

УДК 614.841

*Р. І. Коваленко, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0003-2083-7601)**С. Ю. Назаренко, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-0891-0335)**Е. І. Михлюк, к.психол.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0003-4850-3566)**К. М. Остапов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1275-741X)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ В МІСТАХ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Досліджено процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб. Предметом дослідження є статистичні закономірності, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб. Опрацьовано дані про пожежі, які виникали за період з 2021 по 2023 рік. Окремо досліджувалися статистичні дані по кожному місту і по кожному року. Серед статистичних закономірностей розглядалися нормальні та дискретні закони розподілу, а саме: нормальний, експоненційний, гамма, логнормальний, хі-квадрат, Пуассона та геометричний. Очікувалося, що найімовірніше процес виникнення пожеж може бути описаний законом розподілу Пуассона, враховуючи те, що у багатьох з попередньо аналізованих робіт так вважалося. Встановлено, що ні до введення воєнного стану ні після його введення процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб не може бути описаний законом розподілу Пуассона. Натомість в окремих випадках цей процес може бути описаний експоненційним законом розподілу, що не зовсім є зрозумілим. Крім цього, не виявлено залежності між розрахованими значеннями стандартного відхилення і досліджуваними статистичними закономірностями виникнення пожеж. Дослідження обмежується тим, що не можна порівняти отримані результати з іншими подібними, які виконувалися в період з 2021 по 2023 рік для інших міст світу. Основним недоліком цих досліджень є те, що можливість отримання статистичних даних про пожежі за попередні періоди по містам України є обмеженою. Відповідно це не дозволяє визначити, якими статистичними законами розподілу описувався або не описувався процес виникнення пожеж в той період часу. В подальшому планується дослідити можливість встановлення закону розподілу для процесу виникнення пожеж в містах з чисельністю населення менше 500 тисяч осіб.

Ключові слова: пожежа, воєнний стан, гіпотеза, закон розподілу, аварійно-рятувальне формування, критерій Пірсона

1. Вступ

В мирний час і під час воєнного стану процес виникнення пожеж відрізняється. Під час воєнного стану на кількість пожеж, які виникають в населених пунктах, впливає ряд чинників, зокрема, міграція населення та ворожі обстріли території. Через це, статистичні закономірності, які дозволяли описати названий процес в мирний час, під час воєнного стану можуть не виконуватися. З цієї причини ускладнюється можливість прогнозування пожеж на певний період часу. Точний прогноз пожеж потрібний для визначення необхідної кількості сил та засобів з метою успішного реагування на них, а також проведення профілактичних заходів щодо їх запобігання.

Отже, дослідження виникнення пожеж під час воєнного стану є актуальним. Отримані результати можуть бути використані для опису вказаного процесу математичними моделями і їх подальшого застосування для прогнозування кількості пожеж.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В [1] пропонується оцінювати рівень готовності аварійно-рятувальних формувань (АРФ) комплексним показником, який ґрунтується на врахуванні декількох імовірнісних показників. Ці імовірнісні показники визначаються з використанням Fire safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2024-39-13

методів теорії ймовірності та математичної статистики. Підходи щодо визначення цих показників були сформовані до введення воєнного стану, тому не можна стверджувати про їх адекватність в існуючих умовах.

В [2] для прогнозування кількості пожеж в лісах на короткий термін пропонується використовувати методи регресійного аналізу. На кількість лісових пожеж сильно впливає таке явище як посуха, яка має сезонний характер. За результатами цих досліджень було встановлено, що короткострокові прогнози на декілька місяців наперед мають достатню точність. Натомість в [3] під час застосування описаного раніше методу для прогнозування кількості лісових пожеж на наступний сезон було отримано не зовсім достовірний результат, що підтверджує значення коефіцієнта кореляції – 0,49.

В [4] для прогнозування кількості пожеж в містах пропонується застосовувати метод нейронних мереж. Для цього була розроблена нова модель глибокого послідовного навчання мережі при застосуванні якої, як стверджується в цій роботі, можна отримати достатньо точний прогноз пожеж на майбутній період.

