

УДК 681.5

М. В. Кустов, д.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-6960-6399)

О. М. Соболев, д.т.н., с.н.с., проф. каф. (ORCID 0000-0002-7133-6519)

О. І. Федоряка, ад'юнкта ад'юнктури (ORCID 0000-0001-6381-5985)

ТЕРИТОРІАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

Розроблено математичну модель територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності. Модель заснована на математичних методах геометричного розміщення просторових об'єктів складної форми. Функціональні спроможності пожежних підрозділів ранжовані за кількістю сил та засобів та співставленні з рівнями пожежної небезпеки локальних територій та окремих об'єктів. Запропонований підхід по розподілу об'єктів за окремими рівнями, що відповідають необхідній кількості пожежних підрозділів для забезпечення достатнього рівня пожежної безпеки дозволяє отримувати карту пожежної небезпеки локальної території. Модель територіального розміщення пожежних підрозділів враховує час прямування до місця пожежі з урахуванням існуючої мережі транспортних комунікацій та постадійне нарощування сили та засобів при гасінні масштабних пожеж. Цільовою функцією моделі є мінімізація кількості пожежних підрозділів на окремій локальній території із забезпеченням відповідного рівня пожежної безпеки в кожній точці цієї території. Розв'язання задачі комбінаторної оптимізації за допомогою дерева рішень дозволяє використовувати добре відомі та ефективні способи та алгоритми автоматизованого розв'язання. Розроблена математична модель дозволяє визначити, як найбільш оптимальні місця розміщення пожежних підрозділів в міській забудові, так і допустимі області їх розміщення для допомоги у плануванні забудови головному архітектору міста. Також дана модель дозволяє визначити допустимі області розміщення центрів допомоги громадян на території об'єднаних територіальних громад із сукупним врахуванням районів обслуговування пожежної охорони, швидкої медичної допомоги та поліції. Зворотне вирішення описаної в роботі задачі дозволяє перевіряти правильність вже розміщених пожежних підрозділів та визначати райони міста із недостатнім рівнем захищеності від пожежної загрози.

Ключові слова: локальна територія, рівень безпеки, функціональна спроможність, район обслуговування, розміщення підрозділів

1. Вступ

Для 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 небезпеки об'єктів залежить від багатьох параметрів та може змінюватись в широкому діапазоні. Здатність системи цивільного захисту держави реагувати на пожежі різних масштабів визначається здатністю забезпечувати в визначений час достатню кількість сил та засобів для гасіння пожежі. Всі сили та засоби цивільного захисту, які застосовуються для гасіння пожеж, зосередженні в окремих аварійно-рятувальних підрозділах. В 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. 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 в проведенні оцінки здатності рятувальних підрозділів до забезпечення належного рівня пожежної безпеки в своєму районі виїз-

ду. Крім цього, існує необхідність в оптимізації матеріально-технічного оснащення нових та вже створених підрозділів пожежогасіння у відповідності з існуючими пожежними загрозами в районі обслуговування.

Таким чином, існуюча проблема, полягає у невідповідності функціональних можливостей та місць розміщення пожежних підрозділів рівням пожежної небезпеки районів їх виїзду.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

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, їх територіальне розміщення, наявність та стан шляхів під'їзду до цих об'єктів [1]. У найпростішому вигляді задача розміщення пожежно-рятувальних підрозділів вирішена, як задача розміщення кіл певного радіусу [2]. 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 роботі [3]. Внаслідок врахування транспортних комунікацій район обслуговування пожежно-рятувальним підрозділом отримав вигляд багатокутника. Задачі просторового розміщення багатокутників додатково ускладнюється відмінністю розмірів та форм окремих багатокутників в межах однієї області розміщення [4]. Як показано в роботі [4], оптимізація розміщення пожежних підрозділів дозволяє суттєво знизити інтегральний пожежних ризик локальної території. Вирішення таких задач потребує залучення методів комбінаторної оптимізації. Алгоритм розв'язання таких задач представлено в роботі [5]. 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 проведено в роботі [6]. Запропонований алгоритм дозволяє інтерактивно використовувати цифрові мапи з додатковим нанесенням шарів з транспортною мережею та об'єктами протипожежного захисту [7]. 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 [8] та для лісу [9]. На теперішній час широкого використання набув метод просторового градування територій по ступеням пожежного ризику [10]. 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 [11]. З урахуванням цього у роботі [12] 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.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми невідповідності функціональних можливостей та місць розміщення пожежних підрозділів рівням

