau E. C., Hessburg P. F., Reynolds K. M. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*. 2010. V. 221. P. 2–18.
75. Changxi M., Jibiao Zh., Xuecai (Daniel) X., Jin X. Evolution Regularity Mining and Gating Control Method of Urban Recurrent Traffic Congestion: A Literature Review. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 13.
76. Jia X., Gao Y., Wei B., Wang S., Tang G., Zhao Z. Risk assessment and regionalization of fire disaster based on analytic hierarchy process and MODIS data. A case study of inner Mongolia, China. *Sustainability*. 2019. V. 11(22). P. 6263.
77. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за

2018 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html>

78. Постанова Кабінету Міністрів України №715 від 5 вересня 2018 року «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій». Київ 2018. 9 с.
79. Keane R. E. Drury S. A., Karau E. C., Hessburg P. F., Reynolds K. M. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*. 2010. V. 221. P. 2–18. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.022
80. Стоян Ю. Г., Яковлев С. В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев : наук. думка, 1986. 268 с.
81. Рвачев В. Л., Стоян Ю. Г., Глушков А. Г. К вопросу о поиске абсолютного экстремума в одной задаче оптимального раскроя. Алгоритмические языки, оптимизация, программирование. Киев, 1966. Вып. 2. № 2. С. 81–86.
82. Рвачев В. Л. Об аналитическом описании некоторых геометрических объектов. Доклады АН Украины. Киев, 1963. № 4. С. 765–767.
83. Яковлев С. В. О комбинаторной структуре задач оптимального размещения геометрических объектов. Доклады НАН Украины. Киев, 2017. № 9. С. 26-32. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.026>
84. Яковлев С. В. Метод искусственного расширения пространства в задачах размещения геометрических объектов. Кибернетика и системный анализ. Киев, 2017. Т. 53, № 5. С. 82–89.
85. Яковлев С. В., Карташов О. В., Коробчинский К. П. Метод змінних радіусів в задачі розміщення нерівних кіл. Інтегровані комп'ютерні

- технології в машинобудуванні : зб. тез. доп. Міжнар. наук.-техн. конф., м. ІваноФранківськ, 11–16 вересня 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. С. 319–322.
86. Комяк В. М., Соболев О. М., Чапля Ю. С. Постановка задачі оптимального розміщення неорієнтованих плоских геометричних об'єктів з 166 кусково-нелінійними границями. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ, 2013. №. 91. С. 216–219.
87. Соболев О. М., Комяк В. М., Чапля Ю. С. Метод оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусковонелінійними границями у прямокутній області змінної довжини. Наукові нотатки. Луцьк, 2015. № 48. С. 107–111.
88. Яремчук С. І., Шаповалов Ю. О. Оптимізація розміщення об'єктів, які можна розкласти на прямокутники. Радиоелектроника и информатика. Харків, 2006. № 1. С. 87–90. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiyarozmischennya-ob-ektiv-yaki-mozhna-rozklasti-na-pryamokutniki>.
89. Шаповалов Ю. О., Яремчук С. І. Оптимізація розміщення прямокутних об'єктів на опуклій області методом гілок та меж. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. Житомир, 2004. Т. 2. № 4 (31). С. 161–167.
90. Мурин М. Н., Чуб І. А., Новожилова М. В. Математическое обеспечение решения задачи размещения прямоугольников с изменяемыми метрическими характеристиками. Системы обработки информации. Харьков, 2012. Вып. 7 (105). С. 195–199.
91. Trivella A., Pisinger D. The load-balanced multi-dimensional bin-packing problem. Computers & Operations Research. 2016. Т. 74. С. 152–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.04.020>.
92. Amossen R., Pisinger D. Multi-dimensional bin packing problems with guillotine constraints. Computers & Operations Research. 2010. Т. 37. №. 11. С. 1999–2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.01.017>.