Використання методу нейронних мереж також пропонується і для прогнозування кількості дорожньо-транспортних пригод [5]. Водночас в цій роботі наведені обмеження щодо застосування цього методу прогнозування, а саме вказано, що він не може бути застосований для отримання чітких і точних результатів з різними складними обчисленнями. Це пов'язано з тим, що нейронні мережі є відображенням людського мозку, який, у свою чергу, не пристосований до точної роботи з числами. Крім того, нейронні мережі оперують так званими нечіткими поняттями, що також не завжди дозволяє отримати однозначні результати. Навчання нейронної мережі у вказаній роботі проводилося з використання статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди за період, що охоплював декілька років. На цей час також припав період пандемії COVID-19, що вплинуло на статистику виникнення дорожньо-транспортних пригод і, як наслідок, мало вплив на результати отриманого прогнозу.

В [6] з метою мінімізації часу прибуття підрозділів АРФ на виклики пропонується підхід, який полягає у перерозподілі впродовж доби відділень на оперативних транспортних засобах по території міста. Відповідно залежно від часу доби в різних районах міста ймовірність викликів, зокрема, тих які пов'язані з виникненням пожеж є різною. Враховуючи це, вказаний підхід передбачає можливість зосередження в районах з більшою ймовірністю викликів більшої кількості відділень на оперативних транспортних засобах для мінімізації часу прибуття. Для визначення ймовірності виникнення викликів і залучення на них певної кількості відділень на оперативних транспортних засобах використовується закон розподілу Пуассона. В умовах воєнного стану через зміну умов гіпотеза про те, що потік викликів, який надходить до підрозділів АРФ відповідає закону розподілу Пуассона потребує перевірки.

В [7] запропоновано метод комплектування АРФ оперативними транспортними засобами при вирішенні задачі їх технічного переоснащення. Названий метод полягає у виконанні чотирьох послідовних етапів. Одним із цих етапів є визначення загальної чисельності оперативних транспортних засобів для АРФ населеного пункту. Для цього використовується математична модель, яка ґрунтується на пуассонівському законі розподілу. При дослідженні потоку викликів, які надходили до підрозділів АРФ м. Харків було встановлено, що він саме є пуассонівським але під час воєнного стану це потребує перевірки.

У [8] пропонується виконувати прогнозування нещасних випадків на будівництві за допомогою моделі розподілу Пуассона. Для цього в роботі були проаналізовані статистичні дані за період з 2000 до 2013 року з метою встановлення частоти виникнення нещасних випадків. За результатами досліджень встановлено, що з використанням розподілу Пуассона можна отримати достатньо достовірну ймовірність виникнення нещасних випадків на будівництві.

В [9] досліджується рівень достовірності застосування регресії Пуассона для прогнозування різних випадкових подій. Точність прогнозу залежить від розміру вибірки та стандартного відхилення. За малих розмірів вибірки та великого стандартного відхилення результати прогнозування із застосуванням регресії Пуассона є найгіршими.

В [10] досліджувалися статистичні закономірності виникнення пожеж під час воєнного стану в містах. Основна гіпотеза досліджень полягала у тому, що кількість пожеж, які періодично виникають на території міст під час дії воєнного стану може бути описана законом розподілу Пуассона, а часові інтервали між моментами виникнення пожеж експоненціальним законом розподілу. Як виявилось першу частину гіпотези підтвердити не вдалося, а щодо другої встановлено, що лише для 35 % від загальної кількості аналізованих міст висунута статистична гіпотеза про можливість опису часових інтервалів між моментами виникнення пожеж експоненціальним законом розподілу була підтвердженою. Отримання таких результатів може бути пов'язано з тим, що для досліджень були використані статистичні дані лише за період 2022 року. Крім цього, досліджувалася статистика пожеж в містах України, які перебувають поблизу лінії розмежування. Відповідно для окремих міст в яких кількість пожеж за рік була невеликою розмір вибірки також був невеликим, що могло вплинути на кінцеві результати.

