

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)

В. О. Семків, ад'юнкт (ORCID 0000-0002-1584-4754)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

СТАТИСТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ В МІСТАХ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Досліджено процес виникнення пожеж в містах, які перебувають поблизу лінії розмежування під час дії воєнного стану. Предметом дослідження є статистичні закономірності, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в містах під час дії воєнного стану. Опрацьовано дані про пожежі, які траплялися в сімнадцяти міських населених пунктах України, котрі перебувають у безпосередній близькості від лінії розмежування за період 2022 року. Перевірені статистичні гіпотези, які дозволяють описати потік пожеж, які періодично траплялися в містах продовж досліджуваного періоду, а також інтервали часу між моментами їх виникнення. Встановлено, що кількість пожеж, які періодично виникають на території міст під час дії воєнного стану не можна описати законом розподілу Пуассона. Натомість для 59 % досліджуваних міст підтвердилася гіпотеза про геометричний закон розподілу. Для окремих міст у яких за період 2022 року кількість пожеж склала менше 50 не вдалося отримати жодного результату. Встановлено, що для 35 % від загальної кількості аналізованих міст висунута статистична гіпотеза про можливість опису часових інтервалів між моментами виникнення пожеж експоненційним законом розподілу була підтвердженою. У якості критерію узгодженості під час перевірки статистичних гіпотез було використано критерій Пірсона. Значно гірший результат було отримано під час перевірки можливості описання часових інтервалів між моментами виникнення пожеж іншими законами розподілу. Отже, при необхідності описання процесу виникнення пожеж в міських населених пунктах під час дії воєнного стану ймовірнісними закономірностями необхідно досліджувати кожний окремих випадок. Результати досліджень можуть бути використані для побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень керівним складом, який залучається до ліквідації наслідків небезпечних подій і надзвичайних ситуацій, які пов'язані з пожежами.

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

1. Вступ

Процес реагування аварійно-рятувальних формувань на небезпечні події і надзвичайні ситуації, які виникають під час дії воєнного стану надто ускладнюється. Причиною цього є поява нових видів небезпек для особового складу, який до цього залучається та значне збільшення об'ємів оперативної роботи. Підвищити ефективність реагування аварійно-рятувальних формувань на небезпечні події та надзвичайні ситуації, які виникають дозволяють різноманітні інформаційні системи підтримки прийняття рішень. З їх допомогою можна виконати прогноз кількості небезпечних подій і надзвичайних ситуацій, котрі можуть виникнути на окремій території за певний проміжок часу. Це дозволяє спрогнозувати потенційні масштаби оперативної роботи, що дає можливість попередньо підготувати до цього необхідну кількість особового складу та технічних засобів. В основі кожної автоматизованої системи управління знаходиться певний встановлений алгоритм, який включає в себе, зокрема, математичні моделі, які дозволяють описати різні етапи досліджуваного процесу. Як було вказано раніше, процес реагування аварійно-рятувальних формувань на надзвичайні ситуації і небезпечні події до і після введення воєнного стану сильно відрізняється. За цих умов виникають сумніви щодо рівня достовірності отриманих результатів через опис процесу виникнення

небезпечних подій і надзвичайних ситуацій, а серед них частіше всього пожежі математичними моделями, які використовувалися раніше.

Отже, дослідження процесу виникнення небезпечних подій і надзвичайних ситуацій, які пов'язані з виникненням пожежі під час дії воєнного стану є актуальним. Одержані результати можуть бути використані для опису вказаного процесу математичними моделями та побудови з їх допомогою інформаційних систем підтримки прийняття рішень з метою підвищення ефективності реагування аварійно-рятувальних формувань.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В [1] пропонується комплексний показник для оцінки рівня готовності аварійно-рятувальних формувань до виконання дій за призначенням. Цей комплексний показник ґрунтується на врахуванні ряду імовірнісних показників. До них належать показники, які враховують ймовірність достатньої кількості техніки, її готовність до застосування і ймовірність безвідмовної роботи впродовж часу виконання оперативних робіт. Крім цього, сюди входять імовірнісні показники, які враховують можливі випадки, коли кількості залученого особового складу буде достатньо і рівень їх підготовки буде відповідати покладеним завданням. Математично ці показники описуються відомими статистичними закономірностями, які дозволяють описати закон розподілу випадкової величини, а чи дійсно вони виконуються в умовах дії воєнного стану в цій роботі не перевірялося.