пожежної небезпеки районів їх виїзду є відсутність методів та моделей визначення допустимих областей розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка моделі розміщення пожежно-рятувальних підрозділів різної функціональної спроможності з урахуванням пожежних ризиків району виїзду.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

1. Провести градування об'єктів на окремій локальній території за рівнями пожежної небезпеки;
2. Визначити граничні умови, припущення та підходи до моделювання територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності;
3. Розробити математичну модель територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності.

4. Градування об'єктів на окремій локальній території за рівнями пожежної небезпеки

Картографічне градування об'єктів за рівнями небезпеки на локальній території за допомогою нейромережевої системи підрахунку дозволяє отримати мапу пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу (рис. 1) [12].



Рис. 1. Мапа пожежної небезпеки локального району м. Харкова

При цьому кожен рівень небезпеки від 1 до 10 (рис. 1) відповідає кількості сил та засобів, що необхідні для своєчасного гасіння пожежі на відповідному об'єкті (табл. 1).

Табл. 1. Ранжування локальної території за рівнями пожежної небезпеки

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 та ін.).

Якщо екстраполювати результати ранжування на локальну територію більшої площі, до розмірів міста, району, області тощо, то можна отримати піксельне градування території (рис. 2).

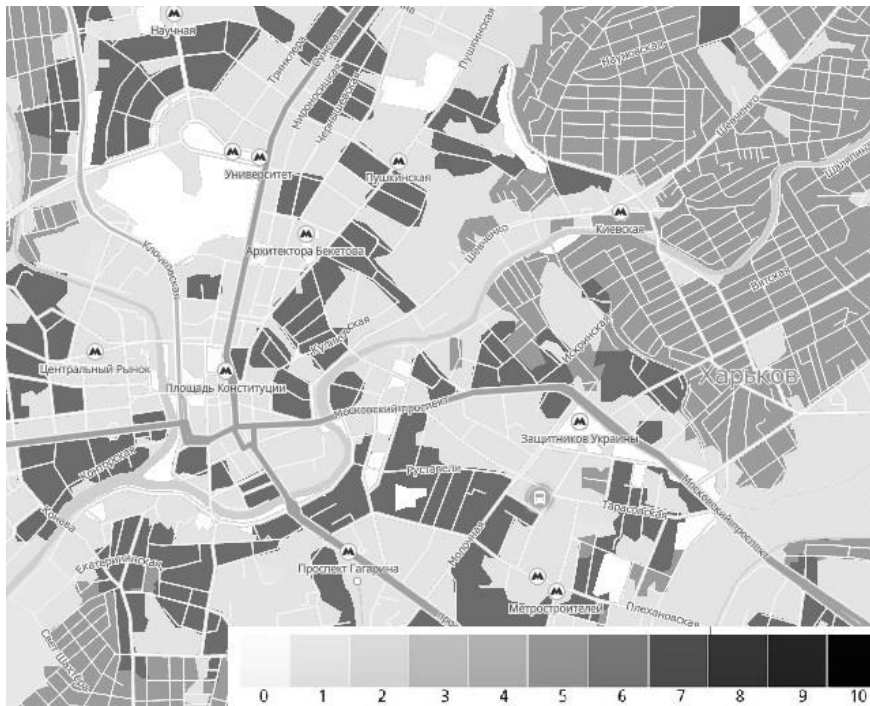


Рис. 2. Приклад піксельного графічного градування локальної території за рівнем пожежної небезпеки

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.

5. Граничні умови, припущення та підходи до моделювання територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Як вже зазначалось вище, просторово район обслуговування окремою пожежно-рятувальною частиною буде мати вигляд багатокутника [4, 5]. Розміри цього багатокутника визначаються відстанями, які може подолати пожежний автомобіль за нормативний час по існуючим в районі автомобільним шляхам комунікацій (рис. 3).

