

**УДК 681.5**

*А.С. Рогозін, к.т.н., доцент, ХНУМГ,  
В.О. Росоха, к.психол.н., професор, ХНУМГ,  
О.В. Пирогов, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,  
Є.А. Яровий, ст. викладач, НУЦЗУ*

## **АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ**

(представлено д.н. А. Мізерскі)

В статті представлено результати аналізу процесу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території Запорізької області.

**Ключові слова:** загрози, реалізація, надзвичайна ситуація, закон розподілу, процес.

**Постановка проблеми.** Надзвичайні ситуації (НС) є результатом потужної реалізації широкого спектру небезпек різного походження. Кожний рік в світі виникає більше 500 потужних НС, в наслідок яких гине більше ніж 75 000 осіб [1]. За останні десять років на території України зареєстровано більше 2,5 тис. надзвичайних ситуацій збитки від яких склали 1,7 млрд. доларів США. Ліквідація наслідків НС вимагає використання різноманітних ресурсів, процес управління якими в світі прийнято називати надзвичайною логістикою [2]. Необхідною умовою забезпечення ефективності управління ресурсами призначеними для ліквідації масштабних НС є достовірна інформація про закономірності виникнення та ліквідації наслідків НС [3]. Особливої гостроти проблема визначення закономірностей виникнення та ліквідації НС набуває в контексті стратегії сталого розвитку «Україна – 2020» в якій одним з головних заходів реалізації реформи системи національної безпеки та оборони є оптимізація інститутів забезпечення безпеки та їх діяльності. У зв'язку з цим важливою проблемою в рамках забезпечення ефективності заходів цивільного захисту є створення математичних моделей опису процесів, виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території адміністративних утворень України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методологія оцінки та моделювання величин стохастичної природи викладено в [4-7].

Стохастичному моделюванню надзвичайних подій урбанізованих територій присвячена робота [8]. В роботі [9] оцінка загроз для територій визначається на основі дискретного набору сценаріїв виникнення НС з відповідними ймовірностями їх виникнення. В роботі [10] оцінку загроз територій запропоновано здійснювати на основі визначення ймовірнісних характеристик надзвичайних подій на основі статистичних методів.

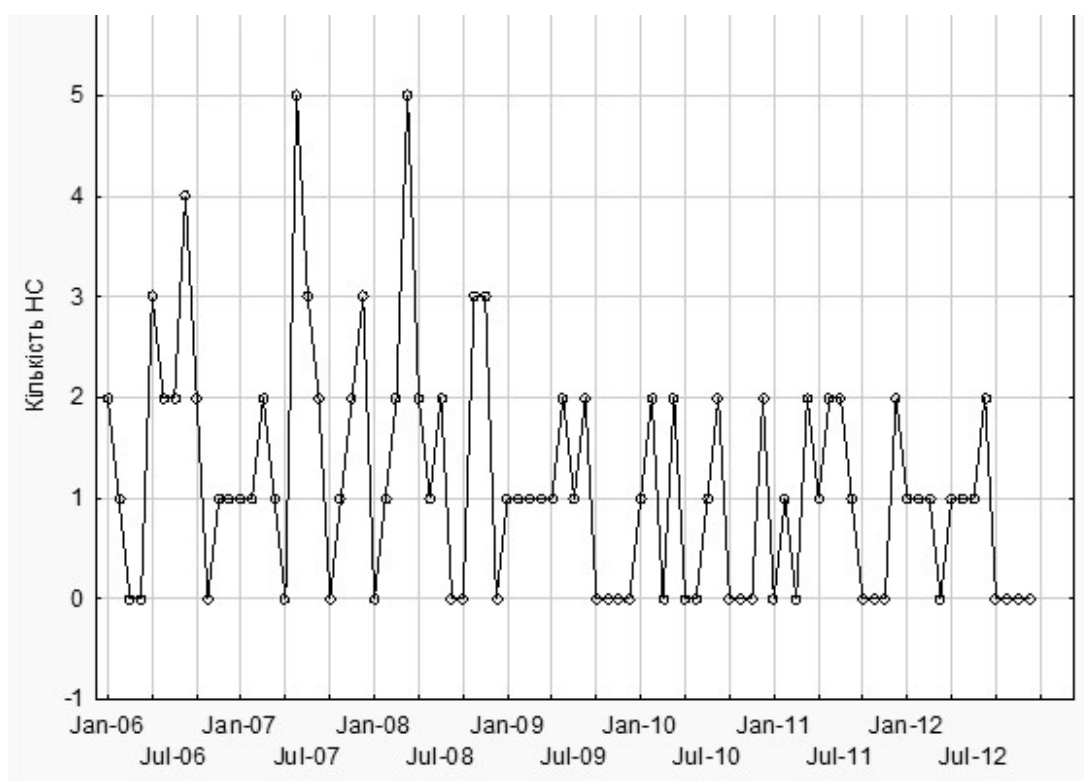
Визначенню загроз природного та техногенного характеру на території України за широким спектром показників присвячена робота [11].

