

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

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ МІСТА ДЛЯ ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕННЯ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ

Розроблено оптимізаційну модель методів і засобів протипожежного захисту міста на основі допустимого для міста значення пожежного ризику. Отримані залежності, розроблена блок-схема алгоритму та пакет прикладних програм дають змогу прогнозувати значення пожежних ризиків для реалізації пожежної безпеки об'єктів захисту міста та наслідків пожежі для людей і матеріальних цінностей, що є дуже важливим для запобігання виникненню пожежі.

Ключові слова: пожежа, пожежний ризик, збитки від пожежі, витрати на протипожежний захист, псевдовипадкові числа.

Сучасний стан проблеми. У сфері пожежної безпеки користуються терміном «пожежний ризик», тобто це є міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єктів захисту міста та її наслідків для людей і матеріальних цінностей. Гарантування пожежної безпеки об'єктів захисту складається з визначення, аналізу та оцінювання пожежного ризику, що дає змогу розробляти і впроваджувати відповідні заходи для зменшення їх значень до прийнятного значення. Згідно із рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я [1] пожежні ризики класифікують так: 1) незначний ризик $\varepsilon \leq 10^{-6}$; 2) прийнятний ризик $\varepsilon = 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$; 3) високий (терпимий) ризик $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$; 4) неприйнятний ризик $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$. Своєю чергою пожежний ризик вказує на відповідну імовірність виникнення пожежі на об'єкті. Тому, знаючи імовірність виникнення пожежі, очікувану величину втрат та здійснюючи управлінські заходи, можна уникнути пожежі або, у випадку її виникнення, мінімізувати наслідки від неї та передбачити ефективні компенсаційні заходи.

Проблемою аналізу та управління пожежними ризиками останнім часом займаються в багатьох країнах світу. Значний вклад в розвиток цього напрямку науки внесло багато вчених, у числі яких М.М. Брушлінський, В.В. Холщевніков, Д.О. Самошин, В.В. Бегун та інші [1-5]. Результати аналізу цих робіт показали, що в них відсутні дані для визначення пожежного ризику об'єктів міста з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки.

Відомо, що пожежний ризик для міста залежить від багатьох чинників, а саме від: 1) пожежного ризику для об'єктів житлового сектора міста, в тому числі з урахуванням впливу людського фактора та ризику евакуації людей при виникненні пожежі; 2) пожежного ризику для соціально-культурних, громадських та адміністративних об'єктів міста; 3) пожежного ризику для споруд виробничого призначення; 4) організаційного ризику ліквідації пожежі пожежно-рятувальними частинами міста.

Узагальнюючи наведене можна констатувати, що на сьогодні відсутня модель для визначення методів і засобів протипожежного захисту міста на основі допустимого значення пожежного ризику. Тому ставиться задача розробити метод оптимізації пожежного ризику до прийнятного значення з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки міста.

Мета роботи. Розробити оптимізаційну модель визначення методів і засобів протипожежного захисту з урахуванням допустимого значення пожежного ризику для міста.

Постановка задачі та її розв'язання. Основною задачею в процесі використання теорії прийняття рішення є вибір оцінки для прийняття відповідного рішення, тобто вибір певного критерію для прийняття цього рішення [6]. Згідно із загальною класифікацією, критеріальні задачі поділяють на класи [7]. Задачі, які пов'язані з визначенням пожежних ризиків для різних об'єктів, можуть бути віднесені до третього класу. В цьому випадку технічна система має функціонувати в різних умовах, для кожної з яких якість функціонування характеризується певними частковими критеріями. Часткові критерії мають у задачах цього класу однакову природу й однакову розмірність. Значення таких критеріїв які наведені в роботі [8], були отримані на підставі оброблення статистичних даних методом математичної статистики у вигляді кореляційних залежностей для міста з кількістю населення $N \leq 1000000$ чол.:

для визначення прямих збитків Z від пожеж

$$Z = 3023,3 \ln(\varepsilon_m \cdot 10^5) + 14948, \text{ тис. грн;} \quad (1)$$

для визначення витрат B на протипожежний захист

$$B = 22837(\varepsilon_m \cdot 10^5)^{-0,083}, \text{ тис. грн}, \quad (2)$$

де ε_m – значення пожежного ризику для міста.