Отже, для прогнозування кількості пожеж використовуються різні методи до яких можна віднести регресійний аналіз [2, 3], метод нейронних мереж [4, 5] та ймовірнісні методи, які ґрунтуються на законі розподілу Пуассона [6–10]. Кожен з названих методів має певні обмеження та недоліки. Доволі часто для прогнозування кількості пожеж або інших небезпечних подій та надзвичайних ситуацій застосовуються ймовірнісні методи, які ґрунтуються на законі розподілу Пуассона. Поряд з цим для отримання достовірних результатів і встановлення вказаного ймовірнісного закону розподілу повинен бути достатній розмір вибірки [9, 10]. Крім цього, можливість опису процесу виникнення пожеж під час воєнного стану пуассонівським законом розподілу залишається малодослідженою.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є те, що залишається недослідженим процес виникнення пожеж під час воєнного стану.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є встановлення статистичних закономірностей, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– встановити статистичний закон розподілу, який дозволяє описати кількість пожеж, які виникають в містах з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб до введення воєнного стану;

– встановити статистичний закон розподілу, який дозволяє описати кількість пожеж, які виникають в містах з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб після введення воєнного стану.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб. Предметом дослідження є статистичні закономірності, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб.

Гіпотеза дослідження полягає у тому, що процес виникнення пожеж в містах може бути описаний статистичними закономірностями.

Досліджувалися статистичні дані про пожежі, які виникали в містах Київ, Дніпро, Одеса, Харків, Кривий Ріг, Запоріжжя та Львів за період з 2021 по 2023 рік. Для опрацювання статистичних даних було використано табличний редактор Microsoft Excel, а для перевірки висунутих статистичних гіпотез програмний продукт STATISTICA 6.0. У якості критерію узгодженості було використано критерій Пірсона.

5. Встановлення статистичного закону розподілу кількості пожеж до введення воєнного стану

Для цього дослідження були опрацьовані статистичні дані про пожежі, які виникали у вказаних раніше містах України за період 2021 року. Визначалася щоденна кількість пожеж впродовж аналізованого року, тобто вибірка даних складала 365. Ці дані аналізувалися окремо по кожному місту. Дані щодо розрахованих значень показників середнього арифметичного та стандартного відхилення по кожній із груп вибірки наведені в табл. 1.

Табл. 1. Характеристика значень вибірки (2021 рік)

| Місто | Середнє арифметичне | Стандартне відхилення |
|------------|---------------------|-----------------------|
| Київ | 13,6 | 5,7 |
| Львів | 1,5 | 1,5 |
| Дніпро | 2,5 | 3 |
| Харків | 5 | 4 |
| Одеса | 3,4 | 2,3 |
| Кривий Ріг | 2,8 | 2,7 |
| Запоріжжя | 6,3 | 4,7 |

З використанням програмного продукту STATISTICA 6 було проведено перевірку висунутих статистичних гіпотез. Результати цього дослідження наведені в табл. 2. У випадках, коли критичне значення критерію Пірсона менше розрахованого статистична гіпотеза вважається підтвердженою.

З даних, які наведені в табл. 2 можна зробити висновок, що для більшості з досліджуваних міст не вдалося встановити закон розподілу, який міг би описати процес виникнення пожеж.

6. Встановлення статистичного закону розподілу кількості пожеж після введення воєнного стану

Для цього дослідження були опрацьовані статистичні дані про пожежі, які виникали у містах України за період 2022 та 2023 років. Окремо аналізувалися дані по кожному року і по кожному місту. Вибірка даних складала 365. Розраховані значення показників середнього арифметичного та стандартного відхилення по кожній із груп вибірки наведені в табл. 3 і табл. 4.