93. Pisinger D., Sigurd M. Using decomposition techniques and constraint programming for solving the two-dimensional bin-packing problem. *INFORMS Journal on Computing*. 2007. T. 19. №. 1. C. 36–51. DOI: <https://doi.org/10.1287/ijoc.1060.0181>.
94. Lodi A., Martello S., Monaci M. Two-dimensional packing problems: A survey. *European journal of operational research*. 2002. T. 141. №. 2. C. 241–252. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00123-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00123-6).
95. Lodi A., Martello S., Vigo D. Recent advances on two-dimensional bin packing problems. *Discrete Applied Mathematics*. 2002. T. 123. №. 1–3. C. 379–396. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00347-X](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00347-X).
96. Martello S., Monaci M., Vigo D. An exact approach to the strip-packing problem. *INFORMS Journal on Computing*. 2003. T. 15. № 3. C. 310–319. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00347-X](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00347-X).
97. Bortfeldt A. A Genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces. *European Journal of Operational Research*. 2006. T. 172. №. 3. C. 814–837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.11.016>
98. Kenmochi M. et al. Exact algorithms for the two-dimensional strip packing problem with and without rotations. *European Journal of Operational Research*. 2009. T. 198. №. 1. C. 73–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.08.020>
99. Cui Y. et al. A recursive branch-and-bound algorithm for the rectangular guillotine strip packing problem. *Computers & Operations Research*. 2008. T. 35. №. 4. C. 281–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.08.011> .
100. Martello S. et al. Algorithm 864: General and robot-packable variants of the three-dimensional bin packing problem. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*. 2007. T. 33. №. 1. C. 7. DOI: <https://doi.org/10.1145/1206040.1206047>.
101. Соболь О. М., Арнаго Г. В., Олійник Т. М. Спосіб нерегулярного розбиття незв'язної множини багатокутниками зі змінними метричними

характеристиками. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Т. 8. №. 2. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/50/9>

102. Комяк В. В. Моделі та методи розбиття і трасування для оцінки шляхів евакуації у висотних будівлях при проектуванні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.05.02. Харків, 2014. 24 с.
103. Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Доценко Ю. В. Побудова моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції. ВосточноЕвропейский журнал передових технологій. Харків, 2013. №. 4 (3). С. 15–17.
104. Коссе А.Г. Метод раціонального розміщення пожежних депо при проектуванні і оновленні районів міста : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 21.06.02. Харків, 2001. 23 с.
105. Собина В. О. Раціональне покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.01.01. Мелітополь, 2012. 22 с.
106. Alexandris G., Giannikos I. A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities. *European Journal of Operational Research*. 2010. № 202. P. 328-338.
107. Chuvieco E., Aguado I., Jurdao A S., Pettinari M. L. Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*. 2014. P. 1–15.
108. Abt K. L., Butry D. T., Prestemon J. P., Scranton S. Effect of fire prevention programs on accidental and incendiary wildfires on tribal lands in the United States // *International Journal of Wildland Fire*. 2015. № 24. P. 749–762.
109. Keane R. E. Drury S. A., Karau E. C., Hessburg P. F., Reynolds K. M. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*. 2010. V. 221. P. 2–18.
110. Venkatesh K., Puneet K., Muhammad M. R. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety // *PSU Research Review*:

An International Journal. 2020. V. 4. № 1. P. 1–23.

111. Green L. V., Kolesar P. J. Improving emergency responsiveness with management science. *Management Science*. 2017. Vol. 50(8). P. 1001-1014. doi:10.1287/mnsc.1040.0253
112. Ko Y. D., Song B. D., Morrison R. J., Hwang H. Location Design For Emergency Medical Centers Based On Category of Treatable Medical Diseases and Center Capability. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*. 2014. Vol. 21(3). P. 117-128. doi:10.23055/ijietap.2014.21.3.1270
113. Kwan M. P., Lee J. Emergency response after 9/11: the potential of real time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. *Computers, environment and urban systems*. 2005. Vol. 29(2). P. 93-113. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2003.08.002
114. Lai M. C., Sohn H. S., Tseng T. L., Bricker L. D. A Hybrid Benders/Genetic Algorithm for Vehicle Routing and Scheduling Problem. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*. 2012. Vol. 19(1). P. 33-46. doi:10.23055/ijietap.2012.19.1.610
115. Liu N., Huang B., Chandramouli M. Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. *Journal of computing in civil engineering*. 2006. Vol. 20(5). P. 361-369. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(2006)20:5(361)
116. Bolstad P. GIS fundamentals: A first text on geographic information systems. Eider (PressMinnesota). 2016. P. 178. <http://repository.ntt.edu.vn/jspui/handle/298300331/2885>
117. Castronova A. M., Goodall J. L., Elag M. M. Models as web services using the open geospatial consortium (ogc) web processing service (wps) standard. *Environmental Modelling & Software*. 2013. № 41. P. 72-83. DOI: 10.1016/j.envsoft.2012.11.010
118. Геоінформаційна система попередження надзвичайних ситуацій. Розроблено MagneticOne Municipal Technologies. 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://magneticonegis.maps.arcgis.com/apps/>

