

УДК 614.8



Г. В. Іванець



С. А. Горєлишев



М. Г. Іванець



Д. С. Баулін

ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗИ ПРО НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН РОЗПОДІЛУ КІЛЬКОСТІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Ефективність планування та реалізація заходів запобігання надзвичайним ситуаціям природного характеру визначається якістю прогнозування загроз їх виникнення. Оскільки процеси виникнення природних надзвичайних ситуацій мають випадковий характер, то особливого значення набуває знання закону розподілу випадкової величини «кількість надзвичайних ситуацій» на основі статистичних даних. У статті наведені результати перевірки відповідності статистичних даних про надзвичайні ситуації природного характеру в Україні нормальному закону розподілу. Для перевірки висунутої гіпотези вибрано критерій згоди Пірсона. В результаті досліджень встановлено, що висунута гіпотеза не суперечить статистичним даним моніторингу надзвичайних ситуацій природного характеру протягом деякого часу. Оцінено параметри встановленого закону розподілу.

К л ю ч о в і с л о в а: надзвичайна ситуація, нормальний закон розподілу, критерій згоди Пірсона.

Постановка проблеми. Різкі зміни клімату, підвищення рівня сейсмічної активності земної кори, збільшення епідеміологічних захворювань людей, прогресуюче втручання людини в довкілля призводить до збільшення ризиків виникнення різноманітних природних катастроф, кількості і масштабів надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру [1]. Все це негативно впливає на оточуюче середовище [2, 3] та економіку різних країн [4, 5], супроводжується не тільки матеріальними, а й людськими втратами.

Територія, населення та господарство України знаходяться під комплексною дією факторів, що негативно впливають на життєдіяльність країни через виникнення НС природного характеру, погіршення навколишнього природного середовища, загибель людей та економічні втрати.

Масштаби та особливості негативної дії небезпечних факторів у природній сфері визначаються особливостями території України, несприятливими наслідками глобальних змін клімату, недотриманням норм і правил господарської діяльності на природонебезпечних територіях.

Наявність в Україні значних територій з несприятливим природним впливом та великою ймовірністю виникнення небезпечних природних явищ підсилює гостроту проблеми забезпечення національної безпеки держави з метою сталого її розвитку.

За статистичними даними [6, 7] щорічна середньостатистична кількість природних НС в Україні складає близько 96. Тільки за 2019 – 2020 роки на території України трапилось 145 НС природного характеру, в яких загинуло 56 людей та постраждало 1586 людей.

Ефективність планування та реалізації заходів щодо запобігання НС природного характеру визначається якістю прогнозування загроз їх виникнення. Оскільки процеси виникнення природних НС мають випадковий характер, то особливого значення набуває знання закону розподілу кількості НС на основі статистичних даних. При цьому важливою є перевірка висунутої гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру». Встановлення виду та параметрів закону розподілу реалізації НС природного характеру в країні є одним з важливих кроків на шляху побудови моделей процесу адекватного забезпечення цивільного захисту населення та території держави.

Аналіз публікацій. Визначення закону розподілу випадкової величини на основі статистичних даних полягає в тому, що в результаті обробки та аналізу висувається гіпотеза про теоретичний

розподіл. Ступінь відповідності між висунутою гіпотезою і статистичним матеріалом встановлюється за допомогою критеріїв згоди.

Загальні методи перевірки гіпотези про передбачуваний теоретичний закон розподілу досліджуваної вибірки статистичних даних достатньо повно викладені в сучасній науковій літературі [7–11]. Ці методи базуються на використанні різноманітних критеріїв згоди. Найбільш універсальним вважається критерій згоди Пірсона.

У праці [12] розглянуто процес реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області. На основі теоретичних досліджень та аналізу емпіричних даних виникнення НС визначено вид та параметри закону розподілу реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області. Відповідно до критерію Пірсона встановлено, що випадкова величина «кількість виникнення НС на інтервалі часу» розподілена за законом Пуассона.

Авторами статті [13] оприлюднені результати перевірки відповідності закону Гаусса розподілу фонові температури земної поверхні, яка реєструється бортовими радіометрами супутника.