В [2] досліджено залежність зміни фізико-механічних властивостей напірних пожежних рукавів діаметром 77 мм у внутрішній порожнині яких створювався гідравлічний тиск під час їх розтягу у поперечному напрямку. Дослідні зразки, які були використані під час досліджень мали одиночні пошкодження у вигляді порізів певної фіксованої глибини та довжини. В умовах воєнного стану під час гасіння пожежі, які виникають в результаті ворожих обстрілів через значну кількість уламків кількість і характер порізів рукавів може змінитись. За цих умов під час оцінки ймовірності безвідмовної роботи пожежно-технічного оснащення ця особливість повинна бути врахована, бо напірні пожежні рукава мають достатньо низьку надійність.

В [3] запропоновано три варіанти концептуальних підходів до створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки екологічного впливу атомних електростанцій на навколишнє природне середовище. В структурі кожної з інформаційно-аналітичної системи містяться блоки, які відповідають за проведення моніторингу різних зовнішніх чинників. Вплив воєнного стану на зміну цих чинників та можливі ризики, які можуть спричинити аварійну ситуацію на атомній електростанції в цій роботі не розглядалися.

В [4] проаналізовані можливі причини виникнення аварійних ситуацій на атомних електростанціях. Це дозволило запропонувати заходи щодо мінімізації ризиків їх виникнення у майбутньому. Крім цього, була досліджена динаміка виникнення аварійних ситуацій на атомних електростанціях але дослідження щодо можливості її опису статистичними закономірностями в роботі не проводилося. В жодній місцевості в якій відбулися ці аварійні ситуації військового стану введено не було, тому ризики які могли бути з ним пов'язані і впливати на їх появу також не розглядалися.

В [5] пропонується метод вибору кращого варіанту об'єднання підрозділів

аварійно-рятувальних формувань, які спільно розміщуються на території однієї адміністративно-територіальної одиниці. Для цього використовується метод експертних оцінок під час якого оцінюються різні можливі варіанти з урахуванням 61 критерію, що об'єднані в шість окремих груп. Окремі з критеріїв, які оцінюються, наприклад, ймовірні ризики повинні визначатися з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірності. На жаль, в роботі не наведено, яким саме чином визначаються числові значення критеріїв, котрі аналізуються.

В [6] запропоновано алгоритм переміщення відділень аварійно-рятувальних формувань на протипожежній техніці по території міста з урахуванням історії небезпечних подій та надзвичайних ситуацій, які виникали там раніше. Це необхідно для того щоб у періоди часу, коли найбільша ймовірність виникнення деструктивних подій поблизу цих місць забезпечити зосередження достатньої кількості оперативних відділень. Алгоритм полягає у реалізації декількох послідовних етапів. Ймовірна кількість подій, які можуть виникнути за певний проміжок часу оцінюється з використанням залежності, яку описує закон розподілу Пуассона. Оцінка рівня достовірності прогнозів з використанням цього закону розподілу під час дії воєнного стану в цій роботі не проводилася.

В [7] запропоновано метод комплектування аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами з урахуванням оперативної обстановки в їх районах виїзду на основі ймовірнісної оцінки. В основі залежності, яка дозволяє оцінити ймовірність зайнятості певної кількості оперативних транспортних засобів використовується закон розподілу Пуассона. Достовірність цього методу перевірялася до введення воєнного стану, тому можливість його використання під час воєнного стану викликає сумнів і тому потребує перевірки.

У [8] запропоновано комбінований метод прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру. Цей комбінований метод поєднує у собі метод регресійного аналізу, метод перевірки статистичних гіпотез та метод групового розгляду аргументів. Відповідно, при прогнозуванні процесу виникнення надзвичайних ситуацій на основі відомих статистичних даних за певний часовий період необхідно застосовувати метод перевірки статистичних гіпотез для математичного опису закону розподілу випадкових величин. Під час дослідження динаміки виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру було встановлено, що вона може бути описана рівнянням регресії у вигляді поліному.

В [9] досліджено основні причини, закономірності виникнення і протікання надзвичайних ситуацій, які пов'язані з вибухами боєприпасів. Встановлено, що найчастіше ці види надзвичайних ситуацій трапляються в травні, червні та жовтні. Ця залежність в роботі була пояснена тим, що ймовірно більшість з планових робіт під час поводження з боєприпасами проводиться в теплий період року, при цьому, в травні ці роботи починаються, а в жовтні вони закінчуються. Математично названа залежність в роботі описана не була.

В [10] оцінку кількості пожеж в містах пропонується виконувати з використанням методу нейромережевого прогнозування. Цей метод вважається альтернативою відомим методам математичної статистики і теорії ймовірностей, які найбільш часто використовуються для прогнозування кількості пожеж. Точність прогнозування у випадку використання названого методу буде сильно залежати від обраної моделі навчання, що значно ускладнюється з урахуванням воєнного стану і потребує в таких умовах обов'язкової перевірки достовірності.

