

УДК 519.87

*Д.С. БІРЮКОВ*, канд. техн. наук, старший консультант  
Національного інституту стратегічних досліджень, Київ,  
*О.В. ЗАСЛАВСЬКА*, інженер, КНУ ім. Тараса Шевченка, Київ

## **ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ТА КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ СЛУЖБ ДЛЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ**

Запропонована постановка задачі оптимального розміщення аварійно-рятувальних служб, визначення їх чисельності та професійного складу з врахуванням характеристик територій щодо виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Бібліогр.: 12 назв.

**Ключові слова:** оптимальне розміщення, надзвичайні ситуації, аварійно-рятувальні служби.

**Вступ.** Все більшу значимість для безпеки життєдіяльності громадян України набуває захист від надзвичайних ситуацій (НС), спричинених різноманітними чинниками техногенного, природного та соціально-політичного характеру [1]. Серед чинників техногенного характеру можна згадати наявність на території країни численних потенційно-небезпечних об'єктів, в тому числі промислових підприємств із значною зношеністю основних фондів та комплексним впливом на навколишнє середовище, масштабних інженерно-технічних конструкцій. Стан таких об'єктів створює передумови для зростання ризиків виникнення НС техногенного та природно-техногенного характеру [2]. Також помітною є тенденція до зростання частоти виникнення стихійних метеорологічних явищ, посилення впливу глобальних кліматичних змін (особливо аномально-високих температур та підвищених опадів). Значних матеріальних збитків неодноразово наносили масштабні повені в західних регіонах та підтоплення в північних регіонах України [3]. Названі тенденції обумовлюють необхідність вживання комплексних заходів щодо вдосконалення та підвищення ефективності роботи аварійно-рятувальних служб (АРС), екстреної допомоги населенню, медицини катастроф. За останній час в нормативно-правовому та організаційному аспектах розв'язання цього завдання здійснено низку суттєвих кроків: прийнято Кодекс цивільного захисту, утворено Державну службу України з надзвичайних ситуацій, і, відповідно, реорганізовано Міністерство надзвичайних ситуацій України та Державну інспекцію техногенної безпеки України.

Обмеженість ресурсів з одного боку та зростання загроз НС з іншого обумовлюють необхідність використання математичного та інформаційного забезпечення для прийняття оптимальних рішень з реструктуризації системи реагування на НС, зокрема щодо розміщення та комплектування АРС.

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Дослідження ризиків природного та техногенного характеру, їх взаємозв'язок із системою попередження та реагування на НС в Україні представлені в роботах вітчизняних науковців Є.П. Буравльова, В.В. Гетьмана, М.М. Биченка, О.М. Трофімчука, С.П. Іванюти, Є.О. Яковлева та ін. [2, 4 – 6]. В цих роботах, зокрема, розроблений математичний апарат для оцінки ризиків НС для окремих регіонів та територій країни, що є інформаційною основою для обґрунтування рішень щодо розвитку мережі АРС, визначення параметрів їх комплектування особовим складом (за спеціалізаціями).

Задачі оптимального розміщення ресурсів, вибору параметрів розбудови об'єктів, планування робіт, прийняття рішень про розміщення об'єктів в кожному конкретному випадку мають характерні особливості, що враховуються при формалізації у вигляді задач оптимізації та при розробці алгоритмів їх розв'язування [7 – 11].

**Мета дослідження.** В даній роботі пропонуються формальна постановка задачі оптимального розміщення та комплектування АРС з врахуванням характеристик територій та прояву в їх межах факторів щодо виникнення можливих НС.

**Формальна постановка задачі.** Розглядається  $n$  точок, в яких можуть бути розміщені аварійно-рятувальні служби. Для всіх точок  $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$  позначимо  $\gamma_i$  – булева змінна, яка приймає значення 1, якщо в  $i$ -тій точці розміщується аварійно-рятувальна служба, інакше – значення 0. Кожна точка розміщення характеризується рядом показників, пов'язаних із загрозами для здоров'я та життєдіяльності населення, що можуть бути спричинені надзвичайними ситуаціями. Нехай задані  $M_i$  – чисельність населення, що мешкає поряд з точкою  $i \in I$ , та  $p_{it}$  – ймовірності впливу кожного виду загроз  $t \in T = \{1, 2, \dots, t^*\}$  на населення.

Якщо в  $i$ -тій точці не розміщується АРС, то допомогу населенню надають АРС, які розміщені в сусідніх точках. Позначимо  $K_i \subset I$  – множина точок, з яких може надаватися допомога населенню у випадку, коли в  $i$ -тій точці не розміщується АРС. Перерозподіл населення, якому

надається допомога в сусідніх точках, заданий таким чином:  
 $m_{ij}\gamma_j / \sum_{k \in K_i} m_{ik}\gamma_k$ ,  $j \in K_i$ , де  $m_{ij}$  – задані величини,  $j \in K_i$ , що задовольняють умові  $\sum_{j \in K_i} m_{ij} = M_i$ .