Табл. 2. Результати перевірки статистичних гіпотез (2021 рік)

| Київ | | | |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 23,46538 | 3 | 7,8 |
| Експоненційний | 275,37619 | 7 | 14,1 |
| Гамма | 8,49086 | 3 | 7,8 |
| Логнормальний | 23,65635 | 4 | 9,5 |
| Хі-квадрат | 30,12175 | 4 | 9,5 |
| Пуассона | 93,57018 | 2 | 6 |
| Геометричний | 323,89977 | 7 | 14,1 |
| Львів | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 160,38059 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 21,14044 | 5 | 11,1 |
| Гамма | 36,44498 | 3 | 7,8 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 14,3004 | 5 | 11,1 |
| Пуассона | 21,1199 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 49,04362 | 6 | 12,6 |
| Дніпро | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 204,51679 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 6,77778 | 4 | 9,5 |
| Гамма | - | - | - |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 15,01562 | 3 | 7,8 |
| Пуассона | 605,36485 | 3 | 7,8 |
| Геометричний | 34,95547 | 5 | 11,1 |
| Харків | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 60,69482 | 1 | 3,8 |
| Експоненційний | 14,62929 | 3 | 7,8 |
| Гамма | 74,70633 | 3 | 7,8 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 6,51888 | 1 | 3,8 |
| Пуассона | 114,47788 | 1 | 3,8 |
| Геометричний | 57,55082 | 4 | 9,5 |
| Одеса | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 95,17499 | 8 | 15,5 |
| Експоненційний | 33,68559 | 10 | 18,3 |
| Гамма | 133,16453 | 10 | 18,3 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 24,50028 | 9 | 16,9 |
| Пуассона | 75,6504 | 7 | 14,1 |
| Геометричний | 123,37792 | 11 | 19,7 |

Продовження табл. 2

| Кривий Ріг | | | |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 72,97257 | 7 | 14,1 |
| Експоненційний | 6,85687 | 7 | 14,1 |
| Гамма | 7,69601 | 6 | 12,6 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 20,12229 | 6 | 12,6 |
| Пуассона | 34,69207 | 5 | 11,1 |
| Геометричний | 22,0335 | 7 | 14,1 |
| Запоріжжя | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 37,76537 | 7 | 14,1 |
| Експоненційний | 16,55568 | 8 | 15,5 |
| Гамма | 120,85438 | 7 | 14,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 79,44458 | 6 | 12,6 |
| Пуассона | 177,29823 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 38,96291 | 9 | 16,9 |

Табл. 3. Характеристика значень вибірки (2022 рік)

| Місто | Середнє арифметичне | Стандартне відхилення |
|------------|---------------------|-----------------------|
| Київ | 8,6 | 5,1 |
| Львів | 1,8 | 1,6 |
| Дніпро | 3,3 | 2,9 |
| Харків | 5,3 | 5,7 |
| Одеса | 3,4 | 2,2 |
| Кривий Ріг | 3,8 | 3,1 |
| Запоріжжя | 3,7 | 3,1 |

Табл. 4. Характеристика значень вибірки (2023 рік)

| Місто | Середнє арифметичне | Стандартне відхилення |
|------------|---------------------|-----------------------|
| Київ | 9,5 | 4,8 |
| Львів | 1,7 | 1,8 |
| Дніпро | 3,2 | 2,5 |
| Харків | 3,6 | 2,5 |
| Одеса | 3,6 | 2,4 |
| Кривий Ріг | 4,2 | 4,1 |
| Запоріжжя | 3,7 | 3,3 |

Перевірка висунутих статистичних гіпотез проводилася з використанням програмного продукту STATISTICA 6. Результати цього дослідження наведені в табл. 5 і табл. 6. У випадках, коли критичне значення критерію Пірсона менше розрахункового статистична гіпотеза вважається підтвердженою.

З даних, які наведені в табл. 5 і табл. 6 можна зробити висновок, що для більшості з досліджуваних міст не вдалося встановити закон розподілу, який міг би описати процес виникнення пожеж на їх території у 2022 та 2023 роках.