У праці [14] запропоновано розглядати процеси виникнення та ліквідації наслідків НС як випадковий марковський процес, що дозволяє отримувати ймовірності знаходження територій у стані ліквідації НС. За результатами дослідження встановлено, що ймовірність одночасної ліквідації чотирьох НС на території регіонів занадто мала.

Питання формалізації законів розподілу загроз природного характеру на території держави в цілому не розглядалися.

Мета статті полягає в перевірці адекватності гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру» на основі статистичних даних моніторингу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати статистичні дані та висунути гіпотезу про передбачуваний теоретичний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру»;
- вибрати критерій згоди для перевірки висунутої гіпотези;
- на основі вибраного критерію згоди підтвердити або відкинути гіпотезу про передбачуваний закон розподілу.

Виклад основного матеріалу. Задача полягає у визначенні закону розподілу випадкової величини X (кількості НС природного характеру) на основі вибірки статистичних даних моніторингу НС за деякий проміжок часу. Динаміка зміни кількості НС природного характеру в Україні за 2004–2020 роки [5, 6] подана на рис. 1.

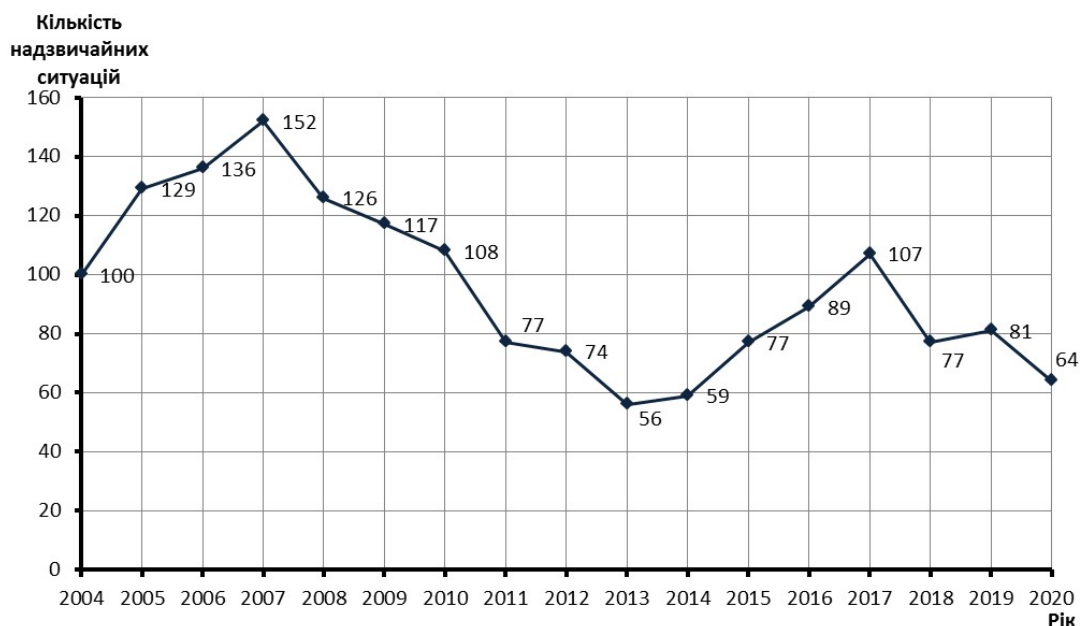


Рисунок 1 – Динаміка зміни кількості надзвичайних ситуацій природного характеру в Україні протягом 2004–2020 років

Перше уявлення про передбачуваний теоретичний закон розподілу дає вигляд гістограми. Спочатку побудуємо варіаційний ряд з інтервалами. У випадку однакової їх довжини для визначення кількості інтервалів l застосовують формулу Старджесса

$$l = 1 + 3,322 \cdot \lg n, \quad (1)$$

де n – кількість одиниць сукупності.

З урахуванням цього варіаційний ряд з інтервалами можна записати таким чином (табл. 1).

