

УДК 614.842

Д.П. Войтович, к.т.н.,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

СКРОЧЕННЯ ЧАСУ ВІЛЬНОГО РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ІСНУЮЧИХ МЕЖ РАЙОНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ МІСТА ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

Розглянуто керівні документи, що визначають граничний радіус виїзду пожежно-рятувальних підрозділів під час визначення меж районів обслуговування. Відібрано та проаналізовано статистичні дані (час слідування до місця виклику, розподіл кількості викликів, кількість пожежно-рятувальних автомобілів, площа району обслуговування та кількість населення, що на ній проживає) для восьми пожежно-рятувальних підрозділів м. Львова з використанням запропонованої оптимізаційної імітаційної моделі.

Ключові слова: район обслуговування міста, радіус виїзду пожежно-рятувального підрозділу, час вільного розвитку пожежі, оптимізаційна імітаційна модель.

Постановка проблеми. Основний нормативний документ [1], що регламентує протипожежні норми в планувальних рішеннях міст рекомендує при проектуванні та реконструкції протипожежного захисту міст використовувати відстань у 3 км в якості граничного значення радіуса обслуговування пожежних депо. Таке значення визначено на основі даних статистичної звітності пожежно-рятувальних підрозділів за відомою моделлю [2, 3].

Станом на сьогоднішній день для пожежно-рятувальних підрозділів м. Львова дане значення для окремих із них перевищує нормативне в 1,5 рази (в середньому на 40 %), що в свою чергу збільшує час реакції підрозділу на виклики та впливає на час вільного розвитку пожежі.

Чим більший час слідування до місця виклику, тим більший загальний час зайнятості пожежно-рятувальних підрозділів на виїзді та відповідно більша тривалість гасіння пожежі цим підрозділом. За різними оцінками, одна хвилина затримки (збільшення часу реакції на подію) пожежно-рятувальних відділень, призводить до збільшення прямого та побічного збитків від пожежі на 100-450 грн, а в окремих випадках може сягати 5000 грн, залежно від очікуваного часу реакції пожежно-рятувальних відділень, масштабів пожежі, типу об'єктів та інших факторів. Це обумовлює необхідність в проведенні різних заходів організаційного та технічного спрямування в дану напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Даній проблематиці присвячено ряд робіт. Так, наприклад, в [4, 6] розглядаються питання визначення районів обслуговування для підрозділів місцевої пожежної охорони, де використовується в якості граничного показника «граничний час слідування», «максимально можливий час для проведення ефективних оперативних дій». В роботі [5] запропоновано для визначення районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами застосувати діаграми Вороного та тріангуляції Делоне. Проте всі ці методи не охоплюють більшість чинників, що мають безпосередній вплив на визначення меж районів обслуговування міста.

Мета роботи. Розробити оптимізаційну імітаційну модель визначення оптимальних меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами.

Визначення нових оптимальних меж районів обслуговування пожежно-рятувальних підрозділів м. Львова виконуємо на підставі запропонованої оптимізаційної імітаційної моделі. Це дозволить підвищити ефективність функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста в процесі дій з ліквідації пожеж завдяки зменшенню часу вільного розвитку пожежі.

Викладення основного матеріалу. На підставі аналізу для кожного пожежно-

рятувального підрозділу значень $\tau_{сл.i}$, числа викликів N_i , кількості пожежно-рятувальних автомобілів $N_{авто i}$, площі S_i та кількості населення H_i , які були отримані на підставі результатів експериментальних досліджень для м. Львова, виконуємо раціональну зміну меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами за умови

$$\tau_{сл.i} \rightarrow \min; N_i \rightarrow \min; H_i \rightarrow \min; P_i (N_{авто i} = 2) \rightarrow \max,$$

де $P_i (N_{авто i} = 2)$ – імовірність того, що одночасно оперативною роботою в одній або різних пожежно-рятувальних частинах міста зайняті 2 пожежних автомобілі.

Імовірність $P_i (N_{авто i} = 2)$ можна визначити на підставі рекомендацій [7]

$$P_{i(N_{авто i}=2)} = \frac{\lambda_i \cdot \tau_{сер}}{2} (2c_{2i} + \lambda \cdot \tau_{сер} \cdot c_{1i}^2) \cdot \exp[-\lambda_i \cdot \tau_{сер}],$$

де $\tau_{сер}$ – середня тривалість одного виїзду пожежного автомобіля для пожежно-рятувального підрозділу;

c_{1i} – частота використання одного пожежного автомобіля; згідно з рекомендаціями [7] $c_{1i} = 0,1$;

c_{2i} – частота використання двох пожежних автомобілів; згідно з рекомендаціями [7] $c_{2i} = 0,8$.

