

УДК 311.4

А.С. Рогозін<sup>1</sup>, Р.Т. Левченко<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, Харків<sup>2</sup> Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України в Київській області, Київ

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ СИЛАМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ РЕГІОНІВ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В статті розглянуто ліквідацію надзвичайних ситуацій, як однорідний Марківський процес. Визначено постійні часу перехідного процесу для регіонів з високим рівнем техногенного навантаження. Представлені результати розрахунків ймовірностей стану системи ліквідації надзвичайних ситуацій Харківської, Запорізької, Дніпропетровської, Луганської, Київської областей.

**Ключові слова:** залучення, сили цивільного захисту, ліквідація, зміна ймовірності, надзвичайна ситуація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Забезпечення безпеки населення та території нашої країни від надзвичайних ситуацій різного характеру є однією з головних функцій держави. Для забезпечення цивільного захисту країна витрачає відповідні матеріальні та людські ресурси. Ефективність заходів цивільного захисту залежить від адекватності ресурсного забезпечення функцій цивільного захисту існуючим загрозам різного характеру на території країни. В якості показників об'ємів завдань в плані забезпечення цивільного захисту населення та території доцільно використовувати ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіону у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій (НС). Для підвищення ефективності використання сил, при нарощуванні останніх за рахунок суміжних регіонів, також необхідно спиратись на ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіонів у відповідному стані процесу ліквідації НС. Відповідно розробка підходів щодо визначення ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіону у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій є актуальною науковою задачею.

**Аналіз літератури.** Групування регіонів України за показниками, що характеризують територіальні особливості регіонів, інтенсивність реалізації загроз та масштабність їх наслідків розглядалися в роботі [1]. Формалізації процесу реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах України присвячені роботи [2, 3]. Питання, пов'язані з розробкою підходів щодо визначення ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіонів у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій, не розглядалися.

**Постановка завдання.** Метою статті є представлення результатів дослідження процесу залучення сил цивільного захисту до ліквідації НС на

території регіонів з високим рівнем техногенного навантаження.

### Основна частина

Якісний аналіз статистичних даних щодо реалізації загроз на території країни вказує на суттєву різницю в інтенсивності виникнення надзвичайних подій різного характеру по регіонах, зумовлену особливостями відповідних територій, рівнем їхньої урбанізації, розвитком промисловості, природними характеристиками регіону тощо [4]. Для побудови оптимізаційних моделей розподілу сил та засобів цивільного захисту якісного аналізу недостатньо, отримані результати [2, 3] щодо визначення законів розподілу виникнення надзвичайних ситуацій на території адміністративних одиниць не дають об'єктивної оцінки масштабів залучення сил та засобів цивільного захисту до ліквідації НС. Виникнення НС на території регіону можна розглядати як дискретний випадковий процес, з постійною інтенсивністю виникнення НС [2]. Враховуючи, що випадкова величина «кількість НС, яка виникає на інтервалі часу» розподілена за законом Пуассона [2, 3], процес виникнення НС на території регіону можна розглядати як марківський ланцюг. Випадковий процес виникнення НС в цьому випадку характеризується послідовністю станів:

$$s_0, s_1, s_2, \dots, s_n, \quad (1)$$

де  $s_0$  – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту не залучені до ліквідації жодної НС;  $s_1, s_2, \dots, s_n$  – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту залучені до ліквідації одної, двох та  $n$  НС відповідно.

В силу постійності інтенсивності переходів системи із стану в стан процес є однорідним. Зображення графа процесу виникнення та ліквідації НС на території регіону для загального випадку представлено на рис. 1.

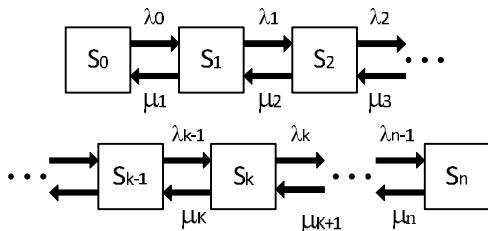


Рис. 1. Граф станів процесу виникнення надзвичайних ситуацій на території регіону

На рисунку прийняті наступні позначення:

$\lambda_i$  – інтенсивність переходів системи від стану  $i$  до стану  $i+1$ ;  $\mu_i$  – інтенсивність переходів системи від стану  $i$  до стану  $i-1$ .

Для випадку коли система має кінцеву кількість станів  $s_i$  знаходження ймовірності  $p_i(t)$  перебування системи у  $i$ -му стані здійснюється за допомогою рівнянь Колмогорова:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n \mu_{ij} p_j(t) - p_i(t) \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \quad (2)$$

Враховуючи нормуючу умову

$$p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_n(t) = 1,$$

для процесу, граф якого представлено на рис. 1, рівняння (2) можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = \mu_1 p_1(t) - \lambda_0 p_0(t); \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = 2\mu_2 p_2(t) - \lambda_1 p_1(t); \\ \dots \\ \frac{dp_{n-1}(t)}{dt} = n\mu_n \left( 1 - \sum_{i=1}^{n-1} p_i(t) \right) - \lambda_{n-1} p_{n-1}(t). \end{cases} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) дозволяє задаючись початковими умовами, визначити ймовірності можливих станів процесу виникнення та ліквідації НС.