Нехай задані множина спеціалізацій персоналу АРС –  $S = \{1, 2, \dots, s^*\}$  та її підмножини  $H_t \subset S$ ,  $t \in T$ , що визначають спеціалізації, необхідні при реагуванні на НС, спричинені певними загрозами. Позначимо  $x_{is}$  – чисельність аварійно-рятувального персоналу в  $i$ -тій точці розміщення з  $s$ -тою спеціалізацією. Тоді умови надання допомоги очікуваній кількості населення, що постраждає у випадку реалізації  $t$ -тої загрози, можна записати таким чином:

$$\gamma_i w_s x_{is} \geq \gamma_i \left( p_{it} M_i + \sum_{j \in K_i} (p_{jt} m_{ji} / \sum_{k \in K_j} m_{jk} \gamma_k) \right), s \in H_t,$$

де  $w_s$  – коефіцієнт, що задає кількість осіб, яким може надати допомогу один співробітник АРС  $s$ -тої спеціалізації.

Враховуючи необхідність швидкого реагування, для кожної точки можливого розміщення АРС запишемо умову обов'язкового розміщення хоча б в одній із сусідніх точок:

$$\bigvee_{j \in K_i \cup \{i\}} \gamma_j = 1, i \in I.$$

Вартість розміщення аварійно-рятувальної служби для кожної точки можна записати таким чином:

$$\sum_{j \in J} f_j \left( \sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is},$$

де  $f_j(\cdot)$  – сходинкові функції ( $J = \{1, 2, \dots, j^*\}$ ) та  $a_{is}$  – витрати на оснащення одного спеціаліста  $s$ -тої спеціалізації.

Функції  $f_j(\cdot)$  визначають всі складові вартості, що нелінійно (стрибокподібно) зростають з ростом чисельності персоналу ( $\sum_{s \in S} x_{is}$ ).

Нехай задані інтервали  $[\alpha_{j1}, \beta_{j1}]$ ,  $[\alpha_{j2}, \beta_{j2}]$ , ...,  $[\alpha_{jw_j}, \beta_{jw_j}]$ , для яких виконуються такі умови:  $\alpha_{j1} \leq \alpha_{j2} \leq \dots \leq \alpha_{jw_j}$  та  $\beta_{j1} < \beta_{j2} < \dots < \beta_{jw_j}$ . В залежності від значення аргументу функції  $f_j(\cdot)$  приймають одне з можливих значень  $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jw_j}$  таких, що  $0 < c_{j1} < c_{j2} < \dots < c_{jw_j}$ . Тобто

$f_j(a) = c_{j1}$ , якщо  $a \in [\alpha_{j1}, \beta_{j1}]$ ,  $f_j(a) = c_{j2}$ , якщо  $a \in [\alpha_{j2}, \beta_{j2}]$  та  $a > \beta_{j1}$ ,  
 $f_j(a) = c_{j3}$ , якщо  $a \in [\alpha_{j3}, \beta_{j3}]$  та  $a > \beta_{j2}$ , ... .

Задача може бути сформульована таким чином: мінімізувати вартість розміщення і оснащення аварійно-рятувальних служб

$$\sum_{i \in I} \gamma_i \left( \sum_{j \in J} f_j \left( \sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

при умовах:

$$\bigvee_{j \in K_i \cup \{i\}} \gamma_j = 1, \quad i \in I, \quad (2)$$

$$\gamma_i w_s x_{is} \geq \gamma_i \left( p_{it} M_i + \sum_{j \in K_i} (p_{jt} m_{ji} / \sum_{k \in K_j} m_{jk} \gamma_k) \right), \quad s \in H_t, \quad t \in T, \quad i \in I, \quad (3)$$

$$\gamma_i \in \{0,1\}, \quad i \in I, \quad (4)$$

$$x_{is} - \text{цілочисельні змінні}, \quad x_{is} \geq 0, \quad s \in S, \quad i \in I. \quad (5)$$

**Алгоритм розв'язування задачі.** Специфікою задачі (1) – (5) є наявність нелінійної та лінійної складових в функції витрат (1), використання булевих та цілочисельних змінних. Для розв'язання задачі запропоновано використовувати модифікований алгоритм, що раніше використовувались для задачі про посередника, яка за формальною постановкою та властивостями є схожою [12].

Якщо зафіксувати значення булевих змінних  $\gamma_i, i \in I$ , таким чином, щоб виконувалась умова (2), використовуючи, наприклад, рекурсивну процедуру присвоєння одиниць для частини змінних  $\gamma_i, i \in I$ , то утворюється послідовність підзадач, які мають такий вигляд:

$$\sum_{i \in I^*} \left( \sum_{j \in J} f_j \left( \sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \rightarrow \min, \quad (6)$$

при умовах:

$$w_s x_{is} \geq B_{is}, \quad s \in S, \quad i \in I^*, \quad (7)$$

$$\bigvee_{s \in S} I[x_{is} > 0] = 1, \quad i \in I^*, \quad (8)$$

$$x_{is} - \text{цілочисельні змінні}, \quad x_{is} \geq 0, \quad s \in S, \quad i \in I^*, \quad (9)$$

де  $I^* = \{i \in I \mid \gamma_i = 1\}$ ,  $I[a]$  – індикаторна функція, яка приймає значення 1, якщо умова  $a$  виконується, інакше – значення 0.