В [11] пропонується здійснювати прогнозування кількості небезпечних по-

дій та надзвичайних ситуацій, які пов'язані з дорожньо-транспортними пригодами використовуючи метод нейромережевого прогнозування. Для цього в роботі були опрацьовані дані про дорожньо-транспортні пригоди за період з 2007 по 2021 рік та враховуючи це проведено навчання нейронної мережі. В роботі вказано, що цей метод не є достатньо точним, тому під час прогнозування можна отримати значення з великою похибкою. З цієї причини отримані дані потребують перевірки рівня достовірності.

В [12] пропонується метод проведення аналізу та прогнозування сезону глобальних пожеж. Цей метод полягає у поділі досліджуваної території на комірки умовної сітки та збір статистичних даних про пожежі, які там виникають впродовж певного періоду часу. Отримані дані дозволяють побудувати часовий ряд і на основі його аналізу виконати прогноз. Точність прогнозу під час використання цього методу буде залежати від тривалості спостереження і чим вона буде більш тривалою, тим точнішим може бути прогноз.

В [13] пропонується проводити прогнозування кількості лісових пожеж з використанням методу регресійного аналізу шляхом побудови рівняння регресії. Встановлено, що кількість пожеж сильно залежить від такого чинника як сезонність. Однак встановлення статистичної закономірності, яка дозволяє описати динаміку виникнення лісових пожеж в часі в цій роботі не проводилося.

В [14] для прогнозування кількості лісових пожеж пропонується множинна лінійна регресійна модель, яка враховує попередні та поточні індекси літньої посухи. В цій роботі також встановлена залежність кількості пожеж від сезонності. Ця регресійна модель дозволяє отримати результати прогнозу з достатньо низькою точністю, що підтверджує значення коефіцієнту кореляції, який становить 0,49.

В [15] пропонується щоденна система прогнозування небезпеки виникнення лісових пожеж, яка полягає у використанні даних дистанційного зондування. До показників на основі яких виконують прогноз належать: температура повітря, вологість та стан лісового покриву. Досягнення встановлених граничних значень сукупності цих показників дозволяє виявити момент, коли виникає висока ймовірність виникнення пожежі. Відповідно, цей метод дозволяє отримати прогноз на достатньо короткий термін.

В [16] досліджено чинники, які впливають на кількість лісових пожеж і пропонується з урахуванням встановлених залежностей виконувати їх прогноз на майбутній період. Встановлено, що кількість пожеж негативно корелює з кількістю опадів і позитивно з вирубкою лісів. В роботі вказано, що саме кількість опадів є основним показником, який має слугувати для прогнозування кількості пожеж.

Отже, в деяких з проаналізованих робіт [6, 7] процес виникнення небезпечних подій та надзвичайних ситуацій у населених пунктах описується законом розподілу Пуассона. В окремих роботах [10, 11] для прогнозування їх кількості застосовуються методи нейромережевого прогнозування, але вони мають достатньо низьку точність. Низька точність також відноситься і до прогнозу кількості пожеж виконаного на основі проведення аналізу часових рядів [12]. Дещо вищу точність прогнозування має метод, який ґрунтується на побудові регресійних моделей [13–16]. Під час цього методу важливо визначити чинники, які мають високий вплив на кількість пожеж. Поряд з цим малодослідженим залишається процес виникнення пожеж в населених пунктах під час дії воєнного стану, а саме статистичних закономірностей, які здатні його описати.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є встановлення статистичних закономірностей, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в міських населених пунктах під час дії воєнного стану.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- встановити статистичний закон розподілу, який дозволяє описати кількість пожеж, які виникають в міських населених пунктах під час дії воєнного стану;
- встановити статистичний закон розподілу, який дозволяє описати часові інтервали між моментами виникнення пожеж, які виникають в міських населених пунктах під час дії воєнного стану.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес виникнення пожеж в містах під час дії воєнного стану. Предметом дослідження є статистичні закономірності, які дозволяють описати процес виникнення пожеж в містах під час дії воєнного стану.

Гіпотеза дослідження полягає у тому, що процес виникнення пожеж в містах під час дії воєнного стану може бути описаний статистичними закономірностями.

