

УДК 311.4

А.С. Рогозін

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕАГУВАННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НА ТЕРИТОРІЇ АДМІНІСТРАТИВНИХ ОДИНИЦЬ

В статті представлено загальну модель реагування сил та засобів цивільного захисту на території адміністративних одиниць країни, яка враховує характер і інтенсивність реалізації загроз природного та техногенного характеру на території, якісні і кількісні характеристики сил та засобів цивільного захисту.

**Ключові слова:** модель, надзвичайна ситуація, сили, засоби, реагування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Забезпечення цивільного захисту населення та територій регіонів країни супроводжується значною витратою матеріальних та людських ресурсів, відповідно існує проблема визначення якісного та кількісного складу сил та засобів на території регіонів в залежності від характеру та інтенсивності реалізації загроз природного та техногенного характеру. Визначення оптимального складу сил та засобів на території регіонів, призначених для забезпечення відповідного рівня цивільного захисту, може бути реалізовано в результаті аналізу моделей реагування відповідних сил на виниклі надзвичайні ситуації. Враховуючи обмеженість ресурсів та можливість виникнення ситуацій, які вимагатимуть одночасного залучення наявних сил та засобів у ліквідації наслідків реалізації загроз різного характеру, розробка математичних моделей забезпечення цивільного захисту на території адміністративних одиниць країни є важливою науковою задачею, актуальність якої обумовлюється необхідністю оптимізації якісного та кількісного складу сил цивільного захисту відповідно до наявних загроз на території.

**Аналіз літератури.** В [1 – 4] розглянуті питання використання методів дослідження операцій щодо оптимального управління силами та засобами. В [5 – 10] викладені методологічні підходи побудови математичних моделей. Моделювання процесів управління та прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій розглянуто в [11 – 14].

В результаті аналізу публікацій можна зробити висновок про те, що більшість відомих моделей описують процеси розвитку надзвичайних ситуацій з метою прогнозування їх наслідків. Моделювання реагування сил цивільного захисту на виникнення надзвичайних подій, як процесу масового обслуговування, для більшості регіонів країни [15], в силу неврахування темпів нарощування сил та засобів, в процесі ліквідації надзвичайних подій, приводить до суттєвого завищення потрібних сил та засобів, що в свою чергу, знижує ефективність реалізації функцій цивільного захисту.

**Постановка завдання.** Метою статті є побудова математичної моделі реагування сил та засобів цивільного захисту на виникнення надзвичайних ситуацій на території регіону, яка враховує характер та інтенсивність реалізації загроз.

### Основна частина

Однією з головних проблем у визначенні оптимального складу сил та засобів цивільного захисту, це відсутність визначених об'єктивних потреб території у силах, необхідних для забезпечення встановленого рівня цивільного захисту.

Для побудови моделі реагування на виникнення надзвичайних ситуацій зробимо наступні застереження та позначення:

– рівень показника масштабності надзвичайної ситуації на території регіону визначається, як математичне очікування системи двох випадкових величин (реалізації загроз природного та техногенного характеру та показника потреб в залученні сил та засобів цивільного захисту);

– ліквідація надзвичайної ситуації характеризується  $k$  одночасно існуючими напрямками дій, направлених на забезпечення цивільного захисту населення та території;

–  $z_i(t)$  ( $i \in [1, k]$ ) – математичне очікування рівня показників об'ємів завдань за напрямками в момент часу  $t$ ;

–  $d$  – кількість типів сил та засобів ліквідації надзвичайної ситуації (отримується за допомогою методів проведення класифікації);

–  $x_j(t)$  ( $j \in [1, d]$ ) – кількість задіяних у ліквідації засобів  $j$ -го типу на момент часу  $t$ ;

–  $\lambda_{ij}$  – математичне очікування інтенсивності виконання завдань по забезпеченню цивільного захисту  $j$ -м засобом  $k$ -го напрямку надзвичайної ситуації;

–  $\alpha_{ij}(t)$  – відносна частина  $j$ -х засобів, залучених до виконання завдань по забезпеченню цивільного захисту за  $k$ -м напрямком надзвичайної ситуації на момент часу  $t$ ;

–  $f_i(t)$  – інтенсивність розвитку  $k$ -го напрямку надзвичайної ситуації  $0 \leq f_i(t) \leq F_i$ ;

–  $w(x_j(t))$  – збільшення  $j$ -их засобів в процесі виконання завдань по забезпеченню цивільного захисту території  $\int_0^t w(x_j(t))dt \leq W_j$ , де  $W_j$  – обмеження можливості залучення додаткових сил та засобів;

–  $z_i(0)$  ( $i \in [1, k]$ ) – початкові рівні показників напрямків НС;

–  $x_j(0)$  ( $j \in [1, d]$ ) – початкова кількість засобів що залучена до ліквідації надзвичайної ситуації;