За умовою необхідно мінімізувати для кожного району обслуговування міста максимальний радіус виїзду $R_{i \max}$ з урахуванням максимального значення коефіцієнта k_n непрямолінійності вуличної мережі автодоріг, числа викликів N_i , кількості населення H_i та площі S_i з одночасною максимізацією імовірності $P_i (N_{авто i} = 2)$. Середнє значення часу слідування $\tau_{сл.сер}$ до місця виклику буде

$$\tau_{сл.сер} = \frac{1}{\Pi} \sum_{i=1}^{\Pi} \tau_{сл.i}.$$

Тоді за критерій оптимізації приймаємо різницю за модулем між середнім значенням часу слідування по місту та значенням часу слідування для кожного району виїзду, який обслуговується відповідним пожежно-рятувальним підрозділом

$$|\tau_{сл.сер} - \tau_{сл.i}| \Rightarrow \min.$$

Виходячи з поставленої умови, оптимізаційна імітаційна модель визначення оптимальних меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами матиме такі функції мети

$$R_{i \max} k_n \Rightarrow \min; N_i \Rightarrow \min; H_i \Rightarrow \min; P_i (N_{авто i} = 2) \Rightarrow \max; \quad (1)$$

за критерієм

$$|\tau_{сл.сер} - \tau_{сл.i}| \Rightarrow \min; \quad (2)$$

з урахуванням обмежень

$$a_1 \leq \begin{pmatrix} R_{1\max} \\ R_{2\max} \\ \dots \\ R_{8\max} \end{pmatrix} \leq b_1; \quad a_2 \leq \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_8 \end{pmatrix} \leq b_2; \quad a_3 \leq \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \dots \\ H_8 \end{pmatrix} \leq b_3; \quad a_4 \leq \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_8 \end{pmatrix} \leq b_4; \quad (3)$$

$$a_5 \leq \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_8 \end{pmatrix} \leq b_5; \quad a_6 \leq \begin{pmatrix} \tau_{cl1} \\ \tau_{cl2} \\ \dots \\ \tau_{cl8} \end{pmatrix} \leq b_6; \quad a_7 \leq \begin{pmatrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \dots \\ c_{18} \end{pmatrix} \leq b_7; \quad a_8 \leq \begin{pmatrix} c_{21} \\ c_{22} \\ \dots \\ c_{28} \end{pmatrix} \leq b_8;$$

$$R_{i\max} \leq 0,62 [0,5(S_{i\min} + S_{i\max})]^{0,5}; \quad (4)$$

$$N_i \leq \frac{1}{N_{\text{дено}}} N; \quad (5)$$

$$H_i \leq \frac{H}{N_{\text{дено}}} \text{ та } \sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} H_i \leq H; \quad (6)$$

$$\frac{H_i}{S_i} \leq \frac{H}{S} \text{ та } \sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} S_i \leq S; \quad (7)$$

$$\lambda_i \leq \frac{\lambda N_i}{N} \text{ та } \sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} \lambda_i = \lambda; \quad (8)$$

$$P_i (\text{Навто } i=2) \geq [P], \quad (9)$$

де $a_1, a_2, \dots, a_8, b_1, b_2, \dots, b_8$ – межі значення складових елементів оптимізаційної моделі;

$$a_1 = 0,62 \left(\frac{S}{N_{\text{дено}}} \right)^{0,5}; \quad b_1 = 0,62 \left(\frac{S}{N_{\text{дено}} - \lambda \cdot \tau_{\text{сер}}} \right)^{0,5};$$

λ – середнє значення частоти викликів за одиницю часу (год) по місту;

λ_i – середнє значення частоти викликів за одиницю часу (год) для i -го пожежно-рятувального підрозділу;

N – загальна кількість викликів на пожежу по місту за рік;