Дослідження процесу виникнення пожеж в містах України, які територіально перебувають поблизу лінії розмежування відбувалося з використанням методів математичної статистики. З використанням табличного редактора Microsoft Excel були опрацьовані статистичні дані про пожежі, які виникали в містах за період 2022 року. Для перевірки висунутих статистичних гіпотез, які дозволяють описати процес виникнення пожеж було використано програмний продукт STATISTICA 6.0. У якості критерію узгодженості було використано критерій Пірсона. Для встановлення рівня взаємозалежності показника кількість пожеж від показників площа території населеного пункту та чисельність населення використано метод кореляційного аналізу.

5. Встановлення статистичного закону розподілу, який дозволяє описати кількість пожеж

Для досліджень були зібрані статистичні дані за період 2022 року про пожежі, які виникали на території міських населених пунктів України, котрі знаходяться поблизу лінії розмежування. Шляхом проведення кореляційного аналізу була встановлена залежність показника кількості пожеж від показників площа території населеного пункту та чисельність населення. Між кількістю пожеж і площею території встановлене значення коефіцієнта кореляції становило – 0,74, а для кількості пожеж і чисельності населення – 0,98.

З метою проведення більш глибокого аналізу населені пункти були поділені на окремі групи за критеріями площа території та чисельність населення. Поділ було проведено з використанням методів кластерного аналізу. Враховуючи те, що обрані критерії мають різну розмірність та числові значення спершу необхідно було виконати стандартизацію цих змінних. З цією метою було використано програмний продукт STATISTICA 6.0. Стандартизовані значення змінних наведені в табл. 1.

Далі поділ населених пунктів на групи виконувався шляхом проведення ієрархічного кластерного аналізу. Як міру відстані для ознак кластеризації було обрано евклідову метрику. Для побудови ієрархічної структури був використаний метод Варда. За результатами проведення ієрархічного кластерного аналізу було побудовано вертикальну дендрограму з якої наочно виділено три характерні

групи міських населених пунктів. Для перевірки точності отриманих у результаті ієрархічного кластерного аналізу даних було використано ітеративний метод групування k-середніх. Мірою відстані для ознак кластеризації в ітеративному методі групування k-середніх є евклідова метрика. Результати групування міських населених пунктів із застосуванням ітеративного методу групування k-середніх наведено в табл. 2.

Табл. 1. Стандартизовані значення змінних, які були використані для проведення кластерного аналізу

Назва міста	Область	Загальна площа	Середня чисельність населення
Бахмут	Донецька	-0,15712966	-0,304626918
Добропілля	Донецька	-0,63775417	-0,343918372
Дружківка	Донецька	-0,397441915	-0,328876854
Запоріжжя	Запорізька	1,32034568	1,4908189
Костянтинівка	Донецька	-0,228333291	-0,315780621
Краматорськ	Донецька	2,35279833	0,000832443294
Лозова	Харківська	-0,655555077	-0,333392891
Люботин	Харківська	-0,538959131	-0,442496935
Мирноград	Донецька	-0,611052808	-0,374034471
Новгородівка	Донецька	-0,762360524	-0,467207016
Первомайський	Харківська	-0,539849177	-0,426471754
Покровськ	Донецька	-0,468645546	-0,305271673
Селидове	Донецька	0,145485772	-0,370813454
Слов'янськ	Донецька	-0,15712966	-0,198052296
Торецьк	Донецька	-0,263935107	-0,322465128
Харків	Харківська	2,29957362	3,45884678
Чугуїв	Харківська	-0,700057347	-0,417089748

Табл. 2. Результати проведення кластерного аналізу ітераційним методом k-середніх

Номер кластеру	Місто	Область	Відстань до центру кластера
1	Запоріжжя	Запорізька	0,487362
	Краматорськ	Донецька	1,193999
	Харків	Харківська	1,297421
2	Бахмут	Донецька	0,017696
	Костянтинівка	Донецька	0,068631
	Селидове	Донецька	0,202239
	Слов'янськ	Донецька	0,075824
	Торецьк	Донецька	0,094225
3	Добропілля	Донецька	0,043124
	Дружківка	Донецька	0,141389
	Лозова	Харківська	0,057637
	Люботин	Харківська	0,056008
	Мирноград	Донецька	0,015815
	Новгородівка	Донецька	0,135812
	Первомайський	Харківська	0,047456
	Покровськ	Донецька	0,101667
Чугуїв	Харківська	0,081538	

Різниця між визначеними кластерами за критерієм евклідової відстані наведена в табл. 3.

Табл. 3. Евклідова відстань між кластерами

Номер кластеру	1	2	3
1	0	4,159962	5,396039
2	2,039598	0	0,108051
3	2,322937	0,328711	0

Для виділених груп міст було також розраховано значення показника стандартного відхилення показника кількість пожеж. Цей показник становив: для першої групи – 50,2, для другої групи – 12,5, для третьої групи – 10,4.

