

# МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

*Хіврич О.В., к.війск.н., доцент (каф. БЖД НУХТ);  
Володченкова Н.В., ст. викл. (каф. БЖД НУХТ)*

Відомо, що для формулювання задачі оптимізації сил цивільного захисту при ліквідації наслідків будь якої надзвичайної ситуації необхідно виконати дві умови. Перша – це побудова цільової функції, друга – побудова функцій обмежень (їх може бути одна або декілька). Далі, в залежності від виду цільової функції та функцій обмежень, обирається метод вирішення. Подібний підхід “операційний метод” використовується при вирішенні будь-яких задач, що належать до класу задач математичного програмування.

Зміст задачі – оптимізація (мінімізація) складу сил цивільного захисту, який зможе при цьому досягти потрібного ефекту за директивний час, за рахунок раціонального розподілу відповідних сил та засобів. Для вирішення цієї задачі розглянемо аналітичний метод нелінійного програмування.

Акт застосування сил при ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації полягає у виконанні сукупності різнорідних завдань щодо досягнення мети:

$$Z = \langle z_j, j = \overline{1, n} \rangle. \quad (1)$$

Сили мають розрахункові одиниці (р.о.) різних спеціалізацій:

$$R = \langle r_i, i = \overline{1, n} \rangle, \quad (2)$$

які мають „питому” продуктивність створення ефекту по кожному завданню:

$$P = \|p_{ij}\|_{m \times n}. \quad (3)$$

Завдання мають пріоритети

$$C = \langle c_j, j = \overline{1, n} \rangle. \quad (4)$$

як важливості щодо мети ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Планом розподілу сил по завданнях є матриця:

$$XS = \|x_{ij}\|_{m \times n}, \quad (5)$$

де  $x_{ij}$  – кількість р.о.  $i$ -го типу, що призначаються на  $j$  – те завдання.

Вважаємо, що ефект по  $j$ -му завданню є:  $W_j(X_j) = C_j \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right\}, j = \overline{1, n}$ .

Тоді сумарний ефект щодо виконання завдань:

$$WS(X) = \sum_{j=1}^n W_j(X_j, i = \overline{1, m}) = \sum_{j=1}^n C_j \left\{ 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right\}. \quad (6)$$

Витрати (склад) сил по видах складуть:  $NS = \left\langle \left( N_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \right), i = \overline{1, m} \right\rangle$ .

Планом дій (сценарієм) є матриця:

$$SS = \|s_{ij}\|_{m \times n}, \quad (7)$$

де  $s_{ij}$  – дії (заходи) сил  $x_{ij}$ .

Вектор – стовпчик матриці (2):

$$S_j = \begin{pmatrix} S_{1j} \\ S_{ij} \\ S_{mj} \end{pmatrix}, j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

дає сукупність заходів (дій) сил:

$$X_j = \begin{pmatrix} X_{1j} \\ X_{ij} \\ X_{mj} \end{pmatrix}, j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

що уявляють собою процес щодо виконання завдання  $z_j$ .

Моделлю процесу (8) і (9) є сітьовий граф  $G_j = \{G, H\}_j, j = \overline{1, n}$ , що має дуги  $G$  та інциденті до них вершини  $H$ , причому вершина  $h_0$  з дугами, що з неї виходять є початковим станом процесу, вершина  $h_k$  із дугами, що до неї заходять є кінцевим станом процесу, а інші вершини  $h$  є проміжними станами процесу, коли скінчаються заходи, що представляються вершинами, заходять та починаються заходи, що представляються дугами, що виходять з вершини  $h$ . Очевидно, розрахункові одиниці ресурсів (підрозділи) мають спеціалізації згідно змісту заходів, що складають процес – ( $G$ ).

Очевидно, обсяг  $a_{kl}$  буде виконаний ресурсом  $X_{kl}$ , що має продуктивність  $a_{kl}$ , за деякий час  $\tau_{kl}$ , який визначається інтегральним рівнянням:

$$A_{kl} = \int_0^{\tau_{kl}} a_{kl}(x_{kl}, t) \cdot dt. \quad (10)$$

Якщо вважати, що  $a_{kl}(x_{kl}, t) \approx a_{kl}(1) \cdot x_{kl}$ , то (5) буде мати вигляд:

$$A_{kl} \approx a_{kl}(1) \cdot x_{kl} \cdot \tau_{kl}, \quad (11)$$

де  $a_{kl}(1)$  – нормативна продуктивність одного р.о.