webappviewer/index.html?id=c3ee695327424c9390fc610ce55a409b

119. Şen A., Önden İ., Gökgöz T., Şen C. A GIS approach to fire station location selection. *GeoInformation for disaster management*. 2011. P. 10-15.
120. Linn K. N. Z., Lupin S., Linn H. H. Analysis of the effectiveness of fire station locations using GIS-model. In 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus). 2019. pp. 1840-1843.
121. Chuvieco E., Aguado I., Jurdao S., Pettinari M. L. et al. Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 2014. pp. 1 – 15.
122. Martí'nez J., Vega-Garcí'a C, Chuvieco E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*. № 90. 2009. pp. 1241–1252.
123. Venkatesh K., Puneet K. and Muhammad M. Rafi. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review: An International Journal*. Vol. 4. No. 1, 2020. pp. 1-23.
124. Рогозін А.С., Хоменко В.С., Райз Ю.М. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Випуск 16, 2012. С. 95 – 106.
125. Наказ МВС України від 07.10.2014 № 1032 «Про затвердження Порядку організації внутрішньої, гарнізонної та караульної служб в органах управління і підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій» Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 04 грудня 2014 р. за № 1563/26340.
126. Leung F. H. F., Lam H. K., Ling S. H., Tam P. K. S. Tuning of the structure and parameters of a neural network using an improved genetic algorithm. *IEEE Transactions on Neural networks*, 2003. Vol. 14(1), P. 79-88.
127. Kim J. H., Kim B. G., Roy P. P., Jeong D. M. Efficient facial expression

recognition algorithm based on hierarchical deep neural network structure. IEEE access, 2019. Vol. 7, P. 41273-41285.

128. Тютюник В.В. Нейромережеве прогнозування залежності рівня техногенної небезпеки регіонів України від умов життєдіяльності. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. № 1(18). С. 191–196.
129. Otrosh Yu., Semkiv O., Rybka E., Kovalov A. About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. №708(1). 012065.
130. Kovalov A., Otrosh Y., Vedula S., Danilin O. Parameters of fire-retardant coatings of steel constructions under the influence of climatic factors. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. V. 3. P. 46–53.
131. Chuvieco E., Aguado I., Jurdao S., Pettinari M. L., Yebra M., Salas J., Martínez-Vega F. J. (2012). Integrating geospatial information into fire risk assessment. International journal of wildland fire. V. 23(5). P. 606-619.
132. Pospelov B., Rybka E., Togobytska V., Meleshchenko R., Danchenko Yu. Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. V. 4/10 (100). P. 22–29.
133. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M. Physical features of pollutants spread in the air during the emergency at NPPs. Nuclear and Radiation Safety. 2019. V. 4/84. 11.
134. Roy S., Swetnam T., Trochim E., Schwehr K., Pasquarella V. samapriya/awesome-gee-community-datasets: Community Catalog (1.0.3). Zenodo. 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7514665>
135. Lang N., Jetz W., Schindler K., Wegner, J. D. A high-resolution canopy height model of the Earth. (2022). arXiv preprint arXiv:2204.08322.

136. Kustov M. V., Kalugin V. D., Hristich O. V., Hapon Y. K. Recovery Method for Emergency Situations with Hazardous Substances Emission into the Atmosphere. IJSSE. 2021. V. 11(4). P. 419-426.
137. Melnichenko A., Kustov M., Basmanov O., Tarasenko O., Bogatov O., Kravtsov M., Petrova O., Pidpala T., Karatieieva O., Shevchuk N. (2022). Devising a procedure to forecast the level of chemical damage to the atmosphere during active deposition of dangerous gases. EEJET. V. 1/10(115). P. 31–40.
138. Morozov V., Iarkov S. The application of lane occupancy parameter for solving tasks of traffic management // Transportation Research Procedia. 2018. vol. 36. P. 520-526. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.141
139. Wang W. X., Guo R. J., Yu J. Research on road traffic congestion index based on comprehensive parameters: Taking Dalian city as an example. Advances in Mechanical Engineering. 2018. Vol. 10(6) P. 1–8. DOI: 10.1177/1687814018781482
140. Changxi Ma, Jibiao Zhou, Xuecai (Daniel) Xu, Jin Xu, Evolution Regularity Mining and Gating Control Method of Urban Recurrent Traffic Congestion: A Literature Review. Journal of Advanced Transportation. 2020. vol. 2020. P. 13. DOI: 10.1155/2020/5261580
141. Комяк В. М., Соболев О. М., Кравців С. Я. Модель та метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами. Науковий вісник Таврійського державного агротехнічного університету. 2018. Вип. 8. Т. 1. С. 11–22. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V8T1.html>
142. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2023 року. Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. Київ. 2024. 39 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/2/0/1/8/2/6/2/analitychna-dovidka-pro-pojeji-122023.pdf>

ДОДАТОК А

Список публікацій за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Кустов М.В., Тютюнник В.В., **Федоряка О.І.** Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. Проблеми пожежної безпеки. Харків: НУЦЗ України, 2020. Випуск 48. С. 83-93. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить аналіз статистики виникнення пожеж в житлових та промислових будинках та визначення визначальних факторів пожежної небезпеки таких об’єктів.