Наступним кроком була перевірка статистичної гіпотези про можливість описання процесу виникнення пожеж пуассонівським законом розподілу:

$$P_t(w) = (\lambda \cdot t)^w \cdot e^{-\lambda \cdot t} / w!, \quad (1)$$

де $P_t(w)$ – ймовірність виникнення w пожеж за час t ; w – кількість можливих одночасних пожеж (1, 2, 3 ...); λ – частота виникнення пожеж за час t ; e – математична стала (число Ейлера).

Для цього було використано програмний продукт STATISTICA 6.0. У якості критерію узгодженості обрано критерій Пірсона. Критичні значення критерію Пірсона обиралися при рівні значущості 0,05. Результати перевірки названої раніше статистичної гіпотези наведені в табл. 4.

Табл. 4. Результати перевірки можливості описання процесу виникнення пожеж на території міських населених пунктів законом розподілу Пуассона

Місто	Розрахункове значення критерію Пірсона	Кількість ступенів свободи	Критичне значення критерію Пірсона
Запоріжжя	193,3	4	9,5
Краматорськ	14,7	2	6
Харків	258,2	1	3,8
Бахмут	–	–	–
Костянтинівка	6,4	1	3,8
Селидове	1,9	1	3,8
Слов'янськ	17,6	1	3,8
Торецьк	23,4	1	3,8
Добропілля	27,3	1	3,8
Дружківка	5,8	1	3,8
Лозова	1,7	1	3,8
Люботин	–	–	–
Мирноград	16,5	1	3,8
Новгородівка	–	–	–
Первомайський	–	–	–
Покровськ	1,6	1	3,8
Чугуїв	3,96	1	3,8

Виходячи з даних, які наведені в табл. 4 висунута статистична гіпотеза підтверджена лише для міст Селидове, Лозова та Покровськ. За таких умов було прийнято рішення про подальшу перевірку можливості опису цього процесу іншими видами законів розподілу. До них належали: експоненційний, хі-квадрат та геометричний закони розподілу.

Найкращий результат було отримано під час перевірки статистичної гіпотези про можливість описання процесу виникнення пожеж геометричним законом розподілу, що підтверджують дані, які наведені в табл. 5.

Табл. 5. Результати перевірки можливості описання процесу виникнення пожеж на території міських населених пунктів геометричним законом розподілу

Місто	Розрахункове значення критерію Пірсона	Кількість ступенів свободи	Критичне значення критерію Пірсона
Запоріжжя	58,6	7	14,1
Краматорськ	3,06	3	7,8
Харків	52,5	4	9,5
Бахмут	6,21	1	3,8
Костянтинівка	2,8	2	6
Селидове	0,99	1	3,8
Слов'янськ	1,9	1	3,8
Торецьк	5,1	2	6
Добропілля	9,5	1	3,8
Дружківка	0,14	1	3,8
Лозова	0,39	1	3,8
Люботин	0,49	1	3,8
Мирноград	4,2	1	3,8
Новгородівка	–	–	–
Первомайський	–	–	–
Покровськ	1,7	1	3,8
Чугуїв	0,56	1	3,8

З даних, які наведені в табл. 5 можна зробити висновок, що майже для 59 % досліджуваних міст висунута статистична гіпотеза підтвердилася.

6. Встановлення статистичного закону розподілу, який дозволяє описати часові інтервали

Спершу була перевірена статистична гіпотеза про те, що часові інтервали між моментами виникнення пожеж можуть бути описані експоненційним законом розподілу:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2)$$

де $P(t)$ – функція розподілу; e – математична стала (число Ейлера); λ – частота виникнення пожеж за час t .

Для цього було використано програмний продукт STATISTICA 6.0. У якості критерію узгодженості обрано критерій Пірсона. Критичні значення критерію Пірсона обиралися при рівні значущості 0,05. Результати перевірки цієї статистичної гіпотези наведені в табл. 6.

Отже, експоненційним законом розподілу можна описати часові інтервали між моментами виникнення пожеж для шести із сімнадцяти аналізованих міст, що становить лише 35 % від загальної кількості. Перевірка описання часових інтервалів між моментами виникнення пожеж іншими законами розподілу позитивних результатів не дала.

