

*Е.М. Гуліда, д-р техн. наук, професор, Д.П. Войтович, канд. техн. наук,
І.О. Мовчан, канд. техн. наук, доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ПОТІК ПОЖЕЖ ТА ЇХ ОДНОЧАСНІСТЬ У МІСТАХ

Розроблена методологія визначення потоку пожеж та їх одночасності у містах. Доведено, що для визначення потоку пожеж та їх одночасності у містах необхідно враховувати статистичні дані попередніх років. На підставі статистичних даних визначають для міста середнє значення пожеж, середньоквадратичне відхилення та значення генеральної середньої, яка обмежується довірчими границями. Використовуючи закон розподілу рідкісних подій визначають частоту виникнення пожеж в місті за певний час. Отримані результати порівнюють із статистичними даними і знаходять відносну похибку, яку враховують у визначену кількість пожеж. Розроблену методологію було перевірено на кількості пожеж у м. Львові. Результати перевірки показали достатньо високу точність розрахунків.

Ключові слова: пожежа, потік пожеж, одночасність пожеж, статистика пожеж.

E.M. Hulida, D.P. Voitovich, I.O. Movchan

THE FLIGHT OF THE FIRE AND THEIR ONE-LIFE IN THE CITY

The methodology for determining the flow of fires and their simultaneity in cities has been developed. It is established that in order to determine the flux of fires and their simultaneity in cities it is necessary to use the results of statistical data on the number of fires. Based on the statistics, the city estimates the average fire value and the mean square deviation. The data obtained allows determining the value of the general average, which is confined to confidential boundaries. The law of distribution of rare events allows determining the frequency of fires in the city at a certain time. The obtained results are compared with the statistical data. They are used to determine the relative error, which is taken into account in the determined number of fires. The developed methodology was tested on the number of fires in Lviv. The results of the verification showed a high accuracy of the calculations.

Key words: fire, flood of fires, simultaneity of fires, statistics of fires.

Постановка проблеми. Поток пожеж у місті називають послідовність їх виникнення та виявлення. Кількість пожеж, що виникає за одиницю часу, є дискретною випадковою величиною, що може набувати будь-яких цілих невід'ємних значень 0, 1, 2 За статистичними даними потік пожеж у місті значною мірою залежить від часу доби та пори року. Відомо, що більшість пожеж у місті виникає у вечірній час, а менше – вночі. Значно збільшується кількість пожеж на початку та наприкінці опалювального сезону [1]. Тобто, потік пожеж у місті є досить складним випадковим процесом, що розвивається у часі та просторі.

Для оперативної діяльності пожежно-рятувальних підрозділів міста є потреба у визначенні (хоча б за прогнозом) кількості пожеж, яка потребує одночасної ліквідації. В період одночасної ліквідації декількох пожеж необхідна значна кількість сил і засобів, тому для таких ситуацій необхідно передбачати відповідні сили та засоби для їх ліквідації. Але на сучасному етапі відсутні дані для прогнозування кількості одночасних пожеж у місті, що і поставило проблему для проведення цього дослідження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Потік пожеж достатньо точно підпорядковується стаціонарному пуассонівському розподілу [2]

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}; \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

де $P_k(\tau)$ – імовірність того, що за час τ в місті виникне k пожеж; λ – густина потоку пожеж (середнє значення в одиницю часу).

Якщо справджується гіпотеза (1), то проміжки часу між суміжними пожежами повинні підпорядковуватись експоненціальному закону розподілу [2]

$$P\{T < \tau\} = 1 - e^{-\lambda\tau}, \quad (2)$$

де $P\{T < \tau\}$ – імовірність того, що проміжок часу T між суміжними пожежами буде менший за якесь значення τ .