2. Кустов М.В., Соболев О.М., **Федоряка О.І.** Територіальне розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗ України, 2021. Випуск 33. С. 181-192. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить аналітичний огляд різних підходів до оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів, формалізація задачі моделювання територіального розміщення пожежних підрозділів з різними кількісними та якісними властивостями, визначення припущень, які використовуються в процесі моделювання.

3. Кустов М.В., Морщ Є.В., **Федоряка О.І.**, Сошинський О.І., Савченко О.В. Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗ України, 2021. Випуск 34. С. 122-133. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить розробка структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами, та формулювання алгоритму роботи геоінформаційної системи та взаємодії з нею.

4. Kustov M., **Fedoryaka O.**, Kononovych V., Khalmuradov B., Borodych P., Kurtseitov T., Nikitin A., Romaniuk V., Meshcheriakov I., Veretennikova Ju. Level of fire danger of the local territory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kharkiv: PC Technology Center, 2023. Volume 2. Issue 10 (122). P. 31-38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276653> (Включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, DOAJ, EBSCOhost, BASE, CAS Source Index, ROAD, MIAR, CrossRef).

Здобувачу особисто належить розробка прогностичної нейромережевої моделі для оцінки рівня пожежної безпеки локальної території, перевірка адекватності роботи запропанованої моделі та алгоритму оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території.

5. Кустов М. В., **Федоряка О. І.**, Корнієнко Р. В. Ефективність методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗ України, 2022. Випуск 36. С. 54-65. (Включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Academic Research Index – ResearchBib, Ulrich’s Periodicals Directory).

Здобувачу особисто належить розробка методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності та перевірка його працездатності.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. «World science: problems, prospects and innovations». Toronto: Perfect Publishing, 2020. P. 781-790. (Форма участі – заочна інтернет-конференція).

Здобувачу особисто належить обґрунтування визначальних факторів рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст.

7. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості математичної моделі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали XIV Науково-технічної конференції НДІ мікрографії «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії». Харків: НДІ мікрографії, 2021. С. 42. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить порівняльний аналіз існуючих методів та математичних моделей для оптимізації територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

8. Кустов М.В., **Федоряка О.І.**, Манжелей А.О. Управління пожежними підрозділами: геоінформаційний аспект. Збірник доповідей 147 Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) «Безпека людини у сучасних умовах». Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. 188-189. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить аналіз існуючих геоінформаційних систем управління аварійно-рятувальними підрозділами та розробка концепції геоінформаційної системи для оптимізації керування пожежними підрозділами на пожежі.

9. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Формулювання задачі розміщення пожежних підрозділів з різною кількістю сил та засобів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 125-126. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка визначального мінімізаційного рівня з урахуванням припущень щодо мінімізації областей перетину та часу прямування на пожежу.

10. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Використання нейромережевих технологій у визначенні рівня небезпеки локальної території. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та

перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2021. С. 422. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка та опис нейромережевої моделі визначення рівня пожежної небезпеки локальної території та запропоновано алгоритм для її самонавчання.

11. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Математична модель інтенсивності руху пожежних автомобілів по транспортним комунікаціям з різними характеристиками. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 468. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка моделі швидкості руху пожежних автомобілів по транспортних шляхах з різним покриттям та різної інтенсивності руху та перевірка працездатності цих моделей.

12. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 114-115. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка пошарової структури геоінформаційної системи управління пожежними підрозділами та інтеграція розроблених математичних моделей до неї

13. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території з урахуванням нерівномірності факторів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 231-233. (Форма участі – інтернет-конференція).

Здобувачу особисто належить визначення основних відмінностей між оцінкою рівня пожежної небезпеки щільнонаселених міст та об'єднаних територіальних громад та розробка алгоритму оцінки визначальних факторів.

14. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Розроблено автоматизований програмний комплекс Fire Emergency Department Direction. Матеріали круглого столу «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням». Харків: НУЦЗ України, 2022. С. 134-135. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка автоматизованого програмного комплексу для оптимізації роботи пожежних підрозділів та інтеграція розроблених моделей у програмний комплекс.

15. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Геоінформаційна система управління пожежними підрозділами. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022. С. 177-178. (Форма участі – заочна)

Здобувачу особисто належить перевірка працездатності розробленого програмного комплексу та порівняння теоретичних та практичних результатів.

16. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Автоматизована програма управління пожежними підрозділами. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 147. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка програмного алгоритму оптимізації територіального розміщення пожежними підрозділами.

17. Кустов М.В., **Федоряка О.І.** Особливості програмної реалізації методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations». Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 297. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить розробка інтерактивних інформаційних шарів для пожежі, потенційно-небезпечних об'єктів та пожежних підрозділів..

18. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Аналіз ефективності методу територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях різної щільності населення та промислово-технічного навантаження. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. С. 161-163. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить перевірка ефективності розробленого методу розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

19. **Федоряка О.І.**, Кустов М.В. Особливості математичної моделі просторового розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності на локальних територіях. «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням». Матеріали круглого столу. Харків: НУЦЗУ, 27 жовтня 2023. С. 166-167. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить обґрунтування порангового розбіття ступення пожежної небезпеки об'єктів та територій та пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

20. Зуруєва К.О., **Федоряка О.І.**, Корнієнко Р.В. Програмний комплекс для управління екстреними службами. The IX International Scientific and Practical Conference «Promising ways of information technology development», November 13-15, 2023, Bilbao, Spain. P. 368-371. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить інтеграція інтерактивних мап до автоматизованого програмного комплексу та додавання шару інтенсивності автотранспортного потоку по шляхам.

ДОДАТОК Б

Лістинги програми Fire Emergency Department Direction

```

var uluru;

    var map;
    var infoWindow;
    var infoWindow1;
    var coords;
    var contentString1;
    // Initialize and add the map
    function initMap() {
        directionsService = new
google.maps.DirectionsService();
        directionsRenderer = new
google.maps.DirectionsRenderer();
        uluru= { lat: 50.00046816708101, lng: 36.24024263993001
};

        map = new
google.maps.Map(document.getElementById("map"), {
            zoom: 10,
            center: uluru,
            disableDefaultUI: true,
        });
        infoWindow= new google.maps.InfoWindow({
            content: contentString1,
        });

        directionsRenderer.setPanel(document.getElementById('directionsPanel')
);

        if(localStorage.length>0){
            for(var i=0; i<localStorage.length;i++){
                var key1=localStorage.key(i);
                var returnObj =
JSON.parse(localStorage.getItem(key1));
                var coordsObj=returnObj.coords;

                var coords_all=coordsObj.split(';');
                contentString='<div
id="test">'+<h2>'+returnObj.name+'</h2>'+'\n'+<h4>'+ 'P̣PsPSC, P°PeC, PSP° C-
PSC,,PsC̣PjP°C†C-
C̣'+</h4>'+'\n'+<span>'+returnObj.contact+'<span>'+'\n'+<h4>'+ 'C-PSCEP° C-
PSC,,PsC̣PjP°C†C-
C̣'+</h4>'+'\n'+<span>'+returnObj.tehnika+'</span>'+</div>';
                let marker = new google.maps.Marker({
                    position: new
google.maps.LatLng(coords_all[0] , coords_all[1]),
                    map: map,
                    content:contentString,
                    icon: returnObj.icon
                });

                showMarker(marker,returnObj);

            }

        }

        map.addListener("click", function(e) {
            placeMarkerAndPanTo(e.latLng, map),false);
        }

//window.initMap = initMap;
window.initMap = initMap;