Таблиця 1 – Варіаційний ряд з інтервалами кількості надзвичайних ситуацій природного характеру

Інтервали (розряди)	56–73	73–90	90–107	107–124	124–141	141–157
Номер	I	II	III	IV	V	VI
Частоти (m_i)	3	6	2	2	3	1

Гістограма частот розподілу наведена на рис. 2. На гістограмі номери розрядів відповідають номерам рядів.

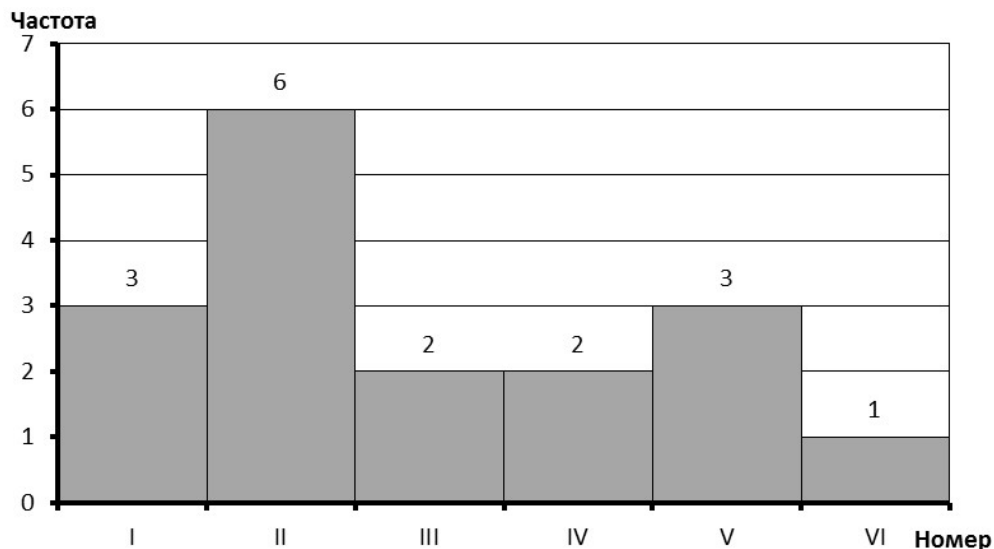


Рисунок 2 – Гістограма частот розподілу

Аналіз виду гістограми (рис. 2) дає підстави висунути гіпотезу про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру». Підтвердити або відкинути гіпотезу про передбачуваний закон розподілу можна за допомогою критеріїв згоди.

Найбільш поширеним серед критеріїв перевірки статистичних гіпотез про невідомий закон розподілу генеральної сукупності є критерій Пірсона.

Для кількісного оцінювання відмінностей між теоретичними і емпіричними частотами К. Пірсон запропонував величину

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (2)$$

де l – кількість розрядів, на які поділені всі дослідні значення величини X ;

n – обсяг вибірки;

m_i – емпіричні частоти (чисельність i -го розряду);

p_i – теоретичні відносні частоти передбачуваного закону розподілу (ймовірність потрапляння випадкової величини X у i -й інтервал, розрахована для теоретичного закону розподілу).

Схема застосування критерію χ^2 до оцінювання узгодженості теоретичного і емпіричного розподілів зводиться до такого.

Визначається міра розбіжності χ^2 за формулою (1).

Визначається кількість ступенів свободи k як кількість розрядів (інтервалів вибірки) l мінус кількість накладених зв'язків r мінус 1:

$$k = l - r - 1, \quad (3)$$

де r – кількість параметрів теоретичного закону розподілу (кількість зв'язків).

За кількістю ступенів свободи k і рівнем значимості α за допомогою таблиць визначається величина $\chi_{\text{табл.}}^2(\alpha, k)$ і порівнюється з розрахунковою мірою розбіжності χ^2 . Якщо розрахункове значення менше табличного, то гіпотезу можна визнати такою, що не суперечить даним дослідження.

Проведемо оцінювання за критерієм χ^2 гіпотези про відповідність вибіркового розподілу закону нормального розподілу для рівня значимості $\alpha = 0,05$. У табл. 2 наведено номери розрядів (інтервалів), границі інтервалів, значення середин інтервалів x_i^* , частоти m_i та відносні частоти P_i^* (емпіричні ймовірності потрапляння випадкової величини в i -й інтервал (розряд)).