$\tau_{\text{сер}}$ – середня тривалість одного виїзду пожежного автомобіля для пожежно-рятувального підрозділу міста, год; $\tau_{\text{сер}} = 0,9$ год для житлового сектора і $\tau_{\text{сер}} = 3$ год для промислових об'єктів [7];

$$a_2 = N_{i\min}; \quad b_2 = N_{i\max};$$

$$\begin{aligned}
 a_3 &= H_{i \min}; \quad b_3 = H_{i \max}; \\
 a_4 &= S_{i \min}; \quad b_4 = S_{i \max}; \\
 a_5 &= \frac{\lambda - 4\sqrt{\lambda}}{N_{\text{дено}}}; \quad b_5 = \frac{\lambda + 4\sqrt{\lambda}}{N_{\text{дено}}}; \\
 a_6 &= 4,18 + 1,97 \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} L_{i \min}}{N_{\text{дено}}} - 0,2 \cdot 24; \quad b_6 = 4,18 + 1,97 \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} L_{i \max}}{N_{\text{дено}}} - 0,2 \cdot 12; \\
 a_7 &= 0,07; \quad b_7 = 0,2; \\
 a_8 &= 0,3; \quad b_8 = 0,8.
 \end{aligned}$$

Для розв'язання поставленої задачі раціональної зміни меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами на ПЕОМ використовуємо метод Монте-Карло.

Послідовність псевдовипадкових чисел μ_i отримуємо з використанням генератора на ПЕОМ. Отримані псевдовипадкові числа за залежностями

$$R_{i \max} = a_1 + \mu_{1i}(b_1 - a_1); \quad (10)$$

$$N_i = a_2 + \mu_{2i}(b_2 - a_2); \quad (11)$$

$$H_i = a_3 + \mu_{3i}(b_3 - a_3); \quad (12)$$

$$S_i = a_4 + \mu_{4i}(b_4 - a_4); \quad (13)$$

$$\lambda_i = a_5 + \mu_{5i}(b_5 - a_5); \quad (14)$$

$$\tau_{\text{сл.}i} = a_6 + \mu_{6i}(b_6 - a_6); \quad (15)$$

$$c_{1i} = a_7 + \mu_{7i}(b_7 - a_7); \quad (16)$$

$$c_{2i} = a_8 + \mu_{8i}(b_8 - a_8), \quad (17)$$

перетворюємо до інтервалів змінних $R_{i \max}$, N_i , H_i , S_i , λ_i , $\tau_{\text{сл.}i}$, c_{1i} та c_{2i} .

Блок-схема алгоритму оптимізаційної імітаційної моделі визначення оптимальних меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами зображена на рис. 1.

Для роботи імітаційної оптимізаційної моделі необхідно ввести вхідні дані, а саме: загальну кількість пожежних депо $N_{\text{дено}}$ міста; загальну площу міста S в км²; загальну кількість населення міста H в тис. чоловік; середній час $\tau_{\text{сер}}$ тривалості одного виїзду пожежного автомобіля для пожежно-рятувального підрозділу; середнє значення викликів за одиницю часу λ по місту, викл./год; $H_{i \min}$ (найменша кількість населення для i -того району обслуговування міста i -тим пожежним депо, і яка визначена на підставі аналізу кількості населення для всіх районів обслуговування), тис. чол.; найбільшу кількість населення $H_{i \max}$ для i -того району обслуговування міста (визначається аналогічно), тис. чол.; найменшу площу i -того району обслуговування міста $S_{i \min}$ i -тим пожежним депо, км²; найбільшу площу

$S_{i \max}$ i -того району обслуговування міста; сумарну кількість викликів $N = \sum_{i=1}^{N_{\text{дено}}} N_i$ по місту за

рік; найменшу кількість викликів за рік $N_{i \min}$ для відповідного i -того району обслуговування міста; найбільшу кількість викликів за рік $N_{i \max}$ для відповідного i -того району обслуговування міста; мінімальну відстань від пожежного депо до місця виклику $L_{i \min}$ (для всіх районів обслуговування міста), км; максимальну відстань від пожежного депо до місця виклику $L_{i \max}$ (для всіх районів обслуговування міста), км; значення коефіцієнта непрямої мережі вуличної мережі автодоріг k_n ; допустиме значення імовірності $[P]$ того, що одночасно оперативною роботою в одній або різних пожежно-рятувальних частинах

міста зайняті 2 пожежних автомобілі; допустиме значення імовірності $[p]$ потрапляння точок в процесі дослідження в область допустимих розв'язків.