```

```

function showMarker(marker,returnObj){
    var infoWindow1;

    marker.addListener("mouseover", function(e){
        infoWindow1=new google.maps.InfoWindow({
content:marker.content
                                                                    });
        console.log(marker.content); //
infoWindow1.open(map,marker);
    });
    marker.addListener("mouseout", function(e){
                                                                    infoWindow1.close();
    });
    marker.addListener("click", function(e){
        var metka='';
        for(var item in
localStorage){
                                                                    var Obj =
JSON.parse(localStorage.getItem(item));
        if(returnObj.coords==Obj.coords){
            metka=item;
            editMarker(returnObj,marker,metka);
                                                                    }
        }
    });
}

function editMarker(returnObj,marker,metka){
    var coords='\''+returnObj.coords+'\'';
    iconbase=returnObj.icon;
    infoWindow.close();
    if(returnObj.icon=="/gmaps/images/firestation.png"){
        infoWindow.setContent('<div
style="width: 300px; height: 400px;" id="close">\n' +
        '    <h3>PµPsP¶PµP¶PSP°
C#P°CfC,PëPSP°</h3>\n' +
        '    <label
for="inpt1">PĶP°P·PIP° PsP±\'C"PeC,Cř</label>\n' +'</br>'+
        '    <input type="text"
id="inpt1" value="'+returnObj.name+'">\n' +'</br>'+
        '    <label
for="inpt2">PµPsPSC,P°PeC,PSP° C-PSC,,PsCBPjP°C+C-C¶</label>\n'+</br>'+
        '    <textarea type="text"
id="inpt2" style="width: 210px; height:
100px;">'+returnObj.contact+'</textarea>\n'+</br>'+
        '    <label
for="inpt3">PÿPµC...PSC-PeP° PI PSP°C¶PIPSPsCfC,C-</label>\n'+

```

```

        ' <textarea type="text"
id="inpt3" style="width: 210px; height:
100px;">'+returnObj.tehnika+'</textarea>\n'+</br>'+
        ' <input type="button"
value="P·P±PµCᄁPµPiC, Pë"
onclick="sbmtText ('+coords+', '+'\'+metka+'\'+')">\n' +
        ' </div>');
    }
    if (returnObj.icon == "/gmaps/images/fire.png") {
        infoWindow.setContent ('<div
style="width: 300px; height: 400px;" id="close">\n' +
        ' <h3>PµPsPᄁPµPᄁP°</h3>\n' +
        ' <label
for="inpt1">PᄁP°P·PIP° PsP±\ 'C"PeC, Cᄁ</label>\n'+</br>'+
        ' <input type="text"
id="inpt1" value="'+returnObj.name+'">\n' +</br>'+
        ' <label
for="inpt2">PᄁPsPSC, P°PeC, PSP° C-PSC,,PsCᄁPjP°C+C-Cᄁ</label>\n'+</br>'+
        ' <textarea type="text"
id="inpt2" style="width: 210px; height:
100px;">'+returnObj.contact+'</textarea>\n'+</br>'+
        ' <label
for="inpt3">P±PSC,,PsCᄁPjP°C+C-Cᄁ PiCᄁPs PiPsPᄁPµPᄁCᄁ</label>\n'+</br>'+
        ' <textarea type="text"
id="inpt3" style="width: 210px; height:
100px;">'+returnObj.tehnika+'</textarea>\n'+</br>'+
        ' <input type="button"
value="P·P±PµCᄁPµPiC, Pë"
onclick="sbmtText ('+coords+', '+'\'+metka+'\'+')">\n' +
        ' </div>');
    }
    infoWindow.open({
        anchor: marker,
        map,
        shouldFocus: false,
    });
}

function placeMarkerAndPanTo (latLng, map) {
    var marker = new google.maps.Marker({
        position: latLng,
        map: map,
        icon: iconbase
    });
    map.panTo (latLng);

    marker.addListener ("click", function (e) {
        for (var i = 0; i < localStorage.length; i++) {
            key = localStorage.key (i);
            var returnObj =
JSON.parse (localStorage.getItem (key));
            var coordsObj = returnObj.coords;
            var coords_all = coordsObj.split (';');

            if (e.latLng.lat ().toString () == coords_all [0] ||
e.latLng.lng.toString () == coords_all [1]) {

                // infoWindow.close ();

