

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

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ВИНИКНЕННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЯК ВИПАДКОВОГО МАРКІВСЬКОГО ПРОЦЕСУ

(представлено д.т.н. Комяк В.М.)

В статті представлено результати розрахунків ймовірнісних характеристик виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, отримані на підставі розгляду виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу.

Ключові слова: марківський процес, ймовірність, постійна часу, надзвичайна ситуація, виникнення, ліквідація.

Постановка проблеми. Встановлення об'єктивних закономірностей реалізації загроз різного характеру по території України, є необхідною умовою ефективної реалізації функції цивільного захисту [1]. У зв'язку з цим важливою проблемою в рамках забезпечення ефективності заходів цивільного захисту є отримання кількісних характеристик процесу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) по регіонах України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розгляд виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій на території України, як випадкових величин розглянуто у роботах [2-3]. Обґрунтування можливості розглядати виникнення та ліквідацію НС, як випадковий марківський процес представлено в роботі [4]. Результати аналізу виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу опубліковано не було.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є представлення результатів дослідження процесу виникнення та ліквідації НС, як випадкового марківського процесу. Виникнення НС на території регіону можна розглядати як дискретний випадковий процес, з постійною інтенсивністю виникнення НС [5]. Враховуючи що випадкова величина «кількість НС, яка виникає на інтервалі часу» для регіонів України можна вважати розподілену за законом Пуассона [2-3], процес виникнення НС на території регіонів можна розглядати як марківський ланцюг. Випадковий процес виникнення та ліквідації 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.

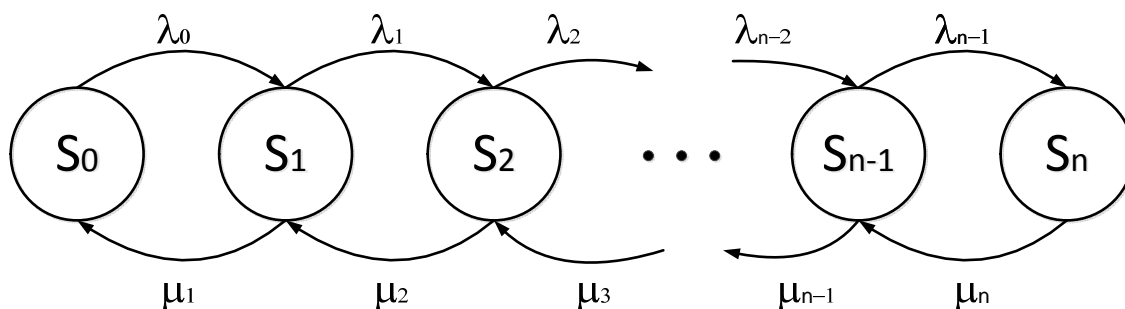


Рис. 1. Граф станів процесу виникнення надзвичайних ситуацій на території регіону на рисунку прийняті наступні позначення: λ_i - інтенсивність переходів системи від стану i до стану $i+1$; μ_i - інтенсивність переходів системи від стану i до стану $i-1$

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

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

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

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

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 вид

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0; \quad p_2 = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot 2\mu_2} p_0; \\
 p_n &= \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot 2\mu_2 \cdot \dots \cdot n\mu_n} p_0 = \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} p_0; \\
 p_0 &= \left(1 + \frac{\lambda_0}{\mu_1} + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1}{\mu_1 \cdot \mu_2} + \dots + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n} \right)^{-1} = \\
 &= \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} \right]^{-1}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Адекватне використання ймовірностей станів отриманих за (4) з метою прогнозування, моніторингу, прийняття рішень в рамках функцій регулювання та координації потребує також мати оцінку постійної часу перехідного процесу їх встановлення.

Аналітичне рішення рівнянь (3) вже для чотирьох станів неможливо привести в умовах обмеження об'єму статті, але треба відзначити факт того, що встановлення ймовірностей відбувається в процесі коливального характеру.

В табл. 1 представлено результати обчислень ймовірностей станів, математичне очікування знаходження територій регіонів в стані ліквідації НС та постійні часу перехідного процесу встановлення ймовірностей.

Табл. 1. Результати аналізу процесу виникнення та ліквідації НС по регіонам України

1	Область				
	2	3	4	5	6
Показник	АР Крим	Винницька	Волинська	Дніпропетровська	Донецька
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,04223	0,02381	0,01349	0,04127	0,092063
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,153618	0,158567	0,15596	0,12357	0,16275
Математичне очікування ліквідації НС	0,268651	0,150156	0,086508	0,333989	0,570559

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	6,706684	7,400915	8,131885	7,812123	5,073569	
Ймовірн. одно-часн. ліквідації n НС	n=0	0.764409	0.860573	0.9171286	0.71606152	0.601028004
	n=1	0.205359	0.129220	0.0793385	0.23915681	0.305991620
	n=2	0.027585	0.009702	0.0034317	0.03993789	0.0778922705
	n=3	0.002470	0.000485	0.0000989	0.00444627	0.0132186752
	n=4	0.000165	0.000018	0.0000021	0.00037125	0.0016824523
Область						
Показник	Житомирська	Закарпатська	Запорізька	Ів. Франківська	Київська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0246	0,02024	0,0385	0,01746	0,0492	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,35429	0,11067	0,18097	0,444	0,26216	
Математичне очікування ліквідації НС	0,069444	0,1829	0,212742	0,033336	0,186185	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	3,658995	10,2118	6,041035	2,95937	4,294904	
Ймовірн. одно-часн. ліквідації n НС	n=0	0,932912	0,8329	0,8083644	0,9433352380	0,830119787
	n=1	0,064785	0,1523	0,1719732	0,0550281011	0,154556073
	n=2	0,002249	0,0139	0,0182929	0,0016049924	0,014388031
	n=3	$5,21 \times 10^{-5}$	0,00085	0,0012972	0,000031208	0,000892946
	n=4	$9,03 \times 10^{-7}$	0,000039	0,0000689	$4,55120 \times 10^{-7}$	0,000041563
Область						
1	2	3	4	5	6	
Показник	Кіровоградська	Луганська	Львівська	Миколаївська	Одеська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,01667	0,058333	0,039683	0,03333	0,0369	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,19685	0,361	0,146	0,183	0,227	
Математичне очікування ліквідації НС	0,082652	0,144945	0,260572	0,182538	0,162301	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	10,6431	3,267474	3,684067	6,191257	5,088541	