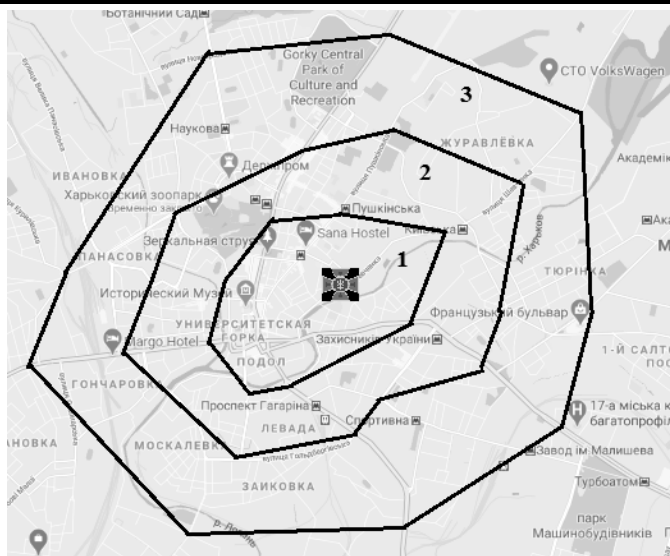


Рис. 3. Багатокутна форма району обслуговування ДПРЧ-9 ГУ ДСНС у Харківській області за певний час: 1 – 10 хв; 2 – 20 хв; 3 – 30 хв

Однак, якщо не обмежуватись одним нормативним часом, то розміри та форма багатокутника буде змінюватись у часі (рис. 3).

Тобто район виїзду окремої пожежно-рятувальної частини в 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, в свою чергу, залежать від часу τ (рис. 4). 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.

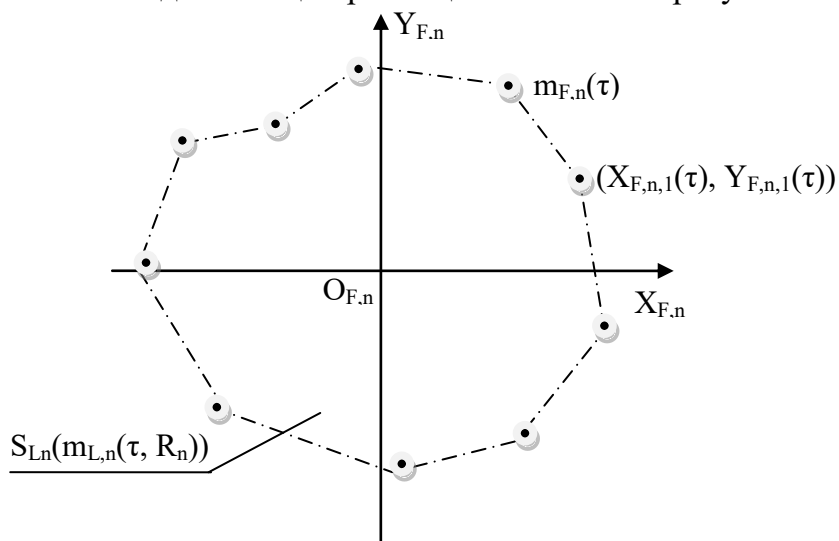


Рис. 4. Багатокутник району обслуговування n -ої пожежно-рятувальної частини

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. 5), 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 1, 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 $S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}, R_{F,n})$.

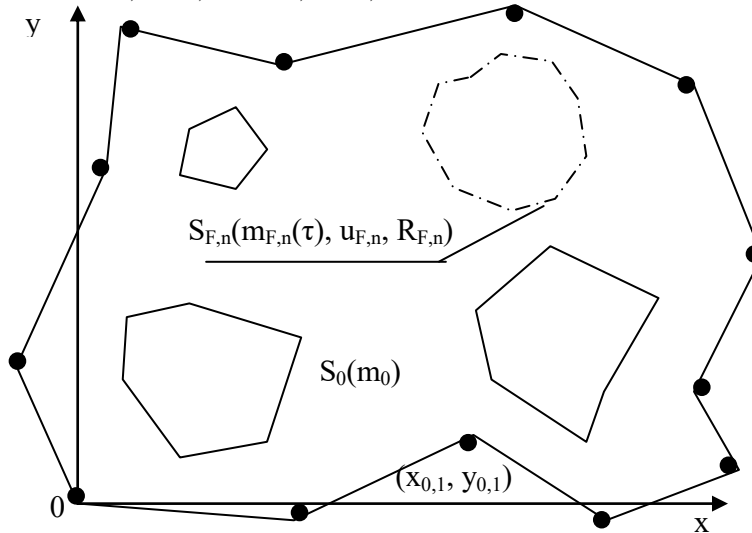


Рис. 5. Графічна інтерпретація розміщення районів обслуговування пожежно-рятувальних частин різної функціональної спроможності в межах адміністративного району