```

```

var infoWindow1=new
google.maps.InfoWindow({
    content:contentString
});
infoWindow1.open(map,marker);

//infoWindow.open(marker.getMap(), marker);
return false;
}

}
coords=e.latLng.lat()+','+e.latLng.lng();
infoWindow.close();
if(iconbase=="/gmaps/images/firestation.png"){
infoWindow.setContent('<div
style="width: 300px; height: 400px;" id="close">\n' +
'    <h3>PµPSP¶PµP¶PSP°
C†P°CÍC,PèPSP°</h3>\n' +
'    <label
for="inpt1">PĶP°P·PIP° PsP±\ 'C"PeC,Cř</label>\n' +'</br>'+
'    <input type="text"
id="inpt1">\n' +'</br>'+
'    <label
for="inpt2">PµPSPSC,P°PeC,PSP° C-PSC,,PsCĤPjP°C†C-C¶¶</label>\n'+</br>'+
'    <textarea type="text"
id="inpt2" style="width: 210px; height: 100px;"></textarea>\n'+</br>'+
'    <label
for="inpt3">PŸPµC...PSC-PeP° PI PSP°C¶PIPSPScřC,C-</label>\n'+
'    <textarea type="text"
id="inpt3" style="width: 210px; height: 100px;"></textarea>\n'+</br>'+
'    <label
for="metka">PSP°P·PIP° PjC-C,PePè</label>\n' +'</br>'+
'    <input type="text"
id="metka"><br><br>\n' +
'    <input type="button"
value="P·P†PµCĤPµPiC,Pè"
onclick="sbmtText(coords,document.getElementById(\'metka\').value)">\n' +
'</div>');
}
if(iconbase=="/gmaps/images/fire.png"){
infoWindow.setContent('<div
style="width: 300px; height: 400px;" id="close">\n' +
'    <h3>PµPSP¶PµP¶P°</h3>\n' +
'    <label
for="inpt1">PĶP°P·PIP° PsP±\ 'C"PeC,Cř</label>\n'+</br>'+
'    <input type="text"
id="inpt1">\n' +'</br>'+
'    <label
for="inpt2">PµPSPSC,P°PeC,PSP° C-PSC,,PsCĤPjP°C†C-C¶¶</label>\n'+</br>'+
'    <textarea type="text"
id="inpt2" style="width: 210px; height: 100px;"></textarea>\n'+</br>'+
'    <label
for="inpt3">P†PSC,,PsCĤPjP°C†C-C¶¶ PiCĤPs PiPsP¶PµP¶Cř</label>\n'+</br>'+
'    <textarea type="text"
id="inpt3" style="width: 210px; height: 100px;"></textarea>\n'+</br>'+
'    <label
for="metka">PSP°P·PIP° PjC-C,PePè</label>\n' +'</br>'+
'    <input type="text"
id="metka"><br><br>\n' +
'    <input type="button"
value="P·P†PµCĤPµPiC,Pè"
onclick="sbmtText(coords,document.getElementById(\'metka\').value)">\n' +

```

```

        '</div>');
    }

    infoWindow.open({
        anchor: marker,
        map,
        shouldFocus: false,
    });
    //infoWindow.open(marker.getMap(), marker);
});

}

function sbmtText(coords,metka) {
    console.log('test');
    var name=document.getElementById('inpt1').value;
    var contact=document.getElementById('inpt2').value;
    var tehnika=document.getElementById('inpt3').value;
    console.log(name);
    console.log(contact);
    console.log(tehnika);
    var obj={
        'coords' : coords,
        'name' : name,
        'contact':contact,
        'tehnika':tehnika,
        'icon' : iconbase
    };
    var serial=JSON.stringify(obj);
    localStorage.setItem(metka,serial);
    document.getElementById('inpt1').value='';
    if(document.getElementById('metka')){
        document.getElementById('metka').value='';
    }
    document.getElementById('close').style.display='none';
    document.location.reload();
}

```

ДОДАТОК В

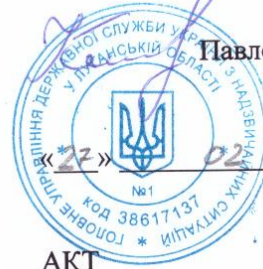
Акти впровадження результатів досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. начальника

Головного управління

ДСНС України у Луганській області



Павло КОРЧАГІН

2024 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

ФЕДОРЯКИ Олега Івановича

Комісія в складі:

Головний фахівець відділу організації, реалізації та готовності підрозділів ДСНС України у Луганській області майор служби ЧЗ, Ф.Т.М., Павлу Тарас Виткович, доктор філософії у галузі науки, Богдан Володимир Сердюк

склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень Олега ФЕДОРЯКИ у вигляді:


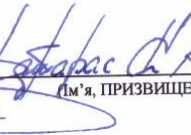
- методика оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території різного масштабу;

- програма сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності Fire Emergency Department Direction,

були впроваджені в практичну діяльність Головного управління ДСНС України у Луганській області при організації цивільного захисту та пожежної безпеки на території Харківської області та при організації сумісного несення служби із практичними підрозділами ГУ ДСНС України у Харківській області.

Акт не є підставою для отримання ФЕДОРЯКОЮ Олегом Івановичем премій та інших винагороди з фондів Головного управління ДСНС України у Луганській області за використання результатів його дисертаційних досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом ФЕДОРЯКИ Олега Івановича дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – «Пожежна безпека».

