

*А.С. Рогозін, к.т.н, доцент, докторант, НУЦЗУ,  
А.Г. Коссе, к.т.н, доцент, НУЦЗУ,  
Р.Т. Левченко, ад'юнкт, НУЦЗУ*

## **ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗАЛУЧЕННЯ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДО ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Розроблено оптимізаційну модель залучення сил цивільного захисту за критерієм часу ліквідації надзвичайної ситуації на території адміністративно-територіальних утворень країни.

**Ключові слова:** модель, оптимізація, сили, цивільний захист, ліквідація, час.

**Постановка проблеми.** Одним з важливих питань що вирішується під час ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) є приймання заходів щодо мінімізації наслідків деструктивної події. Ефективність виконання цього завдання має чіткий зв'язок з кількістю сил цивільного захисту (ЦЗ), що залучається до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Практика ліквідації НС регіонального та державного рівня дає підстави казати про те, що до ліквідації наслідків НС такого рівня, часто виникає необхідність формування угруповання сил в склад яких входять сили з інших регіонів країни. Суттєві розбіжності між регіонами України в інтенсивності та масштабності реалізації загроз природного та техногенного характеру, різне географічне розташування регіонів відносно місця виникнення НС, обумовлюють необхідність розробки моделей підтримки прийняття рішень щодо раціонального залучення сил ЦЗ регіонів до ліквідації НС. Відповідно розробка оптимізаційних моделей залучення сил ЦЗ до ліквідації НС є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1-2] розглянуті питання використання методів математичного програмування для оптимізації розподілення сил та засобів. В [3-4] викладені результати формалізації процесів виникнення та ліквідації НС на території регіонів України. Питання побудови оптимізаційних моделей залучення сил ЦЗ на основі ймовірнісного підходу виникнення та ліквідації НС не розглядалися.

**Постановка завдання та його вирішення.** Результати аналізу ліквідації наслідків НС дозволили визначити, що одним з напрямків підвищення ефективності ліквідації НС є раціональне залучення сил цивільного захисту. В [5] показано, що для НС наслідки яких мають розвиток, питання нарощування групування сил цивільного захисту мають виключне значення. Метою статті є побудова загальної оптимізаційної

моделі залучення сил цивільного захисту різних регіонів для ліквідації НС. Рішення задачі оптимізації залучення сил ЦЗ будемо здійснювати у загальному виді використовуючи методи математичного програмування. При побудові моделі на першому етапі необхідно визначитися з завданням та деталізацією моделі, припущеннями та спрощеннями на базі яких буде створена модель об'єкта дослідження.

Для побудови моделі ліквідації надзвичайної ситуації зробимо наступні спрощення та позначення:

- в якості змінних моделі оберемо відносну кількість сил цивільного захисту, що можна залучити в рамках нарощування групування сил для ліквідації наслідків НС ( $m_1, m_2, \dots, m_n$ );
- інформація про надзвичайну ситуацію має детермінований характер;
- $\lambda, \mu$  – інтенсивність виникнення та ліквідації наслідків НС;
- розподіл часу ліквідації НС на території регіонів підкоряється показовому закону розподілу;
- $M[m_{nci}]$  – математичне очікування кількості сил цивільного захисту, що залучаються до ліквідації НС на території  $i$ -го регіону;
- просторове розташування регіонів враховується введенням прямокутної системи координат;
- сили цивільного захисту сконцентровані у геометричному центрі регіону з координатами  $(x_i, y_i)$ ;
- інтенсивність ліквідації наслідків НС одиницею сил цивільного захисту дорівнює 1.

Відносна кількість сил ЦЗ на території регіонів визначається наступним чином:

$$W_j = \omega_j / \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (1)$$

де  $\omega_j$  – кількість сил цивільного захисту  $j$ -го регіону.

Згідно прийнятих застережень та позначень, виконання об'єму робіт щодо ліквідації наслідків НС силами ЦЗ, визначимо наступним чином:

$$Q = \sum_{i=1}^n (t - \Delta t_i) m_i, \quad (2)$$

де  $t$  – час ліквідації наслідків НС силами регіону де виникла НС;

$\Delta t_i = \sqrt{(x_i - x_{0j})^2 + (y_i - y_{0j})^2} / k \cdot v_i$  – час слідування сил цивільного захисту  $i$ -го регіону до місця ліквідації наслідків НС з координатами  $(x_{0j}; y_{0j})$ , для регіону де виникла НС  $\Delta t = 0$ ;  $k$  – коефіцієнт не лінійності шляху;  $v_i$  – середня швидкість руху сил  $i$ -го регіону.