Таким чином, якщо порівняти результати ранжування локальної території за рівнями пожежної небезпеки (рис. 2) та геометричний опис розміщення районів обслуговування пожежно-рятувальних частин (рис. 5), 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:

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

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

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

– 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:

$$\sum_{n=1}^N R_{F,n} \geq R_{L,n}, \quad (2)$$

– нарощування сил та засобів в зоні гасіння пожежі $\sum_{n=1}^N R_{F,n}$ 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:

$$S_{F,n}(m_{F,n}(\tau_0), u_{F,n}) \cap S_{F,h}(m_{F,h}(\tau_0), u_{F,h}) \rightarrow \emptyset; \quad (3)$$

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

– 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 :

$$S_{F,n}(m_{F,n}(\tau), u_{F,n}) \cap cS_0(m_{cS_0}, u_{cS_0}) \rightarrow \emptyset; \quad (4)$$

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

Аналіз загальної моделі оптимального розміщення пожежно-рятувальних підрозділів з урахуванням обмежень спеціального виду свідчить про те, що задача (1)÷(4) 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 (1).

6. Математична модель 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 (2), на другому етапі розв'язується задача оптимізації, тобто здійснюється мінімізація цільової функції (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 $\{x_{L,n}, y_{L,n}\}$;

– так як 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 $R_n = 1, \dots, R_{L,n}$ (рис. 6), які представляють собою граничну область розміщення пожежних підрозділів. Відповідно для кожної окремої області повинна виконуватись умова:

$$\sum_{n=1}^N R_{F,n} \geq R_n, R_n = 1, \dots, R_{L,n} \quad (5)$$

Очевидно, що пріоритетом розміщення пожежних підрозділів будуть області перетину:

$$P_j(x_j, y_j) \in \bigcap_{n=1}^N S_{L,n}(m_{L,n}(\tau, R_n)), j=1, \dots, N_j \quad (6)$$