7. Обговорення результатів встановлення статистичних закономірностей процесу виникнення пожеж в містах

Процес виникнення пожеж у більшості міст до дії воєнного стану міг бути описаний статистичними законами розподілу. Винятком могли бути міста з невеликою кількістю населення та площею, що також впливало на кількість пожеж, бо їх там виникало достатньо мало і через це не завжди вдавалося встановити закон розподілу випадкової величини. Щоб подолати цю проблему необхідно було збільшувати вибірку, тобто проводити дослідження за більш тривалий період часу. Відомо, що кількість пожеж сильно корелює з чисельністю населення і трохи меншими є кореляційні зв'язки з площею території міста. Під час дії воєнного стану чисельність населення міст, особливо у прифронтовій зоні, значно зменшилася, що безумовно мало вплив на кількість пожеж. Поряд з цим почали виникати пожежі через обстріли території міст. За вказаних умов достатньо важко передбачити можливість опису процесу виникнення пожеж на території міст під час воєнного стану відомими статистичними законами розподілу.

Табл. 6. Результати перевірки можливості описання часових інтервалів між моментами виникнення пожеж експоненційним законом розподілу

Місто	Розрахункове значення критерію Пірсона	Кількість ступенів свободи	Критичне значення критерію Пірсона
Запоріжжя	28,8	2	6
Краматорськ	10,9	7	14,1
Харків	193,2	2	6
Бахмут	–	–	–
Костянтинівка	13,97	4	9,5
Селидове	9,58	2	6
Слов'янськ	27,9	3	7,8
Торецьк	24,46	3	7,8
Добропілля	11,53	2	6
Дружківка	10,2	5	11,1
Лозова	0,89	2	6
Люботин	0,93	2	6
Мирноград	17,9	5	11,1
Новгородівка	1,66	1	3,8
Первомайський	4,9	2	6
Покровськ	14,02	5	11,1
Чугуїв	7,6	2	6

За результатами досліджень було встановлено, що кількість пожеж, які періодично виникають на території міст під час дії воєнного стану не можна описати законом розподілу Пуассона. З цієї причини було перевірено можливість опису цього процесу іншими законами розподілу випадкової величини, а саме: експоненційним, хі-квадрат та геометричним. Встановлено, що майже для 59 % досліджуваних міст справджується геометричний закон розподілу. Для міст Новгородівка та Первомайський не вдалося отримати жодного результату. Причиною цього може бути те, що в цих містах за період 2022 року сталася найменша кількість пожеж порівняно з іншими з аналізованих міст. Ця кількість не перевищує 50 для кожного з названих раніше міст. Крім цього, ці міста за результатами групування були віднесені до третього кластеру в який ввійшли населені пункти, які мали найменшу площу і чисельність населення.

Під час перевірки статистичної гіпотези, яка дозволяє описати часові інтервали між моментами виникнення пожеж в містах у якості основної гіпотези спершу було перевірено експоненційний закон розподілу. Встановлено, що для 35 % від загальної кількості аналізованих міст ця статистична гіпотеза справджується. Перевірка можливості описання часових інтервалів між моментами виникнення пожеж іншими законами розподілу дала значно гірший результат.

Проведення цього дослідження значно обмежували наявні статистичні дані, бо на початку повномасштабного вторгнення в деяких прифронтових містах з об'єктивних причин тимчасово був призупинений облік пожеж. Через це їх було вилучено з розгляду, тобто досліджувалася обмежена група міст.

Основним недоліком цього дослідження можна вважати те, що були опрацьовані статистичні дані за достатньо обмежений проміжок часу - лише за 2022 рік, тому це безумовно вплинуло на отримані результати. Усунути в перспективі вказаний недолік можливо шляхом продовження цього дослідження і опрацьовання статистичних даних ще за період 2023 року.

Отже, під час необхідності описання процесу виникнення пожеж в міських населених пунктах під час дії воєнного стану статистичними закономірностями необхідно досліджувати кожний окремих випадок. Встановлено, що для деяких населених пунктів визначити статистичні закономірності, які дозволяють описати цей процес неможливо. Можливо це пов'язано з тим, що в цих містах за аналізований період відбулася невелика кількість пожеж і за умови збільшення інтервалу спостереження та повторної перевірки вдасться встановити статистичний закон розподілу. Вказане припущення планується перевірити під час подальших досліджень.

Встановлена сильна залежність показника кількості пожеж від площі території та чисельності населення міста. Названа залежність також спостерігалася до введення воєнного стану. Пояснити це можна тим, що значна кількість пожеж відбувається в об'єктах житлового фонду з причин, які не пов'язані з ворожими обстрілами. Враховуючи цю залежність можливим є проведення прогнозу кількості пожеж на майбутні періоди за рахунок побудови рівнянь регресії та використанні вказаних показників. При цьому, проблемою є встановлення достовірної чисельності населення на території міст, бо значна його кількість з введенням воєнного стану була переселена до інших населених пунктів.