Таблиця 2 – Відносні частоти інтервалів кількості надзвичайних ситуацій природного характеру

№ розряду (i)	Границі інтервалів	Значення x_i^* середин інтервалів	m_i	P_i^*
1	56–73	64,5	3	0,176 471
2	73–90	81,5	6	0,352 941
3	90–107	98,5	2	0,117 647
4	107–124	115,5	2	0,117 647
5	124–141	132,5	3	0,176 471
6	141–157	154	1	0,058 824

На основі цих даних знаходимо оцінки математичного сподівання \bar{x} , дисперсії $\bar{\sigma}^2$ та середньоквадратичного відхилення $\bar{\sigma}$:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^6 x_i^* p_i^* = 97,7,$$

$$\bar{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^6 x_i^{*2} p_i^* - \bar{x}^2 = 724,6505,$$

$$\bar{\sigma} = 26,9.$$

Обчислимо теоретичні ймовірності p_i потрапляння випадкової величини «кількість НС» в інтервали (x_i, x_{i+1}) за формулою

$$p_i = \frac{1}{2} \Phi(z_{i+1}) - \frac{1}{2} \Phi(z_i), \quad (4)$$

де $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{\sigma}}$ – ліва границя i -го інтервалу відносно \bar{x} в одиницях $\bar{\sigma}$.

При цьому найменше $z_i = z_1 = -1,55148$ замінюємо на $-\infty$, а найбільше $z_7 = 2,237622$ замінюємо на $+\infty$.

Значення функції Лапласа $\Phi(z)$ знаходимо із таблиці, наведеної у праці [15].

Відповідно до виразу (2) маємо

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^6 \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} = 3,9232.$$

Проведені розрахунки зводимо в табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри розподілу інтервалів кількості надзвичайних ситуацій природного характеру

i	x_i^*	z_i	$\frac{1}{2}\Phi(z_i)$	p_i	np_i	$\frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$
1	64,5	$-\infty$	-0,5000	0,19795	3,36515	0,0396
2	81,5	-0,91996	-0,30205	0,20348	3,45916	1,8663
3	98,5	-0,28844	-0,09857	0,23522	3,99874	0,9991
4	115,5	0,343073	0,13665	0,192	3,264	0,4895
5	132,5	0,974589	0,32865	0,11655	1,98135	0,5237
6	154	1,606106	0,4452	0,0548	0,9316	0,0050
7	-	∞	0,5000	-		$\chi^2 = 3,9232$

Кількість ступенів свободи (3) дорівнює

$$k = l - r - 1 = 6 - 2 - 1 = 3.$$

За кількістю ступенів свободи $k = 3$ і рівнем значимості $\alpha = 0,05$ визначаємо за допомогою таблиць [14] величину $\chi_{\text{табл.}}^2(\alpha, k) = 7,8$.

Оскільки $\chi^2 = 3,9232 < \chi_{\text{табл.}}^2(0,05; 3) = 7,8$, то гіпотезу можна визнати такою, що не суперечить даним дослідження.

Таким чином, за наявними статистичними даними на рівні значимості $\alpha = 0,05$ за допомогою критерію Пірсона підтверджена гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру» та оцінені його параметри.

Висновки

За результатами обробки та аналізу статистичних даних моніторингу природних НС висунута гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру» в Україні на основі наявної інформації.

Для перевірки висунутої гіпотези вибрано критерій згоди Пірсона χ^2 . Проведене оцінювання за допомогою критерію χ^2 гіпотези про згоду вибіркового розподілу із законом нормального розподілу для рівня значимості $\alpha=0,05$. У результаті досліджень встановлено, що висунута гіпотеза не суперечить статистичним даним моніторингу НС природного характеру протягом деякого часу. Гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини «кількість НС природного характеру» підтверджена, оцінені параметри даного закону.

У подальших дослідженнях пропонується використовувати підтверджений нормальний закон розподілу кількості НС природного характеру в Україні для прогнозування цього параметра за допомогою математичного сподівання та середнього квадратичного відхилення, що дозволить мінімізувати наслідки НС.