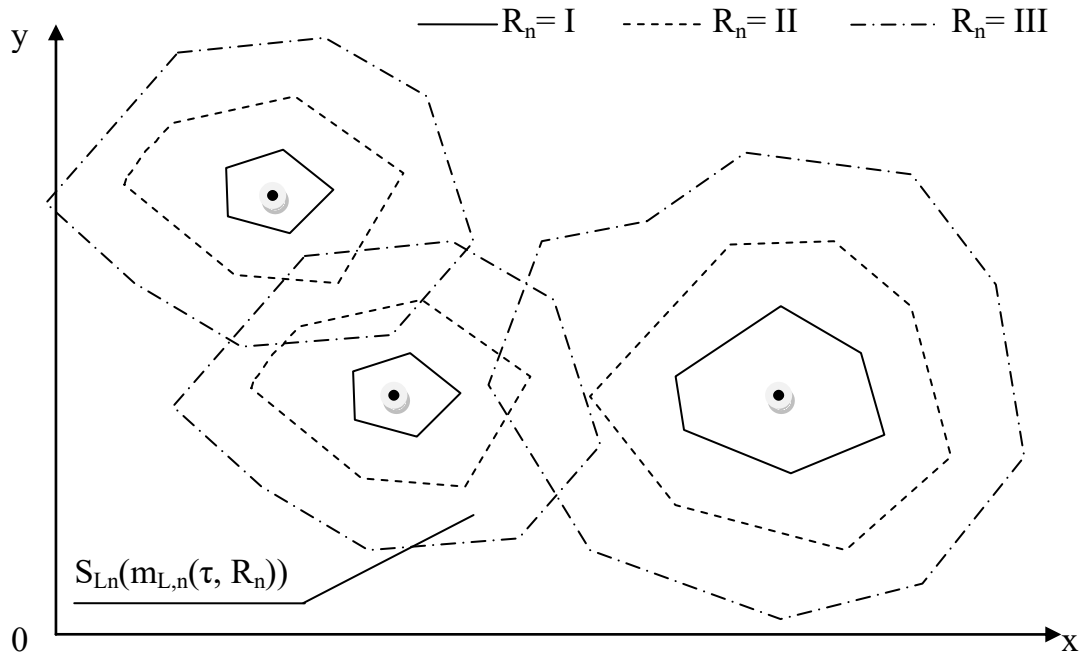


Рис. 6. Графічна інтерпретація допустимих областей розміщення пожежних підрозділів для виконання умови (2)

Відповідно рішенням першого етапу знаходження допустимих областей розміщення пожежних підрозділів є виконання умов (5) та (6).

Для знаходження глобального екстремуму цільової функції (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 (1)÷(4);

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 (1) визначається після аналізу всіх припустимих варіантів покриття заданої області.

7. Обговорення результатів побудови моделі територіального розміщення пожежних підрозділів різної функціональної спроможності

Використання методів комбінаторної оптимізації за рахунок дерева рішень дозволяє спростити процес рішення задачі просторового розміщення пожежних підрозділів з різними межами районів виїзду та різними функціональними спро-

можностями. Недоліком запропонованої моделі є велика кількість можливих гілок рішень. Цей недолік можна вирішити при шляхом визначення ста стаціонарного закріплення одного з параметрів – або пожежного підрозділу або пожежонебезпечного об'єкту. Це визначається умовами поставленої задачі.

Запропонована модель 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 $R_{F,n}$. В цьому випадку визначення екстремуму цільової функції (1) не відбувається, а проводиться пошук областей де не виконується умова (2). Ці області є потенційно небезпечними та потребують вжиття додаткових заходів з підвищення рівня пожежної безпеки.

При оптимальному розміщенні пожежних підрозділів в міській забудові алгоритм вирішення задачі співпадає з розглянутим вище із пошуком екстремуму цільової функції (1) за відповідних додаткових умов (2) – (6). 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 (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.

7. Висновки

1. Запропонований підхід, щодо градування об'єктів за рівнем пожежної небезпеки від 1 до 10, який співвідноситься з кількістю сил та засобів для ліквідації умовної пожежі на відповідному об'єкті. Це дозволяє будувати карту пожежної безпеки локальної території на основі виду та характеристик забудови.

2. Сформульовані умови моделювання 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. Згідно до діючих на сьогодні нормативних актів мінімальний час прибуття першого пожежного підрозділу встановлено на рівні 5 хв. 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 з періодичністю 5 хв.

3. Розроблена математична модель 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. Запропонована модель дозволяє вирішувати задачі оптимального розміщення пожежних підрозділів в міській забудові, в районах місцевих територіальних громад та проводити перевірку якості вже розміщених підрозділів.

Література

1. Edmund G. Brown Jr., Ken A., Scott M. Fire Hazard Planning General Plan Technical Advice // Series Governor's Office of Planning and Research. 2015. P. 55.

2. 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. V. 8. P. 138–145. doi:10.3390/ijgi8030138

3. 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. Available online: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol27/kravtsiv.pdf>

4. Kravtsiv S. Ya., Sobol O. M., Maksimov A. V. The analysis of integral risks of the territory of Ukraine // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків. 2016. Вип. 23. С. 53–60. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Kravtsiv.pdf>

5. Trivella A., Pisinger D. The load-balanced multi-dimensional bin-packing problem // Computers & Operations Research. 2016. V. 74. P. 152–164. doi.org/10.1016/j.cor.2016.04.020

6. Matthews P. Station Design: A GIS Approach to Fire Station and EMS Projects // Firehouse. 2018. P. 12–18.

7. Alexandris G., Giannikos I. A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities // European Journal of Operational Research. 2010. № 202. P. 328–338. doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.037

8. 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. doi.org/10.1071/WF12052

9. 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. doi.org/10.1071/WF14168

10. 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

11. 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.