В подальшому планується продовжити ці дослідження опрацьовавши статистичні дані про пожежі, які виникали в містах за період 2023 року, що дозволить збільшити об'єм вибірки та отримати за рахунок цього більш достовірні результати.

8. Висновки

1. Встановлено, що кількість пожеж, які періодично виникають на території міст під час дії воєнного стану не можна описати законом розподілу Пуассона. Натомість для 59 % досліджуваних міст підтвердилася гіпотеза про геометричний закон розподілу. Для окремих міст у яких за період 2022 року кількість пожеж склала менше 50 не вдалося отримати жодного результату. Через це було зроблено припущення, що за умови збільшення інтервалу спостереження та проведення повторної перевірки можливо встановити статистичний закон розподілу. Встановлена сильна залежність показника кількості пожеж від площі території та чисельності населення міста. Між кількістю пожеж і площею території значення коефіцієнта кореляції становило – 0,74, а для кількості пожеж і чисельності населення – 0,85. Fire safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-13

ня – 0,98. Враховуючи цю залежність можливим є проведення прогнозу кількості пожеж на майбутні періоди за рахунок побудови рівнянь регресії та використанні вказаних показників. При цьому, проблемою є встановлення достовірної чисельності населення на території міст, бо значна його кількість з введенням воєнного стану була переселена до інших населених пунктів.

2. Встановлено, що для 35 % від загальної кількості аналізованих міст висунута статистична гіпотеза про можливість опису часових інтервалів між моментами виникнення пожеж експоненціальним законом розподілу була підтвердженою. Під час перевірки можливості описання часових інтервалів між моментами виникнення пожеж іншими законами розподілу було отримано значно гірший результат. Отже, під час необхідності описання процесу виникнення пожеж в міських населених пунктах під час дії воєнного стану ймовірнісними закономірностями необхідно досліджувати кожний окремий випадок. Ця особливість має бути врахована під час побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень з метою підвищення ефективності реагування аварійно-рятувальних формувань.

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: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
2. Nazarenko S., Kushnareva G., Maslich N., Knaub L., Naumenko N., Kovalenko R., Konkin V., Sukharkova E., Koliyev, O. Establishment of the dependence of the strength indicator of the composite material of pressure hoses on the character of single damages. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6. № 1(114). P. 21–27. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248972>
3. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyňa V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T. Conceptual approaches for development of informational and analytical expert system for assessing the NPP impact on the environment. *Nuclear and Radiation Safety*. 2018. № 3(79). P. 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09
4. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyňa V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T., Matvieieva I. Analysis of possible causes of NPP emergencies to minimize risk of their occurrence. *Nuclear and Radiation Safety*. 2019. № 1(81). P. 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13
5. Aldabbas M., Venteicher F., Gerber L., Widmer M. Finding the Adequate Location Scenario After the Merger of Fire Brigades Thanks to Multiple Criteria Decision Analysis Methods. *Foundations of Computing and Decision Sciences*. 2018. № 43(2). P. 69–88. doi: 10.1515/fcds-2018-0006
6. Usanov D., Guido Legemaate A., 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. Vol. 3. № 3(100). P. 54–62. doi: 10.15587/1729-4061.2019.175110

8. Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M., Baulin D., Tolkunov I., Gleizer N., Nakonechnyi A. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. № 10(95). P. 48–55. doi: 10.15587/1729-4061.2018.143045
9. Ivanov E., Loboichenko V., Artemev S., Vasyukov A. Emergency situations with explosions of ammunition: Patterns of occurrence and progress. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 1. № 10. P. 26–35. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59684
10. 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. Vol. 97. 106730. doi: 10.1016/j.asoc.2020.106730
11. Gorzelanczyk P. Using neural networks to forecast the number of road accidents in Poland taking into account weather conditions. *Results in Engineering*. 2023. Vol. 17. 100981. doi: 10.20858/sjsutst.2023.118.4
12. Ferreira L., Vega-Oliveros D., Zhao L., Cardoso M., Macau E. Global fire season severity analysis and forecasting. *Computers & Geosciences*. 2020. Vol. 134. 104339. doi: 10.1016/j.cageo.2019.104339
13. 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
14. 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
15. Chowdhury E., Hassan Q. Development of a New Daily-Scale Forest Fire Danger Forecasting System Using Remote Sensing Data. *Remote Sens*. 2015. № 7(3). P. 2431–2448. doi: 10.3390/rs70302431
16. Spessa A., Field R., Pappenberger F., Langner A., Englhart S., Weber U., Stockdale T., Siegert F., Kaiser J., Moore J. Seasonal forecasting of fire over Kalimantan, Indonesia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2015. Vol. 15. P. 429–442. doi: 10.5194/nhess-15-429-2015