Для розроблення оптимізаційної моделі визначення методів і засобів протипожежного захисту з урахуванням допустимого значення пожежного ризику необхідно знати на кінець звітного періоду дійсне значення пожежного ризику ε_m для міста, а саме загальну кількість пожеж N_n і споруд всіх об'єктів міста N_o за ЄДРПОУ. Тоді [9]

$$\varepsilon_m = \frac{N_n}{N_o} \leq [\varepsilon], \quad (3)$$

де $[\varepsilon]$ – допустиме значення пожежного ризику для міста.

У випадку, коли ε_m перевищує значення допустимого ризику $[\varepsilon]$ для міста, необхідно розробляти та впроваджувати заходи для його зменшення до допустимих значень за рахунок витрат на придбання протипожежних технічних засобів для обладнання ними відповідних об'єктів міста. Найбільш доцільно розробляти та впроваджувати заходи протипожежного захисту на підставі результатів, які можуть бути отримані з використанням оптимізаційної моделі.

Свою чергою пожежний ризик ε_m для міста залежить від пожежних ризиків об'єктів житлового сектора $\varepsilon_{ж}$ з урахуванням ризиків евакуації людей ε_e та дії людського фактора ε_l , соціально-культурних, громадських та адміністративних об'єктів ε_c , споруд виробничого призначення ε_v та організаційного ризику ліквідації пожежі $\varepsilon_{орг}$. В цьому випадку ми можемо записати

$$\varepsilon_m = f(\varepsilon_{ж}, \varepsilon_e, \varepsilon_l, \varepsilon_c, \varepsilon_v, \varepsilon_{орг}). \quad (4)$$

Визначення складових залежності (4) наведено в роботах [8, 10-14]. Виходячи з того, що всі чинники, які впливають на кожний ризик, діють паралельно, то використавши основні положення теорії надійності, згідно з якими, функціональний зв'язок між загальним значенням пожежного ризику міста та його складовими значеннями визначаємо за залежністю

$$\varepsilon_{m,i} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \varepsilon_i), \quad (5)$$

де n – загальна кількість складових пожежного ризику міста; ε_i – i -й складовий пожежний ризик, який входить до складу пожежного ризику міста (наприклад, $\varepsilon_{ж}$ або ε_e і т.д.).

Оптимізаційну модель визначення методів і засобів протипожежного захисту з урахуванням допустимого значення пожежного ризику для міста можна представити так:

Функція мети

$$\varepsilon_{m,i} \Rightarrow \min; \quad (6)$$

за критерієм

$$|Z_i - B_i| \Rightarrow \min; \quad (7)$$

за обмеженнями

$$a_1 \leq \varepsilon_{ж,i} \leq b_1; \quad (8)$$

$$a_2 \leq \varepsilon_{e,i} \leq b_2; \quad (9)$$

$$a_3 \leq \varepsilon_{l,i} \leq b_3; \quad (10)$$

$$a_4 \leq \varepsilon_{c,i} \leq b_4; \quad (11)$$

$$a_5 \leq \varepsilon_{v,i} \leq b_5; \quad (12)$$

$$a_6 \leq \varepsilon_{орг,i} \leq b_6; \quad (13)$$

$$Z_i \leq b_7; \quad (14)$$

$$B_i \leq b_8; \quad (15)$$

$$\varepsilon_{m,i} \leq [\varepsilon]; \quad (16)$$

$$p_i = \frac{k_i}{N_i} \geq [p], \quad (17)$$

де a_1, a_2, \dots, a_6 – мінімально можливе для заданих умов значення пожежного ризику; b_1, b_2, \dots, b_6 – максимально можливе для заданих умов значення пожежного ризику; b_7 – максимально допустиме значення прямих збитків від можливих пожеж, тис. грн; b_8 – максимально можливі витрати на протипожежний захист, тис. грн; $p_i = k_i/N_i$ – імовірність попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків; $[p]$ – допустиме значення імовірності, від якого залежить кількість досліджень для прийняття оптимального значення; k_i – загальна кількість досліджуваних точок, яка попала в область допустимих розв'язків; N_i – загальна кількість досліджуваних точок.