Табл. 5. Результати перевірки статистичних гіпотез (2022 рік)

| Київ | | | |
|-----------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 36,92193 | 2 | 6 |
| Експоненційний | 113,17378 | 5 | 11,1 |
| Гамма | 121,47904 | 5 | 11,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 20,17512 | 3 | 7,8 |
| Пуассона | 143,8424 | 2 | 6 |
| Геометричний | 167,72636 | 7 | 14,1 |
| Львів | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 89,56063 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 15,7025 | 6 | 12,6 |
| Гамма | 15,43674 | 5 | 11,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 14,14245 | 6 | 12,6 |
| Пуассона | 18,08894 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 67,72267 | 7 | 14,1 |
| Дніпро | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 102,69689 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 11,27121 | 5 | 11,1 |
| Гамма | 9,53394 | 4 | 9,5 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 20,84655 | 4 | 9,5 |
| Пуассона | 67,72507 | 3 | 7,8 |
| Геометричний | 69,63733 | 6 | 12,6 |
| Харків | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 235,17672 | 2 | 6 |
| Експоненційний | 22,17584 | 3 | 7,8 |
| Гамма | 56,21342 | 1 | 3,8 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 68,80012 | 1 | 3,8 |
| Пуассона | 285,1321 | 1 | 3,8 |
| Геометричний | 54,42492 | 4 | 9,5 |
| Одеса | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 66,64552 | 8 | 15,5 |
| Експоненційний | 43,41153 | 10 | 18,3 |
| Гамма | 21,93127 | 9 | 16,9 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 23,88218 | 9 | 16,9 |
| Пуассона | 30,39376 | 7 | 14,1 |
| Геометричний | 138,8071 | 11 | 19,7 |

Продовження табл. 5

| Кривий Ріг | | | |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 91,75481 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 7,80061 | 6 | 12,6 |
| Гамма | - | - | - |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 35,8365 | 5 | 11,1 |
| Пуассона | 231,64891 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 49,06064 | 7 | 14,1 |
| Запоріжжя | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 108,66202 | 4 | 9,5 |
| Експоненційний | 7,09547 | 6 | 12,6 |
| Гамма | 55,25619 | 6 | 12,6 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 29,93472 | 4 | 9,5 |
| Пуассона | 102,74879 | 3 | 7,8 |
| Геометричний | 55,3212 | 7 | 14,1 |

Табл. 6. Результати перевірки статистичних гіпотез (2023 рік)

| Київ | | | |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 90,29119 | 9 | 16,9 |
| Експоненційний | 205,14184 | 13 | 22,4 |
| Гамма | 28,86178 | 9 | 16,9 |
| Логнормальний | 35,66051 | 8 | 15,5 |
| Хі-квадрат | 35,66051 | 8 | 15,5 |
| Пуассона | 161,46401 | 6 | 12,6 |
| Геометричний | 268,0052 | 14 | 23,7 |
| Львів | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 93,33868 | 2 | 6 |
| Експоненційний | 18,34195 | 2 | 6 |
| Гамма | 18,55391 | 1 | 3,8 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 18,20022 | 2 | 6 |
| Пуассона | 11,01843 | 2 | 6 |
| Геометричний | 86,84661 | 4 | 9,5 |
| Дніпро | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 117,55078 | 8 | 15,5 |
| Експоненційний | 15,37755 | 10 | 18,3 |
| Гамма | - | - | - |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 27,5612 | 8 | 15,5 |
| Пуассона | 94,88519 | 7 | 14,1 |
| Геометричний | 92,79708 | 11 | 19,7 |

Продовження табл. 6

| Харків | | | |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 61,31916 | 3 | 7,8 |
| Експоненційний | 40,52488 | 6 | 12,6 |
| Гамма | 143,20018 | 6 | 12,6 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 10,40009 | 4 | 9,5 |
| Пуассона | 28,04142 | 3 | 7,8 |
| Геометричний | 127,13458 | 7 | 14,1 |
| Одеса | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 67,89045 | 8 | 15,5 |
| Експоненційний | 53,13585 | 11 | 19,7 |
| Гамма | 101,37635 | 7 | 14,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 24,80473 | 9 | 16,9 |
| Пуассона | 34,58495 | 7 | 14,1 |
| Геометричний | 146,88481 | 12 | 21 |
| Кривий Ріг | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 202,11244 | 6 | 12,6 |
| Експоненційний | 11,79953 | 6 | 12,6 |
| Гамма | 54,00658 | 5 | 11,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 107,18877 | 5 | 11,1 |
| Пуассона | 310,94344 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 50,20076 | 8 | 15,5 |
| Запоріжжя | | | |
| Закон розподілу | Розрахункове значення критерію Пірсона | Число степенів свободи | Критичне значення критерію Пірсона |
| Нормальний | 138,03005 | 5 | 11,1 |
| Експоненційний | 6,933 | 6 | 12,6 |
| Гамма | 50,97996 | 7 | 14,1 |
| Логнормальний | - | - | - |
| Хі-квадрат | 41,27357 | 5 | 11,1 |
| Пуассона | 234,64705 | 4 | 9,5 |
| Геометричний | 54,42769 | 7 | 14,1 |

