

УДК 351.861

О.М. Соболю

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*В даній роботі наведено постановку задачі та розроблено математичну модель визначення оптимальної кількості та місць розташування пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів підвищеної небезпеки та потенційно небезпечних об'єктів. Досліджено особливості математичної моделі та визначені напрямки подальших досліджень.*

**Ключові слова:** постановка задачі, математична модель, оптимальна кількість, пожежно-рятувальний підрозділ.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На теперішній час актуальною науково-прикладною задачею є розробка нових методів обробки та оптимізаційного перетворення складної геометричної інформації для її подальшого ефективного використання. Це обумовлено тим, що із перетворенням геометричної інформації пов'язані задачі з різних галузей діяльності людини, які мають важливе теоретичне та практичне значення: автоматизація процесів проектування різноманітних технічних систем та пристроїв, проектування карт розкрою промислових матеріалів, проектування машинних залів електростанцій, розробка генеральних планів та визначення варіантів компоновки будівель і споруд, нормування ресурсів служби цивільного захисту тощо. Слід зазначити, що вищенаве-

дені задачі можуть бути зведеними у своїх постановках до задач оптимального розміщення, покриття та розбиття геометричних об'єктів, які, в свою чергу, відносяться до класу задач оптимізаційного геометричного проектування.

Незважаючи на величезну кількість досліджень стосовно розв'язання класу задач оптимізаційного геометричного проектування, існує ціла низка актуальних задач, до теперішнього часу не розв'язаних. Саме до таких відноситься задача раціонального покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками з урахуванням «областей тяжіння». Сутність даної задачі полягає у необхідності покриття заданих геометричних об'єктів мінімальною кількістю однозв'язних плоских об'єктів, метричні характеристики яких визначаються в процесі розв'язання задачі. Інакше кажучи,

форма і розміри геометричних об'єктів покриття визначаються з урахуванням місць розміщення початків локальних систем координат об'єктів покриття.

Практичним прикладом зазначеної задачі є визначення оптимальної кількості та місць розташування пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів підвищеної безпеки (ОПН) та потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), яка до теперішнього часу не розглядалася. У зв'язку з цим, виникає необхідність у розробці математичної моделі та методу розв'язання даної задачі.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання ідентифікації ОПН, декларації безпеки, розробки плану локалізації і ліквідації аварій на ОПН тощо розглянуті в [1]. Проведення ідентифікації, паспортизації та моніторингу ПНО визначені в [2 – 4]. Разом з тим, на сьогоднішній день дослідження щодо забезпечення ефективного реагування на НС, що можуть виникнути на ОПН та ПНО (особливо у сільській місцевості), не проводились.

### Основна частина

Розглянемо постановку задачі оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів підвищеної безпеки та потенційно небезпечних об'єктів. Нехай задано область  $S_0$ , в якій знаходяться об'єкти підвищеної безпеки та потенційно небезпечні об'єкти  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ . Область  $S_0$  може бути задана у вигляді багатокутника у власній системі координат. Об'єкти підвищеної безпеки та потенційно небезпечні об'єкти являють собою точки, положення яких визначаються в системі координат об'єкта  $S_0$ . Область  $S_0$  має об'єкти заборони  $L_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, L$ , в яких неприпустимо розміщувати пожежно-рятувальні підрозділи. Необхідно покрити область  $S_0$  мінімальною кількістю районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  (дані райони являють собою багатокутники зі змінними метричними характеристиками), так, щоб виконувались наступні обмеження:

– мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів;

– належність районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів області  $S_0$ ;

– мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів з областями заборони  $L_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, L$ ;

– належність об'єктів підвищеної безпеки та потенційно небезпечних об'єктів  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ , області перетину  $M_d$  районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів, що забезпечують реагування на аварію (пожежу) на ОПН або ПНО відповідно до номеру виклику;

– час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до найвіддаленішої точки району виїзду  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , має не перевищувати заданого  $T^*$ ;

– розміщення пожежно-рятувальних підрозділів здійснюється у населених пунктах, де кількість населення перевищує задане значення  $C^*$ .

Очевидно, що дана задача відноситься до класу оптимізаційного геометричного проектування [5], а саме, являє собою задачу оптимального покриття області  $S_0$  геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , з урахуванням «центрів тяжіння»  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ .

Математична модель оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів підвищеної безпеки та потенційно небезпечних об'єктів може бути записана наступним чином:

$$u^* = \arg \min_{u \in W} N(u); u = \{m_i; v_i\}; i = 1, \dots, N; \quad (1)$$

$$\text{де } W : \omega \left( \begin{matrix} m_N, m_0, v_N, v_0 \\ \bigcup_{i=1}^N P_i, \bigcup_{i=1}^N P_i \end{matrix} \right) = S^0; \quad (2)$$

$$\omega(m_i, m_j, v_i, v_j) \rightarrow \min, i = 1, \dots, N; j = i + 1, \dots, N; \quad (3)$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, v_i, v_{cS_0}) \rightarrow \min; \quad (4)$$

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

$$\omega(m_i, m_\xi, v_i, v_\xi) \rightarrow \min; i = 1, \dots, N; \xi = 1, \dots, L; \quad (5)$$

$$S_d \in \bigcap_{k=1}^{M_d} P'_k; d = 1, \dots, D; P'_k \in \{P_i\}, i = 1, \dots, N; \quad (6)$$

$$T(P_i) \leq T^*; i = 1, \dots, N; \quad (7)$$

$$C(v_i) \geq C^*; i = 1, \dots, N. \quad (8)$$

В моделі (1)÷(8) вираз (1) являє собою цільову функцію задачі, при цьому  $m_i$  – метричні характеристики об'єктів  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  (наприклад, координати вершин багатокутників в локальній системі координат),  $v_i$  – параметри розміщення об'єктів  $P_i$  (положення локальної системи координат  $i$ -го об'єкта в глобальній системі координат) [5]; вираз (2) являє собою умову покриття всієї області  $S_0$ ,

$m_N, m_0, v_N, v_0$ , відповідно, метричні характеристики

та параметри розміщення об'єкта  $\bigcup_{i=1}^N P_i$ ,  $m_0$  і  $v_0$  –

метричні характеристики і параметри розміщення області  $S_0$ ,  $S^0$  – площа об'єкта  $S_0$ ; вираз (3) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів  $P_i$  та  $P_j$ ; вираз (4) – умова мінімуму перетину об'єктів  $P_i$  з доповненням області  $S_0$  до евклідового простору

$R^2$ ; вираз (5) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів  $P_i$  з областями заборони  $L_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, L$ ; вираз (6) – умова належності об'єктів  $S_d$ ,  $d = 1, \dots, D$ , області перетину об'єктів  $P_k$ , що належать множині об'єктів  $P_i$ ; вираз (7) – умова щодо припустимого часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику; вираз (8) – умова розміщення пожежно-рятувальних підрозділів у відповідних населених пунктах. Треба відзначити, що обмеження математичної моделі (2)÷(5) представлені за допомогою  $\omega$ -функції покриття [5].

Розглянемо особливості математичної моделі (1)÷(8):

– задача оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту ОПН та ПНО відноситься до задач нелінійного програмування;

– область припустимих розв'язків визначається, у загальному випадку, системою нелінійних рівностей та нерівностей і є обмеженою та незв'язною;

– загальна кількість наборів рівностей та нерівностей, за допомогою яких здійснюється формалізація обмежень задачі, дорівнює  $C_N^2 + N(L+3) + D + 1$ ;

– якщо задача розв'язується з урахуванням існуючих пожежно-рятувальних підрозділів  $P_q$ ,  $q = 1, \dots, N_q$ , то до моделі (1)÷(8) додається наступне обмеження:

$$\omega(m_i, m_q, v_i, v_q) \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, N; \quad q = 1, \dots, N_q;$$

де  $m_q$  та  $v_q$ , відповідно, метричні характеристики та параметри розміщення об'єктів  $P_q$ ,  $q = 1, \dots, N_q$ ;

– для задачі оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту ОПН та ПНО

(з урахуванням існуючих пожежно-рятувальних підрозділів) загальна кількість наборів рівностей та нерівностей, за допомогою яких здійснюється формалізація обмежень задачі, дорівнює

$$C_N^2 + N(L + N_q + 3) + D + 1.$$

Побудована математична модель та дослідження її особливостей є основою для розробки методу оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту ОПН та ПНО.

## Висновки

В даній роботі здійснено постановку, розроблено математичну модель оптимізації розміщення пожежно-рятувальних підрозділів для захисту ОПН і ПНО та досліджено особливості математичної моделі. Подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз області припустимих розв'язків та розробку метода розв'язання даної задачі.

## Список літератури

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки».
2. Наказ МНС України від 23.02.2006 р. №98 «Про затвердження Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів».
3. Наказ МНС України від 18.12.2000 р. №338 «Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів».
4. Наказ МНС України від 06.11.2003 р. №425 «Про затвердження Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів».
5. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – К.: Наукова думка, 1986. – 268 с.

Надійшла до редколегії 26.01.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.Н. Соболев

*В данной работе приведена постановка задачи и разработана математическая модель определения оптимального количества и мест размещения пожарно-спасательных подразделений для защиты объектов повышенной опасности и потенциально опасных объектов. Исследованы особенности математической модели и определены направления дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** постановка задачи, математическая модель, оптимальное количество, пожарно-спасательное подразделение.

## FEATURES OF THE MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMUM PLACEMENT FIRE AND RESCUE SERVICES FOR HIGH-RISK AND POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS PROTECTION

O.M. Sobol

*In this paper the problem statement is given and the mathematical model of definition optimum number and placement fire and rescue services for high-risk and potentially dangerous objects protection is developed. The features of mathematical model are researched and the ways of further researches are defined.*

**Keywords:** problem statement, mathematical model, optimum number, fire and rescue service.