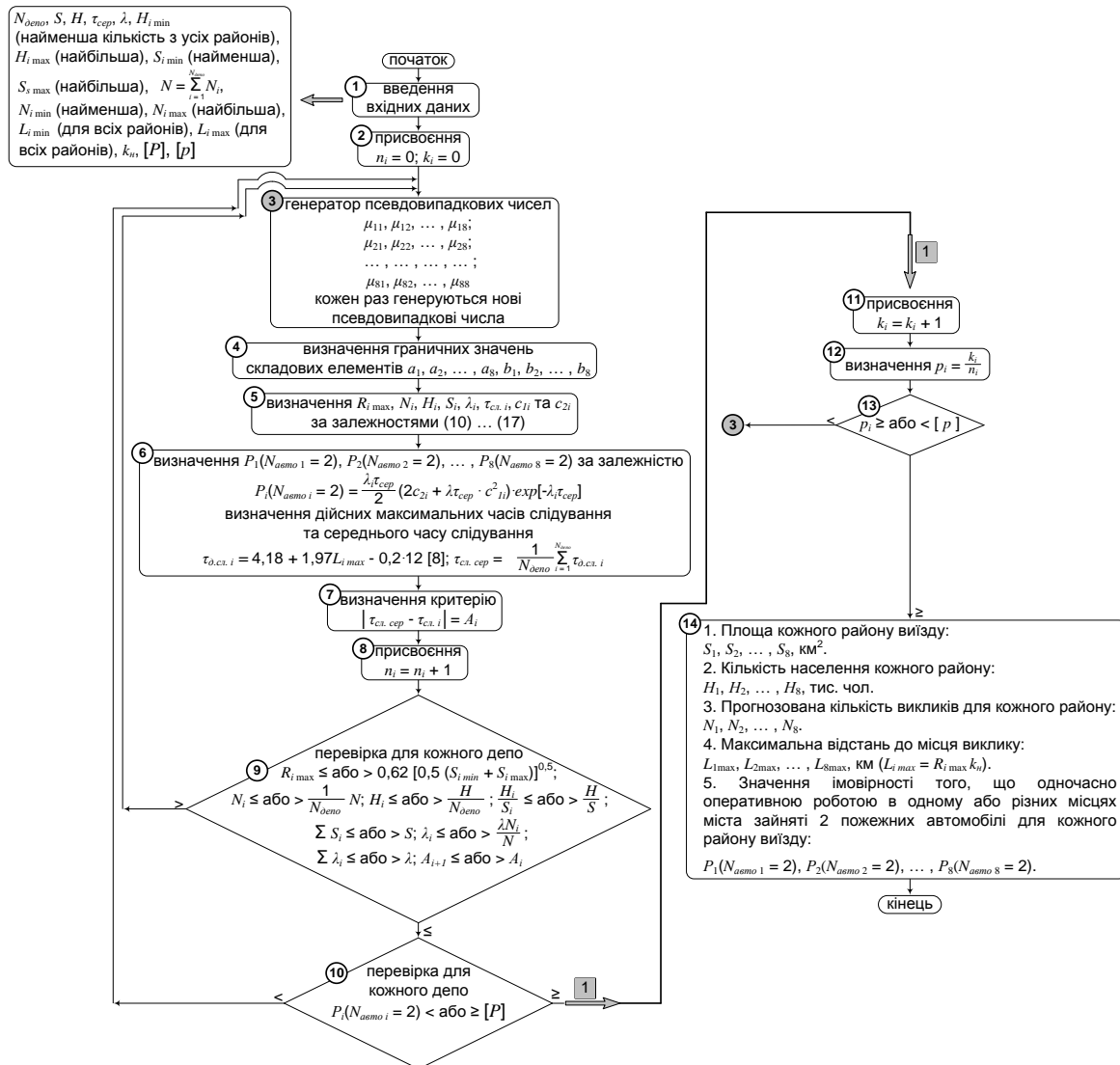


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму оптимізації визначення меж районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами

Блок-схема алгоритму оптимізації визначення меж районів містить 14 блоків. Після введення вхідних даних в блоці 1 до роботи підключаються блоки 2-13, за результатом роботи яких вихідний блок 14 виконує вивід вхідних і вихідних даних. Отримані вихідні дані дозволяють оптимізувати межі районів обслуговування міста для кожного пожежно-рятувального підрозділу. На рис. 2 зображено суцільною лінією існуючі межі районів обслуговування міста Львова пожежно-рятувальними підрозділами, а штриховою лінією – межі, які отримані на підставі виконаної оптимізації за розробленою імітаційною моделлю.

На карту м. Львова нанесена сітка з розміром кожної із секцій у $0,04 \text{ км}^2$ (рис. 2). Площа районів обслуговування депо вписана у радіус із найбільш віддаленою точкою $L_{i \text{ max}}$, що отримана за результатами роботи запропонованої моделі. Межі площі побудовані з врахуванням розташування вуличної мережі та існуючої забудови. При цьому площа кожного району обслуговування депо S при її визначенні на рисунку максимально наближена до отриманого результату з використанням оптимізаційної моделі.