В [12-14] розглянуто підходи щодо аналізу оперативної обстановки на території регіонів. Питання визначення характеру процесу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) на території Запорізької області не розглядалися.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є представлення результатів дослідження процесу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території Запорізької області.

Дослідження закономірностей виникнення та ліквідації НС на території Запорізької області проводилися на основі розгляду вибірки з 97 надзвичайних ситуацій, що були зареєстровані на території області за період з 2006 по 2013 рік. Для визначення закономірностей розподілу НС використовувались методи математичної статистики в рамках вирішення задачі перевірки статистичної гіпотези про вид розподілу випадкової величини. В якості критерію узгодженості використовувався критерій Пірсона.

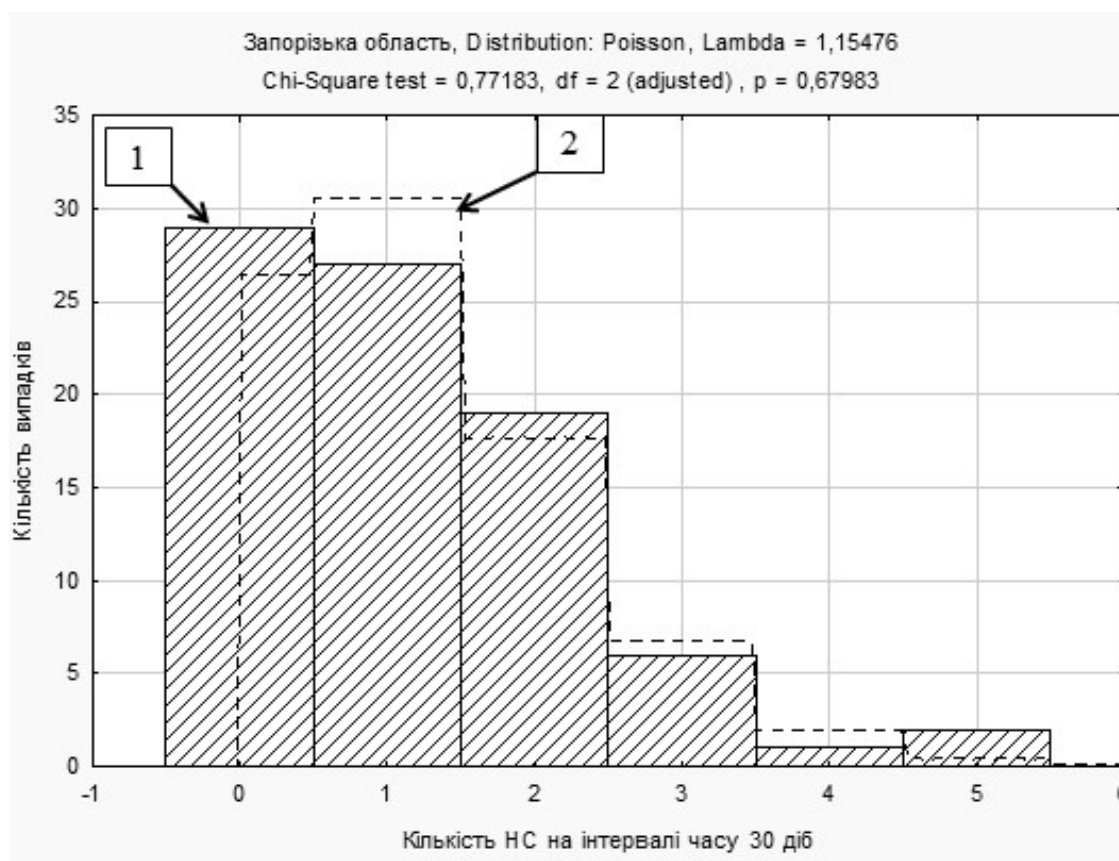
На рис. 1 представлено динаміка виникнення НС на території Запорізької області.