Значення чинника b_7 можна визначити за залежністю (1) після підстановки дійсного значення пожежного ризику ε_m для міста, який визначено за залежністю (3). Величина чинника b_8 (додаткові витрати) залежить від можливостей бюджету міста, але максимальне значення чинника b_8 для міста можна визначити як різницю між витратами на забезпечення допустимого значення пожежного ризику для міста $[\varepsilon]$ та існуючого ε_m , визначеного за залежністю (3), тобто

$$b_8 = B_i = 8783([\varepsilon]^{-0,083} - \varepsilon_m^{-0,083}). \quad (18)$$

Розподіл додаткових витрат B_i між об'єктами міста на впровадження технічних засобів для забезпечення допустимого значення пожежного ризику $[\varepsilon]$ міста здійснюємо згідно з питомою вагою кожного пожежного ризику відповідних об'єктів міста, а саме

$$K_i = \frac{\varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}. \quad (19)$$

В цьому випадку додаткові витрати між об'єктами міста будуть розподілятися пропорційно питомій вазі кожного пожежного ризику за залежністю

$$B_{o,i} = B_i K_i. \quad (20)$$

Крім цього, необхідно визначити достатність отриманих додаткових витрат (коштів) на впровадження технічних засобів для кожної групи об'єктів міста. Для цього скористаємося залежністю

$$\psi_i = \frac{B_{o,i}}{8783(\varepsilon_i^{-0,083} - \varepsilon_{i,дійсне}^{-0,083})} \leq 1, \quad (21)$$

де $\varepsilon_{i,дійсне}$ – дійсне значення пожежного ризику для відповідної групи об'єктів міста на підставі статистичних даних.

У випадку, коли $\psi_i > 1$, необхідно виконати перерозподіл коштів за рахунок тих груп об'єктів міста, для яких $\psi_i < 1$, або залучити до поповнення коштів приватні підприємства.

Після визначення максимально можливих додаткових витрат $B_{o,i}$ на протипожежний захист всіх груп об'єктів міста, можна на підставі розроблених заходів визначити потрібну кількість елементів протипожежного захисту за залежністю

$$B_{o,i} \approx \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{1000} N_i k_N, \text{ тис. грн} \quad (22)$$

де C_i – ціна одного i -го елемента протипожежного захисту, грн; N_i – загальна необхідна кількість i -их елементів протипожежного захисту (кількість N_i залежить від кількості споруд, для яких влаштовується протипожежний захист), шт.; k_N – коефіцієнт, який враховує витрати на встановлення та запуск в експлуатацію i -го елемента протипожежного захисту; m – загальна кількість елементів протипожежного захисту, яка на певному етапі впроваджується в місті.

В процесі розв'язку оптимізаційної задачі за допустиме значення пожежного ризику міста доцільно приймати середнє значення високого (терпимого) ризику $[\varepsilon] = 2,75 \cdot 10^{-4}$. При визначенні граничних значень пожежних ризиків a_j і b_j (де $j = 1; 2; \dots; 6$) раціонально використовувати прийнятний ризик в межах від $a_j = 10^{-6}$ до $b_j = 5 \cdot 10^{-5}$.

Для розв'язування оптимізаційної моделі та визначення доцільності впровадження відповідних заходів протипожежного захисту і управління значенням пожежного ризику скористаємося методом Монте-Карло [15]. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями (8)...(16), оточують m -мірним паралелепіпедом, в якому проводимо дослідження. Поставлену задачу краще всього розв'язувати з використанням ПЕОМ. За допомогою давача комп'ютера утворюють послідовність псевдовипадкових чисел μ_i в інтервалі

0...1. Для перетворення псевдовипадкових чисел μ_i , які рівномірно розподілені в інтервалі 0...1 до значень ε_i використовуємо залежність

$$\varepsilon_i = a_j + \mu_i(b_j - a_j). \quad (21)$$

Блок-схема алгоритму оптимізаційної моделі методів і засобів протипожежного захисту міста на основі допустимого значення пожежного ризику зображена на рис. 1.