Потік пожеж у місті розбивають на «складові» потоки, а саме на потоки пожеж, що виникають в житлових будівлях $\lambda_{жс}$, промислових спорудах λ_n , в громадських будівлях $\lambda_{сп}$ тощо. Кожен із таких потоків буде підпорядковуватись пуассонівському розподілу із власним параметром. Тоді сумарний потік пожеж також буде пуассонівським, тобто виду [2]

$$\lambda = \lambda_{жс} + \lambda_n + \lambda_{сп} + \dots \quad (3)$$

Важливим параметром є частота виїздів пожежно-рятувальних відділень за добу, яку характеризує інтенсивність (густина) - середнє число виїздів в одиницю часу λ (в більшості випадків за 1 год чи 1 добу). Наприклад, для міста Львова цей показник в середньому становить $\lambda = 6$ виїздів/доба, або 0,25 виїздів/год. За цим середнім значенням приховане значне розосередження кількості викликів в одиницю часу відносно середнього. Тому в якості орієнтовної оцінки дійсного розосередження кількості виїздів за одиницю часу відносно середнього значення λ , використовують інтервал (від $\lambda - 4\sqrt{\lambda}$ до $\lambda + 4\sqrt{\lambda}$ [1]), у якому розміщена переважна більшість значень кількості виїздів. Наприклад, для $\lambda = 6$ виїздів за добу, в більшості випадків кількість виїздів буде коливатись від 0 до 16. При цьому значний інтерес представляє собою максимальне значення цього показника, що відображає особливе напруження в місті. Проте граничне значення цього інтервалу будуть зустрічатись не частіше, ніж кілька разів на рік.

Кількість одночасних пожеж в будь-який проміжок часу є дискретною випадковою величиною, яка може набувати будь-якого цілого невід'ємного значення. В середньому в місті одночасно може бути ліквідовано $\lambda \cdot \tau_{л.сеп}$ пожеж, де $\tau_{л.сеп}$ – середнє значення часу ліквідації пожежі. В цьому випадку більшість одночасних пожеж розташована в інтервалі від 0 до $\lambda \tau_{л.сеп} + 4\sqrt{\lambda \cdot \tau_{л.сеп}}$ [3].

Частота N_k випадків (середнє число) одночасного гасіння k пожеж за проміжок часу T з урахуванням рекомендацій [2] може бути визначена за залежністю

$$N_k = \left(\lambda + \frac{k}{\tau_{л.сеп}} \right) \cdot T \left[\frac{(\lambda \tau_{л.сеп})^k}{k!} \right] e^{-\lambda \tau_{л.сеп}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (4)$$

На підставі аналізу сучасного стану встановлено, що на сьогодні відсутня методологія для оперативного визначення потоку пожеж у місті, особливо одночасних. Тому була поставлена мета для розв'язання цієї проблеми.

Мета роботи. Розроблення методології оперативного визначення потоку пожеж у місті, особливо одночасних, для швидкого реагування на їх ліквідацію.

Постановка задачі та її розв'язання. Ставимо задачу розробити методологію оперативного визначення потоку пожеж у місті. Для проведення цих досліджень використовуємо статистичні дані про пожежі та випадки одночасного їх виникнення за останні п'ять років. На підставі отриманих даних визначаємо динаміку пожеж та їх одночасність за останні п'ять років з отриманням емпіричних залежностей. Отримані статистичні дані дають змогу прогнозувати динаміку потоку пожеж та їх одночасність у місті. Це дасть можливість визначити в середньому за один місяць ($\tau = 24 \text{ год} \times 30 \text{ днів} = 720 \text{ год}$) густину потоку пожеж λ при виникненні по одній пожежі $k = 1$ в n_1 випадках, $k = 2$ в n_2 випадках і т. д., а також за відсутності викликів в n_0 випадках. На підставі отриманих даних встановлюємо залежність для визначення імовірності виникнення пожеж в місті за час τ (по одній – $k = 1$ та одночасних пожеж – $k \geq 2$), а також частоту випадків N_k одночасного гасіння $k \geq 2$ пожеж за певний проміжок часу τ .

На підставі статистичних даних щодо пожеж за останні п'ять років визначаємо середнє значення пожеж \bar{x} і середньоквадратичне відхилення s за залежностями

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (6)$$

де $n = 5$ – п'ять років;

x_i – кількість пожеж за кожен рік.