При  $t \rightarrow \infty$ ,  $dp_i(t)/dt \rightarrow 0$ , ймовірності стану процесу виникнення та ліквідації НС отримуються в результаті рішення системи алгебраїчних рівнянь та мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0; \quad p_2 = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{1\mu_1 \cdot 2\mu_2} p_0; \\ p_k &= \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{k-1}}{1\mu_1 \cdot 2\mu_2 \cdot \dots \cdot k\mu_k} p_0 = \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} p_0; \\ p_n &= \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} p_0 = \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} p_0; \end{aligned} \quad (4)$$

$$p_0 = \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\mu_1} + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot \mu_2} + \dots + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} \right)^{-1} = \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} \right]^{-1}.$$

Рішення (3) для системи, яка може приймати три стани, має наступний вид:

$$p_0(t) = \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \cdot (\sin(\mu t)(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} e^{-(\mu+\lambda)t}); \quad (5)$$

$$p_1(t) = \frac{1}{\mu} \left( \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (-(\mu + \lambda) \sin(\mu t) \cdot (2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\cos(\mu t)\mu \cdot (2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} ((-(\mu + \lambda) \cdot \cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} - \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)\mu(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \lambda \left( \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t) \cdot (2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2) e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2}))); \right); \quad (6)$$

$$p_2(t) = 1 - p_0(t) - p_1(t) = \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \cdot (((2 - 2a - 2b)\mu^2 - 2\lambda(a + b - 1)\mu - \lambda^2(a + b)) \cos(\mu t) + 2((a - 1) - \mu^2 + a\lambda\mu + 0.5a\lambda^2) \sin(\mu t) e^{-(\mu+\lambda)t} + \lambda^2); \quad (7)$$

де  $a, b$  – початкові умови  $p_0(0), p_1(0)$ , відповідно.

З рівнянь (5) – (7) слідує, що постійна часу перехідного процесу дорівнює  $\tau = 1/(\lambda + \mu)$ . Математичне сподівання для випадку необмеженої кількості станів ліквідації НС визначається з наступного співвідношення:

$$M[s_i(t)] = \lambda / \mu.$$

В табл. 1 представлено результати розрахунків ймовірностей стану ліквідації НС для регіонів з високим рівнем техногенного навантаження.

### Висновки

Визначення ймовірностей стану знаходження сил цивільного захисту регіонів в процесі забезпечення цивільного захисту населення та територій

дозволяє здійснювати оптимізацію кількісних характеристик сил по регіонах.

Закінчення табл. 1

Таблиця 1

Результати розрахунків						
Ймовірність знаходження в стані ліквідації НС $p_i$						
0	1	2	3	4	5	
Харківська область						
	0.607	0.303	0.075	0.013	$1.564 \cdot 10^{-3}$	$1.559 \cdot 10^{-4}$
$\lambda$	$\mu$		$M[s_i(t)]$		$\tau$ діб	
0.04047	0.081167		0.498562		8.22	
Запорізька область						
	0.554	0.327	0.097	0.019	$2.821 \cdot 10^{-3}$	$3.337 \cdot 10^{-4}$
$\lambda$	$\mu$		$M[s_i(t)]$		$\tau$ діб	
0.0385	0.065101		0.591392		9.65	
Дніпропетровська область						
	0.799	0.179	0.02	$1.509 \cdot 10^{-3}$	$8.474 \cdot 10^{-5}$	$3.807 \cdot 10^{-6}$
$\lambda$	$\mu$		$M[s_i(t)]$		$\tau$ діб	
0.041267	0.1837122		0.2246268		4.44	
Луганська область						
	0.851	0.137	0.011	$5.963 \cdot 10^{-4}$	$2.406 \cdot 10^{-5}$	$7.768 \cdot 10^{-6}$
$\lambda$	$\mu$		$M[s_i(t)]$		$\tau$ діб	
0.052367	0.324444		0.161404		2.65	

Київська область						
	0.839	0.147	0.013	$7.562 \cdot 10^{-4}$	$3.318 \cdot 10^{-5}$	$1.165 \cdot 10^{-6}$
$\lambda$	$\mu$		$M[s_i(t)]$		$\tau$ діб	
0.0488	0.278027		0.175523		3.06	

Отримані постійні часу перехідних процесів дозволяють підвищити рівень ефективності використання сил, під час формування зведених загонів з підрозділів територіально розташованих в інших регіонах країни.

### Список літератури

1. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складова державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, В.В. Тютюнник [та ін.] // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 58-71.
2. Рогозін А.С. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного навантаження / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138-145.
3. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області / А.С. Рогозін // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(35). – С. 206-208.
4. Рогозін А.С. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 95-106.

Надійшла до редколегії 11.03.2014

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

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ СИЛАМИ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ РЕГИОНОВ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А.С. Рогозин, Р.Т. Левченко

В статье рассмотрена ликвидация чрезвычайных ситуаций, как однородный Марковский процесс. Определены постоянные времена переходного процесса для регионов с высоким уровнем техногенной нагрузки. Представлены результаты расчетов вероятностей состояния системы ликвидации чрезвычайных ситуаций Харьковской, Запорожской, Днепропетровской, Луганской, Киевской областей.

**Ключевые слова:** привлечение, силы гражданской защиты, ликвидация, изменение вероятности, чрезвычайная ситуация.

### ANALYSIS OF THE PROCESS OF ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS OF CIVIL PROTECTION FORCES REGIONS WITH HIGH LEVELS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

A.S. Rogozin, R.T. Levchenko

Article consideration liquidation of emergency situations as a homogeneous Markov process. Constants are defined for the transient time of the regions with a high level of anthropogenic impact. Presents the results of calculations of the probabilities of the state emergency response, Kharkov, Zaporozhye, Dnepropetrovsk, Lugansk, Kiev regions.

**Keywords:** attraction, civil defense forces, liquidation, change in probability, disaster management.