Нехай  $\tilde{x}_{is}$ ,  $s \in S$ ,  $i \in I^*$  – розв’язок першої підзадачі виду (6) – (9). Тоді разом із змінними, значення яких були зафіксовані при утворенні підзадач, маємо наближений розв’язок вихідної задачі (1) – (5):  $\tilde{\gamma}_i \equiv 1$ ,  $i \in I^*$ ;  $\tilde{\gamma}_i \equiv 0$ ,  $i \in I \setminus I^*$ ;  $\tilde{x}_{is}$ ,  $s \in S$ ,  $i \in I^*$ ;  $\tilde{x}_{is} \equiv 0$ ,  $i \in I \setminus I^*$ ;  $s \in S$ .

Обчислимо значення цільової функції (6) для знайденого розв’язку підзадачі:  $A = \sum_{i \in I^*} \left( \sum_{j \in J} f_j \left( \sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right)$ . Тоді до наступної підзадачі виду (6) – (9) можна ввести додаткове обмеження:

$$\sum_{i \in I^*} \left( \sum_{j \in J} f_j \left( \sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \leq A. \quad (10)$$

Обмеження (10) дозволяє отримувати наближені розв’язки підзадач, які тільки покращують розв’язок вихідної задачі.

**Висновки.** В роботі представлена оптимізаційна модель, яка дозволяє приймати раціональні рішення щодо розміщення та комплектування мережі АРС із врахуванням прояву на території природних і техногенних факторів, що спричиняють НС.

Запропоновано алгоритм для розв’язування даної оптимізаційної задачі, основною ідеєю якого є формування підзадач з додатковими обмеженнями, розв’язок яких приводить до знаходження оптимального розв’язку вихідної задачі.

**Список літератури:** 1. Оцінка регіональних еколого-ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України / Є.О. Яковлев, Ю.М. Скалецкий, С.П. Іванюта, Л.М. Якушенко. – К.: НІСД, 2011. – 32 с. 2. Буравльов Є.П. Управління техногенною безпекою України / Є.П. Буравльов, В.В. Гетьман; за ред. В.П. Горбуліна. – К.: Ін-т проблем національної безпеки, 2006. – 248 с. 3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Електронний ресурс]. – Інформ. портал ДСУНС. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2011.html> 4. Биченок М.М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні / М.М. Биченок, О.М. Трофімчук. – К.: УІНСІР, 2002. – 153 с. 5. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. – К.: Ін-т проблем національної безпеки, 2008. – 160 с. 6. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К.: Наук. думка, 2008. – 542 с. 7. Исследование операций: в 2-х т. Т. 1. Методологические основы и математические методы / Пер. с англ.; под ред. Дж. Моудера, С. Элмраги. – М.: Мир, 1981. – 712 с. 8. Love R.F. Facilities location: models & methods / R.F. Love, J.G. Morris, G.O. Wesolowsky. – North-Holland, 1988. – 296 p. 9. Mirchandani P.B. Discrete Location Theory / P.B. Mirchandani, R.L. Francis. – John Wiley & Sons, 1990. – 555 p. 10. Daskin M.S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications / M.S. Daskin. – Wiley, 1995. – 498 p. 11. Owen S.H. Strategic facility location: A review / S.H. Owen, M.S. Daskin // Europ. J. Oper. Res. – 1998. – 111. – P. 423 – 447. 12. Заславська О.В., Декомпозиційний алгоритм

оптимізації прибутку посередника / *О.В. Заславська* // Вісн. Київськ. ун-ту. Серія: фіз.-мат. наук. – 2005. – № 4. – С. 163 – 169.

*Надійшла до редколегії 15.03.2013*

*Статтю представив д-р техн. наук, головний наук. співробітник НІСД Яковлев Є.О..*

УДК 519.87

**Оптимальное размещение и комплектация аварийно-спасательных служб для реагирования на чрезвычайные ситуации / Д.С. Бирюков, О.В. Заславская** // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2013. – № 39 (1012). – С. 3 – 8.

Предложена постановка задачи оптимального размещения аварийно-спасательных служб, определения их численности и профессионального состава с учетом характеристик территорий относительно возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Библиогр.: 12 назв.

**Ключевые слова:** оптимальное размещение, чрезвычайные ситуации, аварийно-спасательные службы.

УДК 519.87

**Optimal allocation and complectation of emergency services to respond on emergency situation / D.S. Biriukov, O.V. Zaslavska** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". 2013. – № 39 (1012). – P. 3 – 8.

In this article we propose formalization of optimal allocation problem for emergency services, to determine their abundance and professional staff under consideration of the characteristics of the territories and distribution of possible emergencies. Refs.: 12 titles.

**Keywords:** optimal allocation, emergency situation, first responders and rescue teams.