За даними n , \bar{x} та s визначаємо дійсне значення генеральної середньої \bar{X}_0 , яка обмежується довірчими границями

$$\bar{x} - \varepsilon < \bar{X}_0 < \bar{x} + \varepsilon, \quad (7)$$

де ε – довірна границя

$$\varepsilon = t_\alpha \frac{s}{\sqrt{n}}; \quad (8)$$

t_α – додатне число, яке слідує закону розподілу Стьюдента [4, додаток 2] і залежить від прийнятої надійності $\alpha = 0,95$ та $m = n - 1 = 5 - 1 = 4$; в цьому випадку $t_\alpha = 2,78$.

Використовуючи закон розподілу рідкісних подій (закон Пуассона) визначаємо частоту виникнення пожеж в місті за час τ в год: по одній пожежі $k = 1$ в n_1 випадках, $k = 2$ в n_2 випадках і т. д.

$$n_k = \left(\lambda + \frac{k}{\tau_{л.сер}} \right) \tau \left[\frac{(\lambda \tau_{л.сер})^k}{k!} \right] \exp(-\lambda \tau_{л.сер}), \quad (9)$$

де $\tau_{л.сер}$ – середній час ліквідації пожежі;

λ – густина потоку пожеж, пожеж/год

$$\lambda = \frac{X}{\Phi_k}; \quad (10)$$

X – загальна кількість пожеж в місті за рік;

Φ_k – календарний річний фонд часу, год.

Отримані результати порівнюємо із статистичними даними і визначаємо відносну похибку δ

$$\delta = \frac{n_{кР} - n_{кД}}{n_{кД}} 100, \% \quad (11)$$

де $n_{кР}$ – розрахункова кількість пожеж;

$n_{кД}$ – дійсна кількість пожеж.

Середнє значення відносної похибки враховуємо в залежність (9) у вигляді поправочного коефіцієнта K_{n_k} .

Динаміку потоку пожеж та частоту випадків n_k одночасного гасіння ($k \geq 1$) пожеж за певний проміжок часу τ у місті визначаємо на підставі аналізу пожеж протягом останніх п'яти років з використанням трендових моделей в процесі побудови графічних залежностей з отриманням емпіричних рівнянь.

Розглянемо запропоновану методологію на прикладі ліквідації пожеж у м. Львові.

Приклад. Для дослідження виникнення потоку пожеж, їх одночасності та динаміки скористаємося статистичними даними за останні п'ять років у м. Львові [5].

На підставі статистичних даних визначаємо по роках кількість пожеж, в тому числі одночасних:

2012 рік – загальна кількість пожеж 737; в тому числі

$k = 1 \rightarrow n_1 = 685$; $k = 2 \rightarrow n_2 = 43$; $k = 3 \rightarrow n_3 = 9$;

2013 рік – загальна кількість пожеж 735; в тому числі

$k = 1 \rightarrow n_1 = 687; k = 2 \rightarrow n_2 = 40; k = 3 \rightarrow n_3 = 8;$

2014 рік – загальна кількість пожеж 723; в тому числі

$k = 1 \rightarrow n_1 = 584; k = 2 \rightarrow n_2 = 130; k = 3 \rightarrow n_3 = 9;$

2015 рік – загальна кількість пожеж 1256; в тому числі

$k = 1 \rightarrow n_1 = 1015; k = 2 \rightarrow n_2 = 186; k = 3 \rightarrow n_3 = 55;$

2016 рік – загальна кількість пожеж 1029; в тому числі

$k = 1 \rightarrow n_1 = 958; k = 2 \rightarrow n_2 = 52; k = 3 \rightarrow n_3 = 19.$

На підставі статистичних даних по пожежах за останні п'ять років визначаємо середнє значення пожеж \bar{x} і середньоквадратичне відхилення s за залежностями (5) і (6) при:

виникненні по одній пожежі $k = 1$

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{5}(685 + 687 + 584 + 1015 + 958) = 786;$$