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
V. Semkiv, Adjunct
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

STATISTICAL REGULATIONS OF THE OCCURRENCE OF FIRES IN CITIES DURING MARITAL STATE

The process of the occurrence of fires in cities located near the demarcation line during martial law was studied. The subject of the study is statistical regularities that allow us to describe the process of fire occurrence in cities during martial law. Data on fires that occurred in seventeen urban settlements of Ukraine, which are in the immediate vicinity of the demarcation line for the period of 2022, were processed. Statistical hypotheses that allow describing the flow of fires that periodically occurred in cities during the studied period, as well as the time intervals between the moments of their occurrence, have been verified. It has been established that the number of fires that periodically occur on the territory of cities during martial law cannot be described by the Poisson distribution law. Instead, for 59 % of the studied cities, the hypothesis about the geometric law of distribution was confirmed. For some cities in which the number of fires was less than 50 during the period of 2022, it was not possible

to obtain any results. It was established that for 35 % of the total number of analyzed cities, the statistical hypothesis about the possibility of describing the time intervals between the occurrence of fires by the exponential law of distribution was confirmed. A much worse result was obtained when testing the possibility of describing the time intervals between the occurrence of fires by other distribution laws. Therefore, if it is necessary to describe the process of the occurrence of fires in urban settlements during martial law, it is necessary to study each individual case by probabilistic laws. The research results can be used to build information systems to support decision-making by management involved in the elimination of the consequences of dangerous events and emergency situations related to fires.

Keywords: fire, martial law, 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. Nazarenko, S., Kushnareva, G., Maslich, N., Knaub, L., Naumenko, N., Kovalenko, R., Konkin, V., Sukharkova, E., Koliienov, O. (2021). Establishment of the dependence of the strength indicator of the composite material of pressure hoses on the character of single damages. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (114)), 21–27. doi: 10.15587/1729-4061.2021.248972
3. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov, D., Dement, M., Yatsyshyn, T. (2018). Conceptual approaches for development of informational and analytical expert system for assessing the NPP impact on the environment. *Nuclear and Radiation Safety*, 3(79), 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09
4. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov, D., Dement, M., Yatsyshyn, T., Matvieieva, I. (2019). Analysis of possible causes of NPP emergencies to minimize risk of their occurrence. *Nuclear and Radiation Safety*, 1(81), 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13
5. Aldabbas, M., Venteicher, F., Gerber, L., Widmer, M. (2018). Finding the Adequate Location Scenario After the Merger of Fire Brigades Thanks to Multiple Criteria Decision Analysis Methods. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 43(2), 69–88. doi: 10.1515/fcds-2018-0006
6. Usanov, D., Guido Legemaate, A., 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
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. Ivanets, H., Horielyshev, S., Ivanets, M., Baulin, D., Tolkunov, I., Gleizer, N., Nakonechnyi, A. (2018). Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 10(95), 48–55. doi: 10.15587/1729-4061.2018.143045
9. Ivanov, E., Loboichenko, V., Artemev, S., Vasyukov, A. (2016). Emergency situations with explosions of ammunition: Patterns of occurrence and progress. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 10, 26–35. doi: 10.15587/1729-

4061.2016.59684

10. Guangyin, J., Qi, W., Cunchao, Z., Yanghe, F., Jincan, 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

11. 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

12. Ferreira, L., Vega-Oliveros, D., Zhao, L., Cardoso, M., Macau, E. (2020). Global fire season severity analysis and forecasting. *Computers & Geosciences*, 134, 104339. doi: 10.1016/j.cageo.2019.104339

13. 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

14. 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

15. Chowdhury, E., Hassan, Q. (2015). Development of a New Daily-Scale Forest Fire Danger Forecasting System Using Remote Sensing Data. *Remote Sens*, 7(3), 2431–2448. doi: 10.3390/rs70302431

16. Spessa, A., Field, R., Pappenberger, F., Langner, A., Enghart, S., Weber, U., Stockdale, T., Siegert, F., Kaiser, J., Moore, J. (2015). Seasonal forecasting of fire over Kalimantan, Indonesia, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 429–442. doi: 10.5194/nhess-15-429-2015

Надійшла до редколегії: 20.09.2023

Прийнята до друку: 06.11.2023