Продовження табл. 1

1		2	3	4	5	6
Ймовірн. одночасної ліквідації n НС	n=0	0.920671	0.865070	0.7706106	0.8331531	0.850185115
	n=1	0.076095	0.125387	0.2007996	0.15208199	0.137986039
	n=2	0.003144	0.010073	0.0261613	0.01388036	0.011197647
	n=3	0.000086	0.000439	0.0022723	0.00084456	0.000605797
	n=4	1.79×10^{-6}	1.591×10^{-5}	0.00014802	0.00003854	0.00002458
Область						
Показник	Полтавська	Ровенська	Сумська	Тернопільська	Харківська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0123	0,021032	0,0127	0,015476	0,04047	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,146	0,174	0,16	0,258	0,148	
Математичне очікування стану ліквідації НС	0,062492	0,131349	0,049206	0,104366	0,153175	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	6,645246	7,494523	5,158616	8,36331	4,425566	
Ймовірн. Одночасн. ліквідації n НС	n=0	0.9318016	0.87691193	0.9519849	0.9008955	0.857979437
	n=1	0.0658182	0.11518125	0.0468434	0.0940229	0.131421126
	n=2	0.0023245	0.00756445	0.0011525	0.0049064	0.010065225
	n=3	0.0000547	0.00033119	0.0000189	0.0001707	0.000513914
	n=4	9.665×10^{-7}	0.00001088	2.325×10^{-7}	0.0000044	0.000019679
Область						
Показник	Херсонська	Хмельницька	Черкаська	Чернівецька	Чернігівська	
Інтенсивність виникнення НС (1/доба)	0,0373	0,01746	0,022619	0,333333	0,03095	
Інтенсивність ліквідації НС (1/доба)	0,211	0,267	0,368	0,2314	0,348	
Математичне очікування стану ліквідації НС	0,176985	0,065476	0,052443	0,048016	0,088889	
Постійна часу перехідного процесу (діб)	5,398132	4,886373	3,561753	5,7620586	3,631262	
Ймовірн. одночасн. ліквідації n НС	n=0	0.837793	0.936621	0.9403456	0.9531187	0.914947
	n=1	0.148276	0.061326	0.0578385	0.0457648	0.081329
	n=2	0.0131213	0.00200771	0.0017787	0.0010987	0.003615
	n=3	0.0007741	0.00004382	0.0000365	$1,758 \times 10^{-5}$	0,000107
	n=4	0.0000343	7.1727×10^{-7}	5.608×10^{-7}	$2,111 \times 10^{-7}$	$2,38 \times 10^{-6}$

Висновки. Виникнення та ліквідація НС на території регіонів України може розглядатись, як випадковий марківський процес, що дозволяє отримувати ймовірності знаходження території в стані ліквідації НС. Отримані характеристики процесів виникнення та ліквідації НС на території України дозволяють будувати інтерполяційні поліноми для оперативного прогнозування зміни характеристик цих процесів. За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що ймовірність одночасної ліквідації чотирьох НС на території регіонів малоімовірна і відповідно для практичного використання достатньо обмежуватись чотирма станами ($n=3$). Постійна часу перехідного процесу складає від 3 до 10 діб і це необхідно враховувати при моделюванні виникнення та ліквідації НС на території регіонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
2. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Чернігівської, Житомирської, Вінницької, Хмельницької, Черкаської областей / А.С. Рогозін // Збірник наукових праць ХНУПС. – Харків : ХНУПС, 2014. – Вип. 2. – С. 233–235.
3. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території АР Крим, Львівської, Миколаївської, Івано–Франківської, Херсонської областей / А.С. Рогозін // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Харків : ХНУПС, 2014. – Вип. 1. – С. 266–270.
4. Рогозін А.С. Аналіз перехідного процесу зміни ймовірностей знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків НС / А.С. Рогозін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 19. – С. 107–114. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol19/15.pdf>.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1962. – 564 с.

Отримано редколегією 09.03.2017

А.С. Рогозин, О.В. Пирогов, Е.А. Яровой

Результаты анализа возникновения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, как случайного марковского процесса

В статье представлены результаты расчетов вероятностных характеристик возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, полученные на основе рассмотрения возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, как случайного марковского процесса.

Ключевые слова: марковский процесс, вероятность, постоянная времени, чрезвычайная ситуация, возникновение, ликвидация.

A.S. Rogozin, A.V. Pirohov, Y.A. Yarovoj

Results of analysis of origin and liquidation of consequences of emergencies, as the Markoff process

The results of calculations of probabilistic characteristics of emergence and elimination of emergency situations received on the basis of consideration of emergence and elimination of emergency situations as casual Markov process are presented in article

Keywords: Markov process, probability, time constant, emergency, emergence, elimination.