виникненні одночасно по дві пожежі $k = 2$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{5}(43 + 40 + 130 + 186 + 52) = 90;$$

виникненні одночасно по три пожежі $k = 3$

$$\bar{x}_3 = \frac{1}{5}(9 + 8 + 9 + 55 + 19) = 20;$$

Визначаємо для кожного виду пожеж середньоквадратичне відхилення

$$s_1 = \sqrt{\frac{(685 - 786)^2 + (687 - 786)^2 + (584 - 786)^2 + (1015 - 786)^2 + (958 - 786)^2}{5 - 1}} = 189;$$

аналогічно визначаємо при виникненні одночасно двох пожеж $k = 2 \rightarrow s_2 = 65;$ при виникненні одночасно трьох пожеж $k = 3 \rightarrow s_3 = 20.$

Довірчі границі за залежністю (8)

$$\varepsilon_1 = 2,78 \frac{189}{\sqrt{5}} = 234; \varepsilon_2 = 82; \varepsilon_3 = 20.$$

Тоді значення генеральної середньої для кожного виду пожеж за залежністю (7) будуть:

$$552 < \bar{X}_{01} < 1020;$$

$$8 < \bar{X}_{02} < 272;$$

$$0 < \bar{X}_{03} < 40.$$

На підставі значень генеральної середньої будуюмо графічні залежності можливого розподілу видів пожеж на протязі одного року (рис. 1).

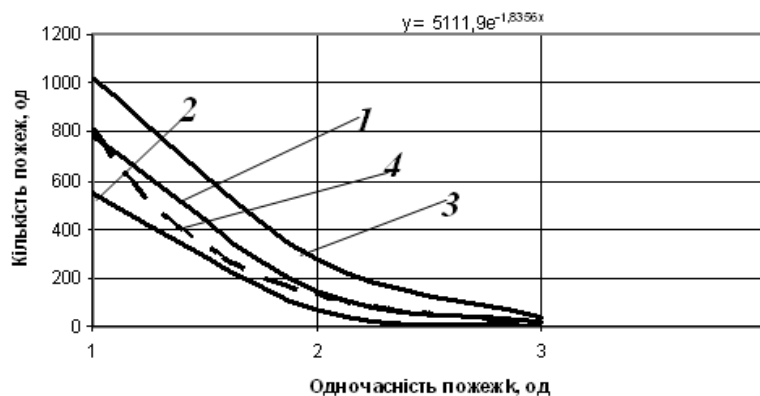


Рисунок 1 – Залежність кількості пожеж у м. Львові протягом одного року від їх одночасності виникнення: 1 – генеральна середня пожеж; 2, 3 – довірчі границі генеральної середньої пожеж; 4 – лінія тренда, яка накладена на генеральну середню у вигляді експоненціальної залежності

Кількість кожного виду пожеж для м. Львова в першому наближенні можна визначити за залежністю

$$n_k = 5111,9e^{-1,8356k}, \quad (12)$$

де n_k – кількість одночасних пожеж, тобто кількість пожеж при $k = 1, 2, 3$.

Аналіз результатів генеральної середньої вказує на те, що у м. Львові протягом року може виникнути **максимально** 1332 пожежі з таким розподілом: по одній пожежі $k = 1 \rightarrow 1020$; одночасно по дві пожежі $k = 2 \rightarrow 272$; одночасно по три пожежі $k = 3 \rightarrow 40$.

На підставі результатів, які були отримані після обробки статистичних даних методами математичної статистики, уточнимо залежність (9) з метою використання її надалі у плануванні роботи міських пожежно-рятувальних підрозділів. Всі необхідні результати розрахунків для уточнення залежності (9) зводимо у табл. 1.