Головний фахівець ВОР у ДСНС   НАЧУР
 (Посада члена комісії) (Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)
 «24» 02 2024 р.

Головний фахівець ВОР у ДСНС   БАБЕНКО
 (Посада члена комісії) (Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)
 «27» 02 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ



Новопокровський селищний голова

Олена СЛАБІНСЬКА

12 _____ 2023 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
ФЕДОРЯКИ Олега Івановича

Комісія в складі:

Маковецький Владіслав Вікторович, перший заступник селищного
голови;

Ананьєва Наталія Анатоліївна, головний спеціаліст по роботі з
персоналом;

Сергеева Наталія Олександрівна, начальник відділу праці та соціального
захисту населення;

Семерик Андрій Володимирович, провідний спеціаліст з питань
техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій,

склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень Олега
ФЕДОРЯКИ у вигляді:

- методика оцінки рівня пожежної небезпеки об'єднаної територіальної
громади;
- метод визначення оптимального місця розміщення центру допомоги
громадян на території об'єднаної територіальної громади,
були впроваджені в діяльність Новопокровська територіальної громади
Харківської області при організації роботи з цивільного захисту та пожежної
безпеки на території громади та при облаштуванні Новопокровської
територіальної громади центрами допомоги громадян.

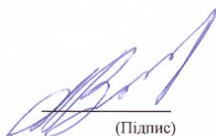
Акт не є підставою для отримання ФЕДОРЯКОЮ Олегом Івановичем
премій та інших винагороди з фондів Новопокровської територіальної
громади Харківської області за використання результатів його дисертаційних
досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом ФЕДОРЯКИ Олега Івановича дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – «Пожежна безпека».

Перший заступник
селищного голови

(Посада члена комісії)

« 15 » 12 2023 р.



(Підпис)

Владіслав МАКОВЕЦЬКИЙ

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Головний спеціаліст по
роботі з персоналом

(Посада члена комісії)

« 15 » 12 2023 р.



(Підпис)

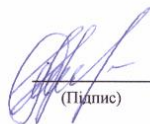
Наталія АНАНЬСВА

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Начальник відділу праці та
соціального захисту населення

(Посада члена комісії)

« 15 » 12 2023 р.



(Підпис)

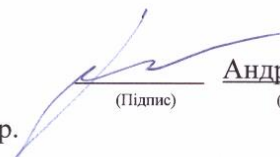
Наталія СЕРГЄЄВА

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Провідний спеціаліст з
питань ТЕБ та НС

(Посада члена комісії)

« 15 » 12 2023 р.



(Підпис)

Андрій СЕМЕРИК

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи
Національного університету цивільного
захисту України
доктор технічних наук, старший науковий
співробітник



АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
ФЕДОРЯКИ Олега Івановича

Комісія в складі:

Голови комісії: начальника кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України, доктора технічних наук, професора Юрія ОТРОША ;

Членів комісії:

- старшого викладача кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, доктора філософії Ніни РАШКЕВИЧ;

- викладача кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Едуарда ЩОЛОКОВА

склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень Олега ФЕДОРЯКИ у вигляді:

- методики оцінки рівня пожежної безпеки населених пунктів за допомогою нейромережових технологій;
- програмний комплекс сукупного розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності Fire Emergency Department Direction (FEDDIR), були впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисципліни «Інноваційні інженерно-технічні заходи пожежної безпеки» Тема 1.4. Розміщення об'єктів та плануванні і забудові міст.

Це дозволило підвищити ефективність навчального процесу та якість викладення аспектів оцінки пожежних ризиків в межах населених пунктів та розбудови міст та об'єднаних територіальних громад із забезпеченням належного рівня пожежної безпеки.

Акт не є підставою для отримання ФЕДОРЯКОЮ Олегом Івановичем премій та інших винагороди з фондів Національного університету цивільного захисту України за використання результатів його дисертаційних досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом ФЕДОРЯКОЮ Олегом Івановичем дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – «Пожежна безпека».

Голова комісії:

Начальник кафедри пожежної профілактики

в населених пунктах НУЦЗУ

« 18 » _____ 01 _____ 2024 р.



Юрій ОТРОШ

Члени комісії:

Старший викладач кафедри

пожежної профілактики в населених пунктах

Викладач кафедри пожежної

профілактики в населених пунктах

« 18 » _____ 01 _____ 2024 р.



Ніна РАШКЕВИЧ



Едуард ЩОЛОКОВ