**Рис. 1.** Ряд динаміки виникнення надзвичайних ситуацій на території Запорізької області

Характер розподілу НС на інтервалі часу дозволив прийняти гіпотезу про пуасонівський характер виникнення НС.

На рис. 2 представлено результати аналізу розподілу НС, як випадкової величини.



**Рис. 2.** Розподіл виникнення НС на території Запорізької області: 1 – емпіричний розподіл НС; 2 – розподіл за законом Пуасона

Не менш важливим для адекватного управління ресурсами призначених для ліквідації НС є закономірності ліквідації наслідків НС.

Одним з основних параметрів процесу ліквідації наслідків НС є час. На час ліквідації наслідків НС здійснює вплив велика кількість різноманітних чинників стохастичного характеру, що в свою чергу, обумовлює можливість розглядати час ліквідації НС, як випадкову величину.

Характер розподілу часу ліквідації НС на території області дозволив висунути гіпотезу про показовий закон розподілу часу ліквідації НС.

В табл. 1 представлено результати аналізу розподілу часу ліквідації НС на території Запорізької області.

Результати аналізу статистичних даних (табл. 1) вказують, що критерій Пірсона приймає невелике значення, при достатньо високому рівні значимості, що дозволяє для Запорізької області не відкидати гіпотезу про розподіл часу ліквідації НС за показовим законом з параметром  $\mu=0,18$ .

**Табл. 1. Результати аналізу розподілу часу ліквідації НС на території області**

Час ліквідації НС (діб)	Емпіричний розподіл	Розподіл за показовим законом
0-5	66	57,7535799
5-10	19	23,3672295
10-15	4	9,45443406
15-20	3	3,82528547
20-25	0	1,54771918
25-30	1	0,626210693
30-35	1	0,253366267
35-40	0	0,102512567
40-45	0	0,0414768171
45-50	1	0,0167816143
50-55	1	0,00678987922
55-60	1	0,00274720054
$\mu$	0,18097014	
$\chi^2$	5,52668	
P-рівень значимості критерію	0,06308	

В табл. 2 представлено результати аналізу ймовірностей знаходження сил цивільного захисту Запорізької області в процесі одночасної ліквідації НС.

**Табл. 2. Результати аналізу знаходження сил цивільного захисту в стані одночасної ліквідації НС**

Математичне очікування участі сил у ліквідації НС	Постійна часу перехідного процесу зміни ймовірностей	Ймовірності знаходження сил в процесі одночасної ліквідації n НС				
		n=0	n=1	n=2	n=3	n=4
M[NS]	$\tau$					
0,2127422	6,0410347	0,8083644	0,1719732	0,0182929	0,0012972	0,0000689

Результати отримані на основі розгляду виникнення та ліквідації НС, як випадкового Марківського процесу з пуассонівським характером потоку виникнення НС та потоком ліквідації НС, який підкоряється показовому закону розподілу.

В ході проведеного аналізу було встановлено, що математичне очікування участі сил цивільного захисту в ліквідації НС складає 0,21 а

постійна часу перехідного процесу для Запорізької області дорівнює 145 годин.

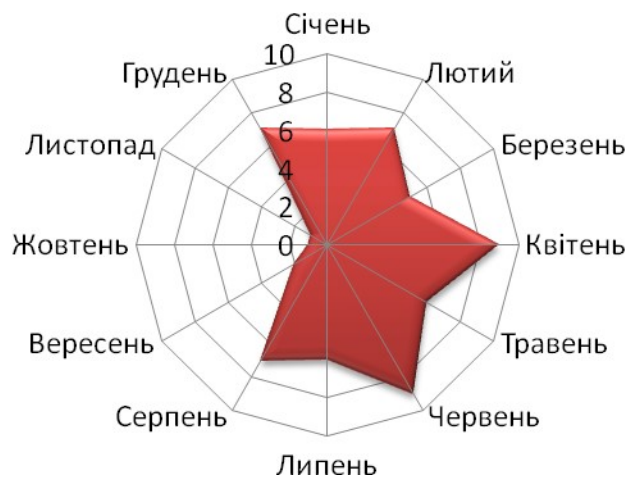
Приймаючи гіпотези, що виникнення НС на території області відбувається за законом Пуасона а ліквідація НС за показовим законом розподілу, рівняння перехідного процесу зміни ймовірностей станів знаходження сил цивільного захисту регіону в процесі ліквідації НС, для трьох станів, мають наступний вид:

$$\begin{aligned}
 p_0(t) = & 0.8084226792 + 3.602962322 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + \\
 & + 9.58358693 \cdot 10^{21} \cdot B + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.264334054 \cdot 10^{22}) \cdot \\
 & \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} - 1.073811831 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + 2.697311916 \cdot 10^{22} \cdot B + \\
 & + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.563409112 \cdot 10^{22}) \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \cos(0.3270744814 \cdot t) - \\
 & - 1.859896649 \cdot 10^{-23} \cdot (1.162173447 \cdot 10^{21} \cdot B + 7.210646581 \cdot 10^{21} \cdot C + \\
 & + 5.59302224 \cdot 10^{21} - 7.32944956 \cdot 10^{21} \cdot A) \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \sin(0.3270744814 \cdot t) + \\
 & + 2.764731562 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + 2.697311916 \cdot 10^{22} \cdot B + \\
 & + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.563409112 \cdot 10^{22}) \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \sin(0.3270744814 \cdot t) - \\
 & - 4.788655528 \cdot 10^{-23} \cdot (1.162173447 \cdot 10^{21} \cdot B + 7.210646581 \cdot 10^{21} \cdot C + \\
 & + 5.593502224 \cdot 10^{21} - 7.32944956 \cdot 10^{21} \cdot A) \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \cos(0.3270744814 \cdot t); \\
 p_1(t) = & 0.1719856831 + 5.750585976 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + \\
 & + 2.697311916 \cdot 10^{22} \cdot B + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.563409112 \cdot 10^{22}) \cdot \\
 & \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \cos(0.3270744814 \cdot t) + 9.960307088 \cdot 10^{-23} \cdot (1.1621734 \cdot 10^{21} \cdot B + \\
 & + 7.210646581 \cdot 10^{21} \cdot C + 5.593502224 \cdot 10^{21} - 7.3294496 \cdot 10^{21} \cdot A) \cdot e^{-0.1655345560 \cdot t} \cdot \\
 & \sin(0.3270744814 \cdot t) - 5.750585976 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + \\
 & + 9.58358693 \cdot 10^{21} \cdot B + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.26433405 \cdot 10^{22}) \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} \\
 p_2(t) = & 0.1829431308 + 4.589173593 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + \\
 & + 9.58358693 \cdot 10^{21} \cdot B + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.264334054 \cdot 10^{22}) \cdot \\
 & \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} - 2.018352686 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + 2.697311916 \cdot 10^{22} \cdot \\
 & \cdot B + 1.3652529 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.5634091 \cdot 10^{22}) \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} \cdot \cos(0.3270744814 \cdot t) - \\
 & - 3.495889401 \cdot 10^{-23} \cdot (1.162173447 \cdot 10^{21} \cdot B + 7.210646581 \cdot 10^{21} \cdot C + \\
 & + 5.593502224 \cdot 10^{21} - 7.32944956 \cdot 10^{21} \cdot A) \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} \cdot \sin(0.3270744814 \cdot t) - \\
 & - 5.196630577 \cdot 10^{-23} \cdot (2.566149822 \cdot 10^{22} \cdot A + 2.697311916 \cdot 10^{22} \cdot B + \\
 & + 1.365252984 \cdot 10^{22} \cdot C - 2.563409112 \cdot 10^{22}) \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} \cdot \sin(0.3270744814 \cdot t) + \\
 & + 9.000828178 \cdot 10^{-23} \cdot (1.162173447 \cdot 10^{21} \cdot B + 7.210646581 \cdot 10^{21} \cdot C + \\
 & + 5.593502224 \cdot 10^{21} - 7.32944956 \cdot 10^{21} \cdot A) \cdot e^{-0.3273413080 \cdot t} \cdot \cos(0.3270744814 \cdot t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

де А, В,С – початкові умови  $P_0(0)$ ,  $P_1(0)$ ,  $P_2(0)$  відповідно.

За масштабністю наслідків надзвичайні ситуації розподілено наступним чином: регіонального рівня – 6 (6%), місцевого – 38 (39%), об'єктового рівня – 53 (55%).

На рис. 3-4 представлено розподіл виникнення НС техногенного та природного характеру на інтервалі часу один рік.