Аналіз результатів розрахунків, які наведені в табл. 1, показують, що похибки при визначенні кількості видів пожеж за залежністю (9) розташовуються в межах від 13,1% до 85%. За такими похибками користуватися цією залежністю для прогнозування відповідних видів пожеж недоцільно. Тому, враховуючи той факт, що виникнення будь-якої пожежі має випадковий характер і в кожному році їх кількість змінюється, доцільно при використанні залежності (9) її результат уточнювати введенням поправкового коефіцієнта K_{n_k} , усереднені значення якого визначені на підставі статистичних обчислень, а саме:

$$K_{n_1} = 0,88; K_{n_2} = 0,63; K_{n_3} = 6,67.$$

Таблиця 1

Результати розрахунків для уточнення залежності (9)

№ з/п	Показники	Значення
1	2	3
1	Генеральна середня загальної кількості пожеж за рік X_0 по м. Львову, од	896
2	Календарний річний фонд часу Φ_k , год	8760
3	Густина потоку пожеж λ за залежністю (10), пож/год	0,102
4	Середній час ліквідації пожежі $\tau_{л.сер}$, год	0,82 [5]
5	Час для визначення кількості виникнення пожеж τ , год	8760
6	Середня генеральна кількості пожеж за рік, од:	
	$k = 1 \rightarrow n_{1д}$	786
	$k = 2 \rightarrow n_{2д}$	90
	$k = 3 \rightarrow n_{3д}$	20
7	Розрахункова кількість пожеж $n_{1р}$, од	889
8	Розрахункова кількість пожеж $n_{2р}$, од	143
9	Розрахункова кількість пожеж $n_{3р}$, од	3
10	Відносна похибка за залежністю (11) δ_1 , %	13,1
11	Відносна похибка за залежністю (11) δ_2 , %	58,8
12	Відносна похибка за залежністю (11) δ_3 , %	85

На підставі отриманих даних уточнюємо залежність (9) введенням поправкового коефіцієнта для м. Львова. Тобто уточнена залежність має вигляд

$$n_k = K_{n_k} \left(\lambda + \frac{k}{\tau_{л.сер}} \right) \tau \left[\frac{(\lambda \tau_{л.сер})^k}{k!} \right] \exp(-\lambda \tau_{л.сер}). \quad (13)$$

Висновки.

1. Розроблена методологія визначення потоку пожеж та їх одночасність для міста може бути рекомендована для впровадження в пожежно-рятувальні підрозділи міст України, що дасть змогу оперативно виконувати завдання з ліквідації пожеж.
2. Прогнозування потоку пожеж та їх одночасність можна визначати за розробленою методологією на будь-який період час (тиждень, місяць, квартал, рік).
3. Розроблена методологія дає можливість на підставі прогнозу пожеж своєчасно вести підготовку необхідної кількості сил і засобів пожежогасіння при виникненні одночасно декількох пожеж.
4. Наведена методологія за наявності значної бази статистичних даних може бути значно покращена та удосконалена.

Список літератури:

1. Брушлинский Н.Н. Совершенствование организации и управления пожарной охраной. / Н.Н. Брушлинский, А.К. Микеев, Г.С. Бозуков и др. // Под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Стройиздат, 1986. – 152 с.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченка. – М.: Изд. „Пожнаука”, 2000. – 482 с.
3. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы. / Н.Н. Брушлинский. – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.
4. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. / И.С. Солонин. – М.: Машгиз, 1960. – 176 с.
5. Аналіз масиву карток обліку пожеж – ДСНС України. // [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.

References:

1. Brushlinsky N.N. Improving the organization and management of fire protection. / N.N. Brushlinsky, A.K. Mikeyev, G.S. Bozukov et al. // Ed. N.N. Brushlinsky. – Moscow: Stroyizdat, 1986. – 152 p.
2. Modeling fires and explosions / Under the general. Ed. N.N. Brushlinsky and A.Ya. Korolenchenko. – Moscow: Izd. "Pozhnauka", 2000. – 482 p.
3. Brushlinsky N.N. Modeling of operational activities of the fire service. / N.N. Brushlinsky. – M: Stroyizdat, 1981. – 96 p.
4. Solonin I.S. Mathematical statistics in engineering technology. I.S. Solonin. – M.: Mashgiz, 1960. – 176 p.
5. Analysis of the array of fire fighting cards – SNSS of Ukraine. // [Electronic resource]. Access mode: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.