7. Обговорення результатів встановлення статистичного закону розподілу кількості пожеж

Враховуючи те, що з часом змінюється чисельність населення, особливості забудови та з'являються або зникають окремі об'єкти в місті – це має вплив і на процес виникнення пожеж. Крім цього, на даний процес також вплинуло введення воєнного стану і обстріли міст. Відповідно, не завжди процес виникнення пожеж може бути описаний відомими статистичними закономірностями, серед яких розглядалися нормальні та дискретні закони розподілу, а саме: нормальний, експоненційний, гамма, логнормальний, хі-квадрат, Пуассона та геометричний. Очікувалося, що найімовірніше вказаний процес може бути описаний саме законом розподілу Пуассона, враховуючи те, що у багатьох з попередньо аналізованих робіт так вважалося. Встановлено, що ні до введення воєнного стану ні після його введення процес виникнення пожеж в містах України з чисельністю населення

понад 500 тисяч осіб не може бути описаний законом розподілу Пуассона. Натомість в окремих випадках цей процес може бути описаний експоненційним законом розподілу, що не зовсім є зрозумілим. Відомо, що закон розподілу Пуассона і експоненційний закон розподілу пов'язані між собою. Вважається, що у випадку коли потік викликів є пуассонівським, часові інтервали між їх настанням і їх тривалість можна описати експоненційним законом розподілу. Крім цього, не виявлено залежності між розрахованими значеннями стандартного відхилення і досліджуваними статистичними закономірностями виникнення пожеж. Імовірно, що в сучасних умовах, які пов'язані з переміщенням населенням через війну, виникненням пожеж через обстріли територій ворожими військами, проблемами з роботою об'єктів критичної інфраструктури динаміка кількості пожеж суттєво змінилася. Вказані причини могли вплинути на те, що процес виникнення пожеж не вдалося описати жодним із перелічених раніше законів розподілу.

Порівняно з раніше відомими результатами досліджень потоку пожеж, які виникали в містах вдалося встановити, що саме в умовах воєнного стану досить складно описати цей процес і це викликає потребу пошуку або розробки для цього інших підходів.

Дослідження обмежується тим, що не можна порівняти отримані результати з іншими подібними, які виконувалися в період з 2021 по 2023 рік для інших міст світу через відсутність у вільному доступі такої статистичної інформації.

Основним недоліком цих досліджень є те, що можливість отримання статистичних даних про пожежі за попередні періоди по містах України є обмеженою. Відповідно це не дозволяє визначити, якими статистичними законами розподілу описувався або не описувався процес виникнення пожеж в той період часу.

В подальшому планується дослідити можливість встановлення закону розподілу для процесу виникнення пожеж в містах з чисельністю населення менше 500 тисяч осіб.

8. Висновки

1. Встановлено, що щоденна кількість пожеж, які виникали в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб у 2021 році до введення воєнного стану не може бути описана законом розподілу Пуассона. Лише для міст Дніпро та Кривий Ріг вдалося встановити закон розподілу, що становить тільки 29 % від загальної чисельності міст, які досліджувалися. Цим законом розподілу виявився експоненційний. У якості критерію узгодженості було використано критерій Пірсона. Це може бути пов'язано з тим, що в населених пунктах через зміну чисельності населення, зростання щільності забудови, виникнення нових суб'єктів підприємницької діяльності та ще через ряд інших причин. Імовірно, що в сучасних умовах для кожного із населених пунктів необхідно проводити встановлення закону розподілу.