**Рис. 3. Розподіл виникнення НС техногенного характеру**

Найменша інтенсивність реалізації загроз техногенного характеру на території області спостерігається з вересня по листопад



**Рис. 4. Розподіл виникнення НС природного характеру по місяцям року**

Найбільша інтенсивність реалізації загроз природного характеру на території області спостерігається у період з червня по серпень та з жовтня по листопад.

В ході проведеного дослідження було встановлено, що математичне очікування виникнення НС на інтервалі часу 720 годин для Запорізької області складає 1,15, рівень значимості перевірки гіпотези про пуасонівський характер виникнення НС дорівнює 0,66, що

обумовлює можливість моделювання виникнення НС на території Запорізької області за законом Пуасона, час ліквідації наслідків виникнення НС на території області добре погоджується з показовим законом розподілу з параметром  $\mu=0,18$  з рівнем значимості гіпотези 0,06. Це дозволило розглядати процес виникнення та ліквідації НС на території Запорізької області, як випадковий дискретний марківський процес з безперервним часом, що дозволило встановити ймовірності станів з одночасною ліквідацією НС. Отримані ймовірності вказують на те, що сили цивільного захисту області 80% часу знаходяться в стані виконання повсякденних завдань, 97% часу приймають участь у ліквідації наслідків не більше однієї НС. Також встановлено певну сезонність виникнення НС техногенного та природного характеру.

**Висновки.** Представлені результати аналізу процесу виникнення та ліквідації НС на території Запорізької області дозволяють здійснювати моделювання виникнення та ліквідації НС з більш високим рівнем адекватності, та обґрунтовано застосовувати регулювання в рамках реалізації функції організації забезпечення цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Rennemo S. J. A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning [Text]. / S. J. Rennemo, K. Fougner Ro, L. M. Hvattum, G. Tirado // Journal Transportation Research Part E. 2014 – N. 62. – P. 116 – 135.
2. Gutjahr W. J. Multicriteria optimization in humanitarian aid [Text]. / W. J. Gutjahr, P. C. Nolz // European Journal of Operational Research. 2015 – N. 252(2). – P. 351-366.
3. Кодекс цивільного захисту. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
4. Barlow R.E. Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models / R. E. Barlow. To Begin With, 1975. – 290 p.
5. Billingsley, P. Probability and Measure, 3rd edition / P. Billingsley. – New York: Wiley, 1995. – 593 p.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика/В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
7. Боровков А.А. Математическая статистика: оценка параметров, проверка гипотез / А.А. Боровков – М.: Физматлит, 1984. – 472 с.
8. Cimellaro G.P. Urban Resilience for Emergency Response and Recovery: Fundamental Concepts and Applications / G.P. Cimellaro. Springer, 2016. – 522 p.
9. Rawls C.G. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response [Text] / C.G. Rawls, M.A. Turnquist // Transportation Research Part B: Methodological. 2010. – N. 44(4). – P. 521-534.
10. Beraldi P. A probabilistic model applied to emergency service

vehicle location [Text] / P. Beraldi, M.E. Bruni // *European Journal of Operational Research*, 2009. – N. 196(1). – P. 323-331.

11. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складова державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, В.В. Тютюник [та ін.] // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.

12. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької об-ласті / А.С. Рогозін // *Зб. наукових праць ХУПС*. Вип. 2(35). – 2013. – С. 206-208.

13. Рогозін А.С. Формалізація залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України / А.С. Рогозін, С.О. Склярів // *Системи обробки інформації*. Вип. 1(117). – 2014. – С. 241-243.

14. Рогозін А.С. Аналіз ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру на території Київської, Харківської, Луганської, Одеської областей / А.С. Рогозін // *Зб. наукових праць ХУПС*. Вип. 3(40). – 2014. – С. 190-192.

*Отримано редколегією 19.02.2018*

А.С. Рогозін, В.О. Росоха, А.В. Пирогов, Е.А. Яровой

**Анализ процесса возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории Запорожской области**

В статье представлены результаты анализа процесса возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории Запорожской области.

**Ключевые слова:** угрозы, реализация, чрезвычайная ситуация, закон распределения, процесс.

A.S. Rogozin, V.O. Rosokha, A.V. Pirogov, Y.A. Yarovoj

**The analysis of process emergence and liquidation of emergency situations in the territory of the Zaporozhye region**

An analysis of the emergence process and elimination of emergency situations on the territory of the Zaporozhye region in a paper presented.

**Keywords:** threats, realization, emergency situation, distribution law, process.