Враховуючи прийняті позначення зменшення рівня об'ємів завдань по забезпеченню цивільного захисту за  $k$ -им напрямком надзвичайної ситуації  $z_i$  за час  $\Delta t$  обумовленого дією  $j$ -их засобів, в процесі ліквідації надзвичайної ситуації, визначимо наступним чином:

$$\sum_{j=1}^d \alpha_{ij}(t) \cdot \lambda_{ij} \cdot w(x_j(t)) \cdot \Delta t . \quad (1)$$

Сили та засоби що залучаються до ліквідації надзвичайної ситуації мають різну спроможність в ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, потребу в їх ротації під час виконання завдань, коефіцієнти  $\alpha_{ij}(t)$ ,  $\lambda_{ij}$  дозволяють це врахувати з накладенням наступних обмежень:

$$\sum_{j=1}^d \alpha_{ij}(t) = 1; \quad \alpha_{ij}(t) \geq 0 . \quad (2)$$

Зміну рівня об'ємів завдань за  $k$ -им напрямком надзвичайної ситуації за час  $\Delta t$  можна визначити наступним чином:

$$\Delta z_i(t) = -\sum_{j=1}^d \alpha_{ij}(t) \cdot \lambda_{ij} \cdot w(x_j(t)) \cdot \Delta t + f_i(t) \cdot \Delta t . \quad (3)$$

Поділивши (3) на  $\Delta t$  і переходячи до границі  $\Delta t \rightarrow 0$  отримаємо рівняння, яке описує зміну рівня завдань за  $i$ -м напрямком.

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^d \alpha_{ij}(t) \cdot \lambda_{ij} \cdot w(x_j(t)) + f_i(t) . \quad (4)$$

Таким чином, нами отримане рівняння що описує процес ліквідації надзвичайної ситуації, яка характеризується наявністю  $k$  напрямків і до ліквідації якої залучені  $d$  типів засобів.

З рівняння 4 можна побачити, що для стаціонарного процесу параметри моделі  $\alpha_{ij}$ ,  $\lambda_{ij}$  прийматимуть постійні значення і зміна рівня об'ємів завдань за  $k$ -м напрямком буде залежить від інтенсивності розвитку  $k$ -го напрямку та збільшення  $j$ -х засобів в процесі виконання завдань.

Для випадку ліквідації одного напрямку одним  $j$ -м типом засобів, зміна об'ємів завдань буде визначатися наступним чином:

$$\frac{dz(t)}{dt} = -\alpha(t) \cdot \lambda_j \cdot w(x_j(t)) + f(t) . \quad (5)$$

Виходячи з результатів аналізу розвитку та ліквідації НС, для більшості випадків надзвичайних ситуацій регіонального рівня, можна приймати нарощування сил та засобів за радіальною схемою їх залучення. І відповідно нарощування сил та засобів можна описати наступним чином:

$$w(x(t)) = 2 \cdot s \cdot \pi \cdot t , \quad (6)$$

де  $s$  – коефіцієнт, який враховує розподіл сил та засобів на території та їх динамічні характеристики.

Зміну інтенсивності розвитку надзвичайної ситуації техногенного характеру, у більшості випадків, можна описати лінійною залежністю:

$$f(t) = b \cdot t . \quad (7)$$

З врахуванням (6), (7) рівняння зміни об'ємів завдань запишемо наступним чином:

$$\frac{dz(t)}{dt} = -\alpha \cdot \lambda_{ij} \cdot 2s\pi t + bt . \quad (8)$$

Рішення (8) має наступний вигляд:

$$z(t) = z(0) - (\alpha \cdot \lambda \cdot s \cdot \pi - 0,5 \cdot b)t^2 . \quad (9)$$

З (9) бачимо, що за прийнятими умовами, зміна об'ємів завдання має параболічний вид. На рис. 1 представлено графік зміни об'ємів завдань при наступних параметрах моделі:

$$\alpha=0,3; \quad \lambda=0,51; \\ b=1,9; \quad s=2.$$

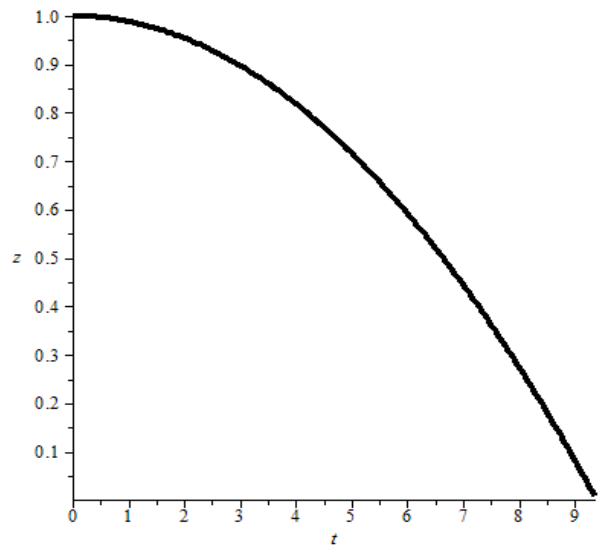


Рис. 1. Зміна об'ємів завдання ліквідації НС  $\alpha \cdot \lambda \cdot s \cdot \pi - 0,5 \cdot b > 0$