Приведемо (6) до вигляду:

$$\alpha_{kl} = \frac{A_{kl}}{a_{kl}(1)} \cong (x_{kl} \cdot \tau_{kl}). \quad (12)$$

Таким чином, трудомісткість заходу  $a_{kl}$  повинна бути рівною трудовитратам  $(x_{kl} \cdot \tau_{kl})$  щодо виконання завдання.

Очевидно, для даного виду роботи (з обсягом  $A_i$ ) продуктивність одного р.о.  $a_{kl}(1)$  буде “нормативною”, тобто константою. Тоді при виконанні  $j$  – го заходу буде справедливою залежність між потрібним складом р.о. ресурсів та часом виконання роботи, як це витікає із (7):

$$X_{kl} = \frac{\alpha_{kl}}{\tau_{kl}}; \quad (13)$$

$$\tau_{kl} = \frac{\alpha_{kl}}{X_{kl}}; \quad (14)$$

Залежності (13), (14) є гіперболами з параметром  $a_{kl}$ . Але деякі методи

“оптимізації” комплексу робіт (PERT) використовують приблизну (лінійну) залежність на малих інтервалах  $\Delta X_{kl}, \Delta \tau_{kl}$ .

Зрозуміло, що це припущення при значних кількостях “X” ресурсів дає істотну помилку у планах розподілу ресурсів і знижує їх ефективність.

Покажемо на елементарному прикладі зміст ресурсної оптимізації процесу, яка ґрунтується на залежностях (13), (14). Нехай процес складають два послідовні заходи з запасом ресурсів  $(\alpha_1, \alpha_2)$  відповідно. Для проведення заходів виділяються ресурси (спеціалізовані) у кількості N р.о.

Планом розподілу N по заходах є вектор:

$$X = \langle x_1, x_2 \rangle, \quad (15)$$

де  $x_1$  – кількість р.о. зі спеціалізацією по заходу  $A_1$ , а  $x_2$  – по заходу  $A_2$ .

Очевидно, будь-який план для прямої задачі повинен задовольняти умову – обмеження:

$$x_1 + x_2 = N. \quad (16)$$

Кожний захід буде мати тривалість, відповідно (14):

$$\tau_1(x_1) = \left( \frac{\alpha_1}{x_1} \right), \quad \tau_2(x_2) = \left( \frac{\alpha_2}{x_2} \right). \quad (17)$$

Загальна тривалість процесу при плані (17) складе:

$$TS(X) = \tau_1(x_1) + \tau_2(x_2) = \frac{\alpha_1}{x_1} + \frac{\alpha_2}{x_2}. \quad (18)$$

Таким чином:

$$TS(X^0) = \min_{\{x\}} TS(X) = \sum_{j=1}^2 \tau_j(x_j^0). \quad (19)$$

**Висновки.** Для математичного формулювання задачі оптимізації сил цивільного захисту при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій визначено математичний вигляд цільової функції, вигляд обмежень, обрано математичний метод вирішення задачі, проведено дослідження методу на предмет його збіжності відносно отриманого результату. На основі дослідження алгоритму оптимізації сил слід відпрацювано рекомендації щодо його використання при підготовці відповідних варіантів застосування сил цивільного захисту.

## Література

1. Aschenbruck N., Gerhards-Padilla E., Martini P. Modeling mobility in disaster area scenarios. *Performance Evaluation*, Volume 66, Issue 12, 2009, P. 773-790.
2. Alexander Fekete Safety and security target levels: Opportunities and challenges for risk management and risk communication *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 2, December 2012, Pages 67-76.
3. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. - М.: Мир, 1971. - 534 с.
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. - М.: Наука, 1973. - 156 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. радио, 1972. - 551 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятности. - М.: Наука, 1969. - 576 с.