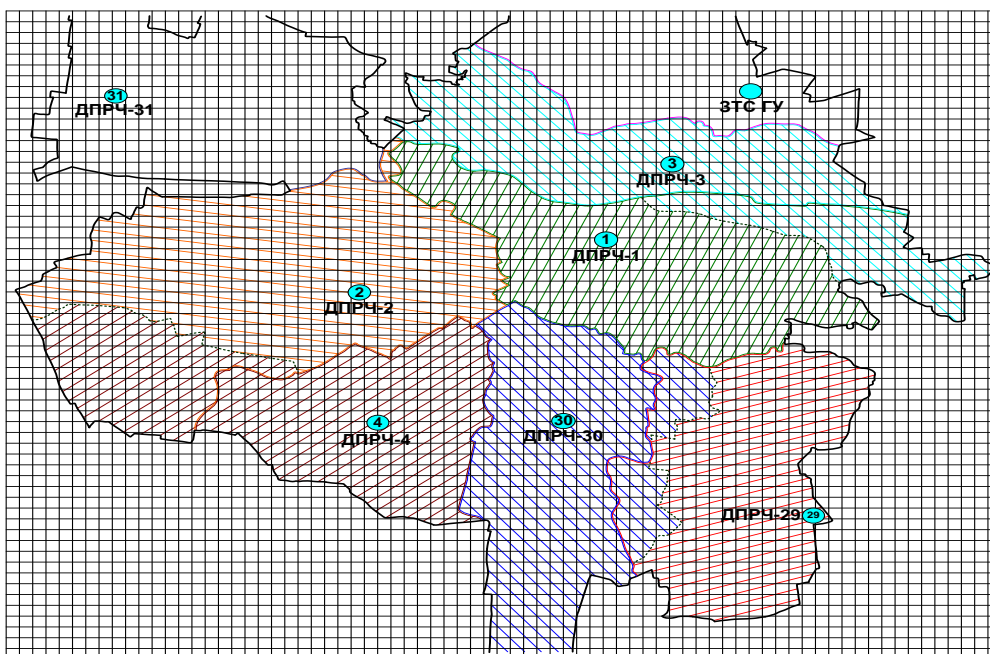


Рисунок 2 – Існуючі (суцільні лінії) та запропоновані (штрихові лінії) межі районів обслуговування м. Львова пожежно-рятувальними підрозділами

Висновки.

1. Результати аналізу даних, які отримані на підставі оптимізації за імітаційною моделлю на прикладі м. Львова, показали, що середній час слідування до точки $R_{i\max}$ району обслуговування зменшився на 3%, що безпосередньо впливає на час вільного розвитку пожежі.
2. Визначені нові межі районів обслуговування міста пожежно-рятувальними підрозділами дозволяють більш рівномірно розподілити навантаження на пожежні депо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. – К.: Мінрегіонбуд України (Державні будівельні норми України). Зміна №4 : ДБН 360-92. – Чинний від 2011-10-01. – К., 2011. – 6 с.
2. Брушлинский Н. Н. Математическая модель для проектирования системы противопожарной защиты города / Н. Н. Брушлинский, Н. Н. Соболев // Управление большим городом. – М.: НПО АСУ „Пожнаука”, 1985. – С. 79–81.
3. Брушлинский Н. Н. Математическая модель расчета среднего радиуса выезда оперативных отделений пожарной охраны по вызовам / Н. Н. Брушлинский, Н. Н. Соболев // Пожарная техника и пожаротушение на объектах народного хозяйства: Сб. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986. – С. 58–66.
4. Крайнюк О. І. Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони / О. І. Крайнюк // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2008. – № 2 (18). – С. 180-185.
5. Кузик А. Д. Аналіз зон обслуговування пожежно-рятувальних частин за допомогою діаграм Вороного / А. Д. Кузик, О. О. Карабин, О. М. Трусевич // Пожежна безпека. – 2008. – № 13. – С. 73-78.
6. Провести дослідження і розробити програмне забезпечення щодо визначення сітки покриття підрозділами місцевої пожежної охорони в сільських населених пунктах: звіт про НДР // УкрНДПБ МНС України. – 2006. – № ДР 0106U005414. – 45 с.
7. Совершенствование организации и управления пожарной охраной / Н. Н. Брушлинский, А. К. Микеев, Г. С. Бозуков и др.; под ред. Н. Н. Брушлинского. – М.: Стройиздат, 1986. – 152 с.
8. Войтович Д. П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Д. П. Войтович ; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Л., 2011. – 20 с.