2. Встановлено, що щоденна кількість пожеж, які виникали в містах України з чисельністю населення понад 500 тисяч осіб у 2022 та 2023 роках після введення воєнного стану не може бути описана законом розподілу Пуассона. У 2022 році лише для міст Кривий Ріг та Запоріжжя вдалося встановити експоненційний закон розподілу. У 2023 році кількість пожеж, які виникали в містах Дніпро, Кривий Ріг та Запоріжжя може бути також описана експоненційним законом розподілу. Відомо, що закон розподілу Пуассона і експоненційний закон розподілу пов'язані між собою. Вважається, що у випадку коли потік викликів є пуассонівським, часові інтервали між настанням подій і їх тривалість можна описати експоненційним законом розподілу. Через це залишається не зрозуміло, чому щоденна кількість пожеж, які виника-

ли в окремих містах України описується саме експоненційним законом розподілу і чому цей процес загалом не може бути описаний законом розподілу Пуассона.

Література

1. Tiutiunyk V., Ivanets H., Tolkunov I., Stetsyuk E. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. № 1. P. 99–105. doi: 10.29202/nvngu/2018-1/7
2. Gudmundsson L., Rego F., Rocha M., Seneviratne S. Predicting above normal wildfire activity in southern Europe as a function of meteorological drought. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. 084008. doi: 10.1088/1748-9326/9/8/084008
3. Marcos R., Turco M., Bedía J., Llasat M. C., Provenzale A. Seasonal predictability of summer fires in a Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*. 2015. № 24(8). P. 1076–1084. doi: 10.1071/WF15079
4. Guangyin J., Qi W., Cunchao Z., Yanghe F., Jincai H., Xingchen H. Urban Fire Situation Forecasting: Deep sequence learning with spatio-temporal dynamics. *Applied Soft Computing*. 2020. № 97. 106730. doi: 10.1016/j.asoc.2020.106730
5. Gorzelanczyk P. Using neural networks to forecast the number of road accidents in Poland taking into account weather conditions. *Results in Engineering*. 2023. № 17. 100981. doi: 10.20858/sjsutst.2023.118.4
6. Usanov D., G. A. Guido Legemaate, Peter M. van de Ven, Rob D. van der Mei. Fire truck relocation during major incidents. *Naval Research Logistics*. 2019. Vol. 66. № 2. P. 105–122. doi: 10.1002/nav.21831
7. Kovalenko R., Kalynovskyi A., Nazarenko S., Kryvoshei B., Grinchenko E., Demydov Z., Mordvyntsev M., Kaidalov R. Development of a method of completing emergency rescue units with emergency vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3(100). P. 54–62. doi: 10.15587/1729-4061.2019.175110
8. Bilir S., Gurcanli G. E. A Method to Calculate the Accident Probabilities in Construction Industry Using a Poisson Distribution Model. *Advances in Safety Management and Human Factors: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Safety Management and Human Factors, July 27–31, 2016. Florida: Walt Disney World*. 2016. P. 513–523.
9. Ribeiro E. E., Zeviani W. M., Hinde J. Reparametrization of COM–Poisson regression models with applications in the analysis of experimental data. *Statistical Modelling*. 2019. Vol. 20. № 5. doi: 10.1177/1471082X19838651
10. Коваленко Р. І., Назаренко С. Ю., Михлюк Е. І., Семків В. О. Статистичні закономірності виникнення пожеж в містах під час воєнного стану. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків. 2023. № 2(38). С. 194–207.