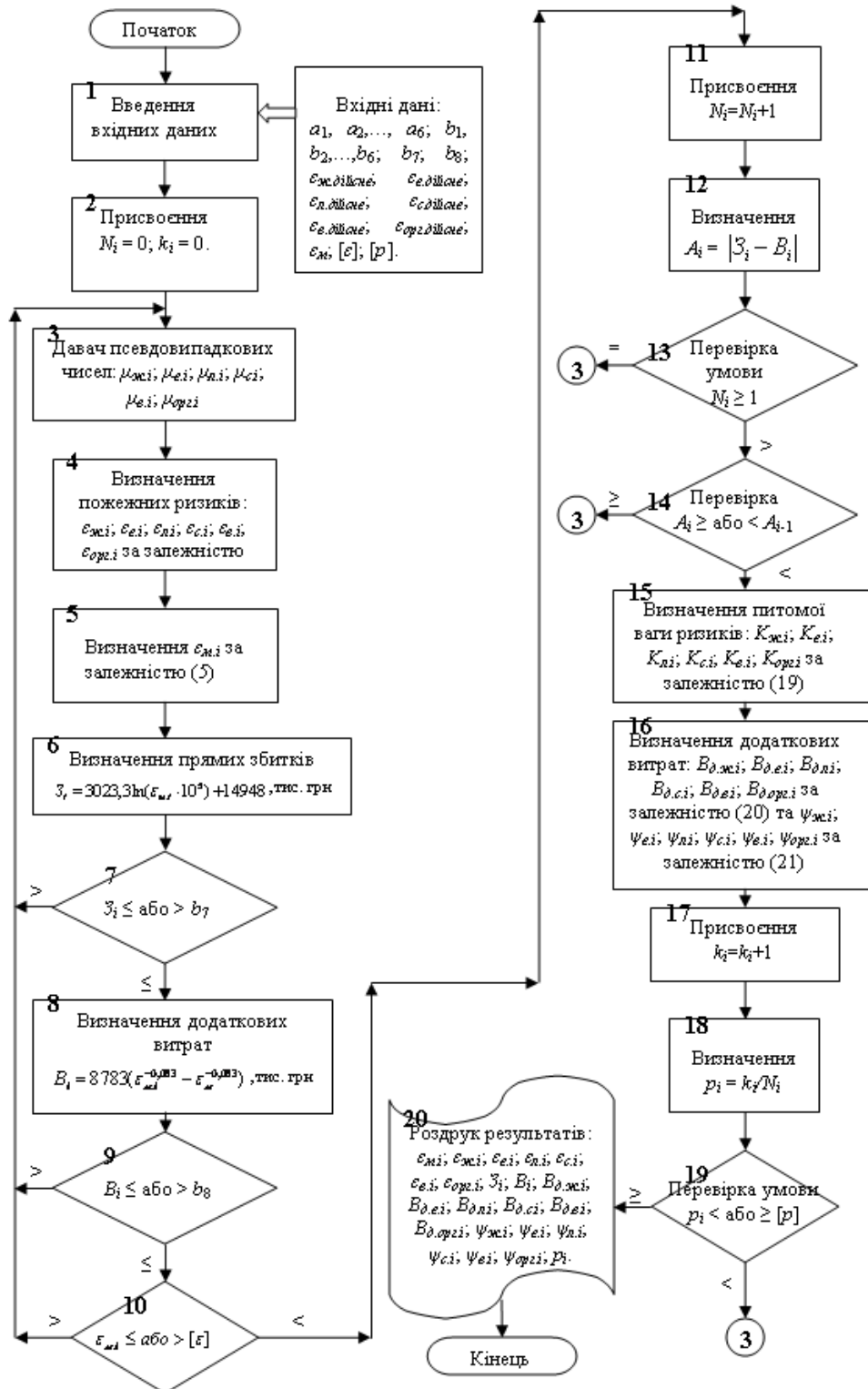


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оптимізації пожежного ризику для міста

Після введення вихідних даних в блок 1 виконується занулювання циклів роботи системи в блоці 2 та видача псевдовипадкових чисел в блоці 3. Отримані псевдовипадкові числа перетворюються в блоці 4 до значень пожежних ризиків ε_i відповідних груп об'єктів міста та в блоці 5 визначається пожежний ризик для міста. В блоках 6...9 визначаються прямі збитки від можливих пожеж та додаткових витрат на протипожежний захист. В 10 блоці виконується порівняння поточного пожежного ризику міста з допустимим значенням, що дає змогу після його проходження присвоїти номер загальному циклу роботи комп'ютера в блоці 11.

В блоці 12...14 визначається значення критерію оптимізації та його порівняння з попереднім значенням. В блоках 15 і 16 визначається питома вага пожежних ризиків груп об'єктів та відповідно для кожної групи додаткові витрати на протипожежний захист. В блоках 17...19 виконується присвоєння номера циклу, який потрапив в область допустимих розв'язків, визначення імовірності попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків та порівняння поточної імовірності з допустимим значенням. Блок 20 виконує роздрук отриманих результатів оптимізації.