12. Кустов М. В., Тютюник В. В., Федоряка О. І. Оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території // Проблеми пожежної безпеки. 2020. №48. С. 67-79. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/12.pdf>

M. Kustov, DSc, Associate Professor, Deputy Head of Department

O. Sobol, DSc, Senior Researcher, Professor of the Department

O. Fedoryaka, adjunct

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

TERRITORIAL LOCATION OF DIFFERENT FUNCTIONAL CAPACITY FIRE DEPARTMENTS

Territorial location of different functional fire departments capacity model has been developed. The technique is based on mathematical model of geometric placement of spatial objects of complex shape. The functional capabilities of fire departments are ranked according to the number of forces and means and compared with the levels of fire danger of local areas and individual objects. The proposed approach to the distribution of facilities by individual levels that correspond to the required number of fire departments to ensure a sufficient level of fire safety allows you to get a map of the fire hazard of the local area. The method of territorial location of fire departments takes into account the time of travel to the scene of the fire, taking into account the existing network of transport communications and the gradual increase of strength and resources in extinguishing large-scale fires. The objective function of the model is to minimize the number of fire departments in a particular local area with the provision of an appropriate level of fire safety at each point of this area. Solving the problem of combinatorial optimization using a decision tree allows the use of well-known and effective models and algorithms for automated solutions. The developed technique allows to determine both the most optimal locations of fire departments in urban development, and the permissible areas of their location to assist in planning the construction of the chief architect of the city. This model also allows to determine the permissible areas of location of assistance centers on the territory of the united territorial communities, taking into account the areas of fire service, ambulance and police. The reverse solution of the problem described in the work allows to check the correctness of the already placed fire departments and to determine the areas of the city with an insufficient level of protection against fire threat.

Keywords: local territory, level of danger, functional capacity, service area, location of subdivisions

References

1. Edmund, G., Brown, Jr., Ken, A., Scott M. (2015). Fire Hazard Planning General Plan Technical Advice Series Governor's Office of Planning and Research, 55.
2. Xia, Z., Li, H., Chen, Y., Yu, W. (2019). Integrating spatial and non-spatial dimensions to measure urban fire service access. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8, 138–145. doi:10.3390/ijgi8030138
3. Kravtsiv, S. Ya., Sobol, O. M., Samiliv, T. Ya. (2018). Determination of the limits of the application of the statistical method for evaluation integral fire risks. Problems of emergencies situation, 27, 47–51. Available online: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol27/kravciv.pdf>
4. Kravtsiv, S. Ya., Sobol, O. M., Maksimov, A. V. (2016). The anasysis of integral risks of the territoire of Ukraine. Problems of emergencies situation, 23, 53-60. Available online: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Kravtsiv.pdf>
5. Trivella, A., Pisinger, D. (2016). The load-balanced multi-dimensional bin-packing problem. Computers & Operations Research, 74, 152–164. doi.org/10.1016/j.cor.2016.04.020

6. Matthews, P. (2018). Station Design: A GIS Approach to Fire Station and EMS Projects. *Firehouse*, 12–18.

7. Alexandris, G., Giannikos, I. (2010). A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities. *European Journal of Operational Research*, 202, 328-338. doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.037

8. Chuvieco, E., Aguado, I., JurdaoA, S., Pettinari, M. L. (2014). Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 1–15. doi.org/10.1071/WF12052

9. Abt, K. L., Butry, D. T., Prestemon, J. P., Scranton, S. (2015). Effect of fire prevention programs on accidental and incendiary wildfires on tribal lands in the United States. *International Journal of Wildland Fire*, 24, 749–762. doi.org/10.1071/WF14168

10. Keane, R. E. Drury, S. A., Karau, E. C., Hessburg, P. F., Reynolds, K. M. (2010). A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*, 221, 2-18. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.022

11. Venkatesh, K., Puneet, K., Muhammad, M. R. (2020). Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review: An International Journal*, 4(1), 1-23.

12. Kustov, M. V., Tyutyunyk, V. V., Fedoryaka, O. I. (2020). Assessment of the level of fire danger in the local area. *Fire safety problems*, 48, 67-79. Retrieved from <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/12.pdf>

Надійшла до редколегії: 10.03.2021

Прийнята до друку: 16.04.2021