R. Kovalenko, PhD, Associate Professor of the Department
S. Nazarenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
E. Muhlyk, PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department
K. Ostapov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

PATTERNS OF THE OCCURRENCE OF FIRES IN CITIES DURING MARITAL STATE

The process of occurrence of fires in Ukrainian cities with a population of more than 500000 people was studied. The subject of the study is statistical patterns that allow us to describe the process of fire occurrence in Ukrainian cities with a population of more than 500000 people. Data on fires that occurred in the period from 2021 to 2023 have been processed. Statistical data for each city and each year were studied separately. Among statistical regularities, normal and discrete laws of distribution were considered, namely: normal, exponential, gamma, lognormal, chi-square, Poisson and geometric. It was expected that the process

of the occurrence of fires can be described by the Poisson distribution law, given that many of the previously analyzed works considered this to be the case. It was established that neither before the introduction of martial law nor after its introduction, the process of occurrence of fires in Ukrainian cities with a population of more than 500000 people cannot be described by the Poisson distribution law. Instead, in some cases, this process can be described by an exponential distribution law, which is not entirely clear. In addition, no dependence was found between the calculated values of the standard deviation and the investigated statistical regularities of the occurrence of fires. The study is limited by the fact that it is not possible to compare the obtained results with other similar studies carried out between 2021 and 2023 for other cities around the world. The main drawback of these studies is that the possibility of obtaining statistical data on fires for previous periods in the cities of Ukraine is limited. Accordingly, it does not allow determining which statistical laws of distribution described or did not describe the process of the occurrence of fires in that time period. In the future, it is planned to investigate the possibility of establishing a distribution law for the process of fire occurrence in cities with a population of less than 500000 people.

Keywords: fire, statistical hypothesis, law of distribution, emergency and rescue formation, Pearson's test

References

1. Tiutiunyk, V., Ivanets, H., Tolkunov, I., Stetsyuk, E. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 99–105. doi: 10.29202/nvngu/2018-1/7
2. Gudmundsson, L., Rego, F., Rocha, M., Seneviratne, S. (2014). Predicting above normal wildfire activity in southern Europe as a function of meteorological drought. *Environmental Research Letters*, 9, 084008. doi: 10.1088/1748-9326/9/8/084008
3. Marcos, R., Turco, M., Bedía, J., Llasat, M. C., Provenzale, A. (2015). Seasonal predictability of summer fires in a Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*, 24(8), 1076–1084. doi: 10.1071/WF15079
4. Guangyin, J., Qi W., Cunchao, Z., Yanghe, F., Jincal, H., Xingchen, H. (2020). Urban Fire Situation Forecasting: Deep sequence learning with spatio-temporal dynamics. *Applied Soft Computing*, 97, 106730. doi: 10.1016/j.asoc.2020.106730
5. Gorzelanczyk, P. (2023). Using neural networks to forecast the number of road accidents in Poland taking into account weather conditions. *Results in Engineering*, 17, 100981. doi: 10.20858/sjsutst.2023.118.4
6. Usanov, D., Legemaate, G., Peter, M. van de Ven, Rob, D. van der Mei. (2019). Fire truck relocation during major incidents. *Naval Research Logistics*, 66, 2, 105–122. doi: 10.1002/nav.21831 Usanov D., G. A. Guido Legemaate, Peter M.
7. Kovalenko, R., Kalynovskyi, A., Nazarenko, S., Kryvoshei, B., Grinchenko, E., Demydov, Z., Mordvyntsev, M., Kaidalov, R. (2019). Development of a method of completing emergency rescue units with emergency vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 3(100), 54–62. doi: 10.15587/1729-4061.2019.175110
8. Bilir, S., Gurcanli, G. E. (2016). A Method to Calculate the Accident Probabilities in Construction Industry Using a Poisson Distribution Model. *Advances in Safety Management and Human Factors: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Safety Management and Human Factors*, July 27–31, 2016. Florida: Walt Disney World, 513–523.
9. Ribeiro, E. E., Zeviani, W. M., Hinde, J. (2019). Reparametrization of COM-Poisson regression models with applications in the analysis of experimental data. *Statistical Modelling*, 20, 5. doi: 10.1177/1471082X19838651
10. Kovalenko, R. I., Nazarenko, S. Yu., Mykhlyuk, E. I., Semkiv, V. O. (2023). Statystychni zakonomirnosti vynyknennya pozhezh v mistakh pid chas voyennoho stanu. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*, 2(38), 194–207.

Надійшла до редколегії: 05.03.2024

Прийнята до друку: 18.04.2024