На рис. 2 представлено графік зміни об'ємів завдань при наступних параметрах моделі:

$$\alpha=0,3; \quad \lambda=0,49; \\ b=1,9; \quad s=2.$$

## Висновки

1. Запропонований підхід моделювання ліквідації надзвичайних ситуацій на території регіонів дозволяє,

по-перше, врахувати особливості території в плані реалізації загроз природного та техногенного характеру, по-друге нарощування сил та засобів в ході ліквідації, по-третє, будувати оптимізаційні моделі розміщення сил та засобів в межах груп регіонів.

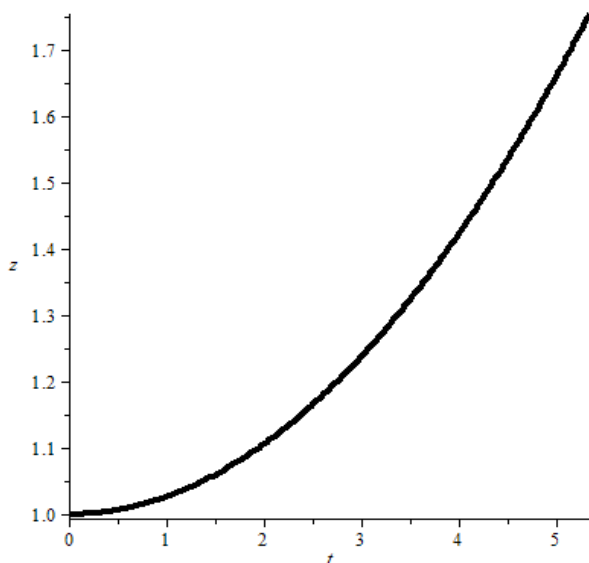


Рис. 1. Зміна об'ємів завдання ліквідації НС  
 $\alpha \cdot \lambda \cdot s \cdot \pi - 0, 5 \cdot b < 0$

2. Аналіз результатів моделювання за запропонованою моделлю дозволить отримати необхідні данні щодо визначення оптимального якісного та кількісного складу сил цивільного захисту на території регіонів, дасть підстави для перегляду існуючої системи розміщення та управління силами та засобами цивільного захисту.

### Список літератури

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
2. Венцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Венцель. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.
3. Чувев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чувев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

4. Волгин Н.С. Исследование операций / Н.С. Волгин. – Спб.: Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, 1999. – 334 с.

5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1969. – 400 с.

6. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2007. – 343 с.

7. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике / В.С. Зарубин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 496 с.

8. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей / А.Д. Мышкис. – М.: КомКнига, 2007. – 192 с.

9. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / И.У. Ямалов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2007. – 288 с.

10. Основы теории боевой эффективности и исследования операций / Е.С. Венцель [и др.]. – М.: ВВИА, 1961. – 524 с.

11. Davis, Paul K. Aggregation, disaggregation, and the 3:1 rule in ground combat / Paul K. Davis. – Santa Monica, Dept. of the US Army, 1995. – 35 p.

12. Архипова Н.И. Управление в чрезвычайных ситуациях / Н.И. Архипова, В.В. Кульба. – М.: РГГУ, 1998. – 316 с.

13. Ямалов И.У. Информационная поддержка принятия решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе моделирования сценариев управления / И.У. Ямалов // Информационные технологии: науч.-техн. и науч.-произв. журн. – 2005. – № 6. – С. 51-58.

14. Ямалов И.У. Концептуальное моделирование процессов возникновения и развития чрезвычайных ситуаций / И.У. Ямалов // Информационные технологии: науч.-техн. и науч.-произв. журн. – 2006. – № 7. – С. 54-57.

15. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році – К.: Чорнобильінтерінформ, 2011. – 257с. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2010.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2010.html)17.

Надійшла до редколегії 8.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук О.М. Соболев, Національний університет цивільного захисту України, Харків.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАГИРОВАНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ

А.С. Рогозин

В статье представлена общая модель реагирования сил и средств гражданской защиты на территории административных единиц страны, которая учитывает интенсивность реализации угроз природного и техногенного характера на территории, качественные и количественные характеристики сил и средств гражданской защиты.

**Ключевые слова:** модель, чрезвычайная ситуация, силы, средства, реагирование.

### MATHEMATICAL MODEL OF REACTING OF FORCES AND FACILITIES OF CIVIL DEFENCE ON TERRITORY OF ADMINISTRATIVE UNITS

A.S. Rogozin

This paper presents a general model of response capabilities of civil defense in the administrative units of the country, taking into account the nature and intensity of natural and man-made threats description territory qualitative and quantitative capabilities of civil protection.

**Keywords:** model, emergencies, power, means, response.