Для реалізації оптимізаційної моделі методів і засобів протипожежного захисту міста був розроблений для ПЕОМ пакет прикладних програм мовою Borland Delphi ver. 6. для роботи в середовищі Windows XP. Оптимізація визначення пожежного ризику в місті виконується згідно з послідовністю, яка зображена на блок-схемі алгоритму (рис. 1), на ПЕОМ. Час роботи ПЕОМ становив 5-7 с для 5 тисяч випробувань (N_i – циклів).

Висновки

1. Розроблено оптимізаційну модель методів і засобів протипожежного захисту міста на основі допустимого для міста значення пожежного ризику, яка дасть змогу оперативно на основі аудиту визначати напрямки, додаткові витрати і відповідні засоби забезпечення прийняттого, в крайньому випадку високого (терпимого), ризику.

2. Розроблена оптимізаційна модель дає змогу управляти пожежним ризиком міста з урахуванням заходів, які підвищують пожежну безпеку міста.

3. Необхідна подальша робота з метою удосконалення та спрощення отриманих залежностей для визначення прямих збитків від пожежі і витрат на протипожежний захист міста, а також оптимізаційної моделі управління пожежним ризиком та спрощення прогнозування заходів на протипожежний захист міста.

Література:

1. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2004. – 328 с.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. „Пожнаука”, 2000. – 482с.
3. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский. – М: Стройиздат, 1981. – 96 с.
4. Холщевников В.В. Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 4. – С. 21-27.
5. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин – 46 с // www.akademygps.ru.
6. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер // Перевод с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
7. Кіндрацький Б.І. Рациональне проектування машинобудівних конструкцій / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 279 с.
8. Гуліда Е.М. Забезпечення прийняттого пожежного ризику для соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан. // Зб. наук. праць Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, № 13, 2013. – С. 16-22.

9. Климась Р. Визначення ймовірності виникнення пожеж у будівлях і спорудах різного призначення / Р. Климась, Д. Матвійчук // Надзвичайна ситуація № 11, 2011. – с. 44-45.

10. Гуліда Е.М. Прогнозування виникнення пожеж в житловому секторі на підставі аналізу техногенного ризику / Е.М. Гуліда, О.І. Башинський, І.О. Мовчан // Зб. наук. праць Пожежна безпека. – Львів: ЛДУ БЖД, № 20, 2012. – С. 150-154.

11. Мовчан І.О. Визначення ризику евакуації людей із будівель та споруд у випадку пожежі з урахуванням її критичного часу / І.О. Мовчан, Е.М. Гуліда // Вісник ЛДУ БЖД. № 6, 2012 / Львів: ЛДУ БЖД. – С. 157-161.

12. Гуліда Е.М. Оцінка пожежного ризику у функціональній залежності від людського фактора / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 22.7, 2012 / Львів: НЛТУ. – С. 317-322.

13. Гуліда Е.М. Оцінювання пожежного ризику для споруд виробничого призначення / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 22.9, 2012 / Львів: НЛТУ. – С. 118-128.

14. Гуліда Е.М. Оцінка організаційного ризику процесу ліквідації пожежі в місті / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 22.10, 2012 / Львів: НЛТУ. – С. 293-300.

15. Гулида Э.Н. Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес / Э.Н. Гулида. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 136 с.

И.А. Мовчан, М.И. Васильев, Э.Н. Гулида

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ГОРОДА ДЛЯ ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОЖАРНОГО РИСКА

Разработана оптимизационная модель методов и средств противопожарной защиты города на основе допустимого для города значения пожарного риска. Полученные зависимости, разработанная блок-схема алгоритма и пакет прикладных программ позволяют прогнозировать значение пожарных рисков для реализации пожарной безопасности объектов защиты города и последствий пожара для людей и материальных ценностей, которые являются очень важными для предупреждения возможности возникновения пожара.

Ключевые слова: пожар, пожарный риск, убытки от пожара, расходы на протипожарную защиту, псевдослучайные числа.

I.O. Movchan, M.I. Vasiljev, E.M. Hulida

OPTIMIZATION MODEL OF FIRE PROTECTION OF CITY FOR LEGITIMATE VALUE OF FIRE RISK

Optimization model of methods and facilities of fire protection of city on the basis of legitimate value of fire risk for a city was worked out. The dependences were obtained, an algorithm block diagram and software package were worked out which enable to foresee the value of fire risks for realization of fire safety of city objects and fire consequences for people and material values that is very important for preventing fires.

Key words: fire, fire risk, fire losses, fire protection expenses, pseudorandom numbers.