Перелік джерел посилання

1. Wang-Kun Chen. Managing emergency response of air pollution by the expert system. *Air pollution – a comprehensive perspective*. 2012. P. 319–336. <https://doi.org/10.5772/50080>.
2. Guskova N. D., Neretina E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 2013. 63(3). P. 227–237. <https://doi.org/10.2298/ijgi1303227g>.
3. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge / D. Dubinin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6. № 10 (90). P. 11–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>.
4. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state / O. Rybalova et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2. № 10 (92). P. 4–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>.
5. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019(KMU).pdf) (дата звернення: 19.01.2022).
6. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020(KMU).pdf). (дата звернення: 10.03.2022).
7. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. / Кушлик-Дивульська О. І., Поліщук Н. В., Орел Б. П., Штабалуок П. І. Вид. 2-ге, випр. і доп. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 220 с.
8. Викторова В. С., Степанянц А. С. Модели и методы расчета надежности технических систем. Москва : ЛЕНАНД, 2014. 256 с.
9. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning / S. C. Deng et al. *China Safety Science Journal*. 2014. 24 (3). P. 79–84.
10. Vasiliev M. I., Movchan I. O., Koval O. M. Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. *Scientific Bulletin of National mining university*. 2014. № 5. P. 106–113.
11. Sun B. Z., Ma W. M., Zhao H. Y. A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. *Applied Mathematical Modelling*. 2013. № 37. P. 7062–7070. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>.
12. Рогозін А. С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків, 2013. Вип. 2 (35). С. 206–208.
13. Поспелов Б. Б., Остапов К. М. Проверка адекватности гауссовой статистики для спутниковых данных фоновой температуры земной поверхности при обнаружении чрезвычайных ситуаций. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2014. Вип. 20. С. 103–107.
14. Рогозін А. С., Пирогов О. В., Яровий Є. А. Результати аналізу виникнення та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій як випадкового марківського процесу. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. Вип. 25. С. 100–105.
15. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высш. шк., 2003. 479 с.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2022 р.

UDC 614.8

H. Ivanets, S. Horelyshev, M. Ivanets, D. Baulin

**VERIFICATION OF THE HYPOTHESIS ON THE NORMAL DISTRIBUTION
OF THE NUMBER OF NATURAL EMERGENCIES ON THE TERRITORY OF UKRAINE**

Warning and prevention of natural emergencies is based on the analysis and forecasting of threats of emergency situations in the state. At the same time, the forecasting of natural emergencies should be aimed at regulating natural safety in the country, assessing the threats of emergencies and their prevention.

Prevention of natural emergencies of various natures, minimization of their consequences is a component of creating safe conditions for the individual and society as a whole, an integral part of the state policy of national security of the country. Ensuring safety in emergency situations requires reliable functioning of the emergency response system adequate to the level and nature of threats.

The effectiveness of planning and implementing measures to prevent natural emergencies is determined by the quality of forecasting the threats of their occurrence. Since the processes of occurrence of natural emergencies are of a random nature, knowledge of the law of distribution of the random variable "number of emergencies" in the state on the basis of statistical data acquires importance.

The article presents the results of checking the compliance of statistical data on natural emergencies in the state with the normal distribution law. Based on the processing and analysis of monitoring data for natural emergencies, a hypothesis was put forward about the normal law of distribution of the random variable the «number of natural emergencies» in the state in accordance with the available information. Pearson's goodness-of-fit test was chosen to test the proposed hypotheses. An assessment was made in accordance with the chosen criterion of the hypothesis about the agreement of the sample distribution with the law of normal distribution. As a result of the research, it was found that the hypothesis put forward does not contradict the statistical data of monitoring natural emergencies over a certain period of time. The parameters of the established distribution law were evaluated.

К е у в о р д с: emergencies, law of normal distribution, Pearson's goodness-of-fit test.

Іванець Григорій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки Національного університету цивільного захисту України.

<https://orcid.org/0000-0002-4906-5265>

Горєлишев Станіслав Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>

Іванець Михайло Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

<https://orcid.org/0000-0002-3106-7633>

Баулін Дмитро Станіславович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-7082-6954>