Ймовірність того, що сили і-го регіону будуть залучені до ліквідації НС оцінимо наступним чином:

$$\mu_j e^{-\mu_j \frac{\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}}{kv_{cp}}} \quad (3)$$

Кількість сил, що можна залучити до ліквідації НС з інших регіонів:

$$m_i = W_i - (m_{nci} + m_{чci} + \frac{M[m_{nci}]}{t_{nc} + 2\Delta t_i} \int_{\Delta t_{onji}}^{t_{nc}+2\Delta t_i+\Delta t_{onij}} P_{j+1}(t)dt), \quad (4)$$

де  $m_{nci}$  – сили цивільного захисту зайняті ліквідацією наслідків НС в і-ом регіоні;  $m_{чci}$  – сили цивільного захисту зайняті в процесі оперативного реагування на виникнення надзвичайних подій на території і-ого регіону;  $t_{nc}$  – оцінка часу ліквідації НС;  $\Delta t_{onji}$  – час з момента останнього переходу сил цивільного захисту в один зі станів ліквідації НС на території і-ого регіону;  $P_{j+1}(t)$  – зміна ймовірності переходу сил цивільного захисту в стан ліквідації в  $j+1$  надзвичайних ситуацій.

Враховуючи (2) – (5) цільову функцію оптимального залучення сил цивільного захисту для ліквідації НС запишемо наступним чином:

$$f(m) = Q / (m_{nc} + \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \mu_j e^{-\mu_j \Delta t_i} (W_i - (m_{nci} + m_{чci} + \frac{M[m_{nci}]}{t_{nc} + 2\Delta t_i} \int_{\Delta t_{onji}}^{t_{nc}+2\Delta t_i+\Delta t_{onij}} P_{j+1}(t)dt)) \rightarrow \min \quad (5)$$

де  $m_{nc}$  – сили цивільного захисту залучені до ліквідації НС з регіону де вона виникла;

Оптимізаційне завдання необхідно доповнити відповідними обмеженнями:

$$x \leq z; \quad y \leq g; \quad \sum_{j=1}^n m_j = 1. \quad (6)$$

Які враховують геометричні розміри району реагування, та обмеженнями на кількість сил цивільного захисту.

Зміна ймовірності переходу сил цивільного захисту в стан ліквідації до двох НС включно відбувається за наступними рівняннями [6]:

$$p_0(t) = \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + (\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2))/2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2 e^{-(\mu+\lambda)t}) \quad (7)$$

$$p_1(t) = \frac{1}{\mu} \left( \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (-(\mu + \lambda)\sin(\mu t)(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t}) + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\cos(\mu t)\mu(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t}) + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} ((-\mu + \lambda)\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t}) - \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)\mu(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t}) + \lambda \left( \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t}) + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \times (\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2}) \right) \right) \quad (8)$$

$$p_2(t) = 1 - p_0(t) - p_1(t) = \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (((2 - 2a - 2b)\mu^2 - 2\lambda(a + b - 1)\mu - \lambda^2(a + b))\cos(\mu t) + 2((a - 1) - \mu^2 + a\lambda\mu + 0.5a\lambda^2)\sin(\mu t))e^{-(\mu+\lambda)t} + \lambda^2 \quad (9)$$

**Висновки.** Розроблена оптимізаційна модель дозволяє визначити оптимальну кількість сил цивільного захисту, які необхідно залучити до ліквідації НС з інших регіонів. Відмінною особливістю розробленої моделі є врахування стохастичної природи процесів виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території регіонів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.

2. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

3. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного навантаженням / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138 – 145.

4. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області / А.С. Рогозін // Зб. наук. пр. – ХУПС. – Вип. 2(35). – 2013. – С. 206-208.

5. Рогозін А.С. Математична модель реагування сил та засобів цивільного захисту на території адміністративних одиниць / А.С. Рогозін // Зб. наук. пр. – ХУПС. – Вип. 4(37). – 2013. – С. 198-200.

6. Рогозін А.С. Аналіз перехідного процесу зміни ймовірності знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій / А.С. Рогозін, Р.Т. Левченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – Вип. 19. – С. 107 – 114.

А.С. Рогозин, А.Г. Коссе, Р.Т. Левченко

**Оптимизационная модель привлечения сил гражданской защиты для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций**

Разработана оптимизационная модель привлечения сил гражданской защиты по критерию времени ликвидации чрезвычайной ситуации на территории административно-территориальных образований страны.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, силы, гражданская защита, ликвидация, время.

A.S. Rogozin, A.G. Kosse, R.T. Levchenko

**An optimization model to attract civil defense forces for emergency response**

Optimization model is designed to attract the forces civil defense by the time emergency response in the territory of the administrative-territorial units of the country.

**Keywords:** model, optimization, forces, civil protection, liquidation, time.