

*І. О. Мовчан, канд. техн. наук, М. І. Васильєв
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ПРОЕКТАХ ТА ПРОГРАМАХ СИСТЕМИ ЛІКВІДАЦІ ПОЖЕЖ

Розроблено залежності для визначення ризику виконання кожної технологічної операції процесу ліквідації пожежі. На підставі отриманих залежностей розроблена математична модель ризику всього процесу ліквідації пожежі. Встановлено вплив складових ризиків на забезпеченість проектами і програмами кожної технологічної операції, яка впливає на ефективність пожежогасіння. Результати роботи дозволяють виявляти вузькі місця в роботі пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожежі. Аналізуючи чинники, які сприяють виникненню причин, що впливають на якість роботи пожежно-рятувальних підрозділів, можливе їх усунення для значного підвищення ефективності пожежогасіння. Наприклад, розробка проектів оптимізації границь району обслуговування та його площі для одного пожежно-рятувального підрозділу, вибір оптимальних шляхів слідування до крайніх меж району обслуговування, що дає змогу зменшити час слідування на 30...35%, а також автоматизованих систем розрахунку сил і засобів ліквідації пожежі.

Ключові слова: пожежа, ризик ліквідації пожежі, технологічний процес ліквідації пожежі.

Постановка проблеми. Успішність реалізації проектів та програм системи ліквідації пожеж визначається сучасним станом розвитку проектно-архітектурних структур, які засновані на методології управління ризиками для досягнення стратегічної мети. У теоретичній площині вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування системи ліквідації пожежі зводилось до управління ресурсами з метою мінімізації ризику отримання втрат під час ліквідації пожеж. В той же час зовсім не розглядаються ризики відносно системи, яка включає проекти і програми успішної ліквідації пожежі пожежно-рятувальними підрозділами на об'єктах, на яких виникла пожежа, і практично відсутні дані для напрямків і обсягу їх впровадження для підвищення ефективності функціонування цієї системи.

У різних аспектах і контекстах ці завдання розглядалися в роботах таких вчених, як В. М. Бурков, С. Д. Бушуєв, Ю. П. Рак, В. А. Рач, М. М. Брушлінський, В. В. Холщевніков, Д. О. Самошин, В. В. Бігун та інших.

В пожежній практиці користуються терміном «пожежний ризик», тобто це є міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкта захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей. Гарантію пожежної безпеки об'єктів захисту можна оцінити на підставі аналізу та оцінювання пожежного ризику. Такий підхід дає змогу розробляти і впроваджувати відповідні заходи для зменшення пожежного ризику до прийняттого значення. Одночасно пожежний ризик вказує на відповідну імовірність виникнення пожежі на об'єкті. Знаючи імовірність виникнення пожежі, можна оцінити очікувану величину втрат, а в багатьох випадках, здійснюючи управлінські заходи, можна уникнути пожежі або, у випадку її виникнення, мінімізувати наслідки від неї та передбачити ефективні компенсаційні заходи.

Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я і Постанови Кабінету міністрів України [3, 4], пожежні ризики класифікують так: 1) незначний ризик $\varepsilon \leq 10^{-6}$; 2) середній 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 $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$. Наведені дані стосуються лише пожежних ризиків відносно можливості виникнення пожежі на об'єктах, які розглядаються відповідно до аудиту пожежної безпеки.

Внаслідок цього дуже складно запропонувати необхідні заходи для управління проектами і програмами системи ліквідації пожеж на об'єктах захисту, які б зменшували наслідки від пожежі. Тому виникає проблема у визначенні ризику з використанням математичних моделей для процесу ліквідації пожежі, враховуючи, що поняття «пожежний ризик» включає імовірність виникнення пожежі на об'єкті, а для процесу гасіння пожежі – імовірність її ліквідації. Як бачимо проблема полягає в розробленні методу визначення ризику ліквідації пожежі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Існуючі методики та механізми інформаційної підтримки для прийняття проектних рішень керівниками ліквідації пожеж не дозволяють виявити степінь, характер та взаємодію різних чинників в умовах невизначеності проведення робіт на всіх етапах реалізації проекту чи програми системи ліквідації пожеж. Таким чином виникає необхідність враховувати цю невизначеність на підставі розроблення нової методики розрахунку та управління ризиками в проектах і програмах ліквідації пожеж.

Перші теоретичні дослідження із встановлення ризику $\varepsilon_{л.п}$ ліквідації пожежі були виконані М.М. Брушлінським. Результати статистичних досліджень [5] показують, що тривалість гасіння пожежі τ_z , описується за допомогою розподілу Ерланга

$$\phi(\tau_a) = \mu \frac{(\mu\tau_a)^r}{r!} e^{-\mu\tau} \quad (\tau > 0; r = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

де μ – постійний параметр; r – порядок розподілу Ерланга.

Для нормування тривалості гасіння пожежі рекомендують [6, 7] розглядати імовірність протилежної випадкової події, тобто імовірність того, що τ_z буде не меншим за деяке значення τ . З урахуванням пожежного ризику $\varepsilon_{л.п}$, тобто з урахуванням частини пожеж від загальної їх кількості, тривалість гасіння яких виходить за границю деякого нормативного значення τ_n , можна визначити кількість пожеж, які перевищуватимуть цей час. В цьому випадку, якщо $\varepsilon_{л.п} = 0,01$, то лише для однієї пожежі із ста, час гасіння перевищуватиме нормативний час τ_n , тобто

$$P\{\tau_a \geq \tau_i\} \leq \varepsilon_{e.i}. \quad (2)$$

Результати аналізу залежності (2) показують, що зі зменшенням значення пожежного ризику нормативний час гасіння пожежі збільшується.

Для удосконалення і підвищення ефективності роботи пожежно-рятувальних підрозділів при гасінні пожеж в Академії ДПС МВС Росії була розроблена імітаційна модель «ГИ-ГРИС» [8]. Подібна імітаційна модель була також розроблена в Нью-Йоркському Ренд-інституті [9]. При всіх своїх позитивних характеристиках ці моделі мають один загальний функціональний недолік. Фактично основний показник, який характеризує результативність дій пожежно-рятувальних підрозділів, – час обслуговування виклику або час локалізації і гасіння пожежі визначаються шляхом його моделювання на відомих для цього населеного пункту статистичних характеристиках, тобто практично незалежно від часу реакції пожежно-рятувальних підрозділів на виклик. Крім цього, при отриманні даних після розв'язування цих моделей не розглядається ризик ліквідації пожежі.

Але навіть за наявності розглянутих результатів досліджень виникає проблема, яка полягає в тому, що зовсім не розглядався ризик ліквідації пожежі.

Мета роботи. Мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні методу оцінювання величини параметрів в умовах невизначеності при управлінні ризиками для підвищення ефективності реалізації проектів і програм систем ліквідації пожеж.

Постановка задачі та її розв'язання. Задача полягає у визначенні ризику процесу ліквідації пожежі на основі розроблення методології його розрахунку. Для розв'язку цієї задачі скористаємося залежністю для визначення часу ліквідації пожежі з використанням всіх складових, які необхідні для виконання всіх тактичних дій

$$\tau_{л.п} = \tau_{в.в} + \tau_{сп} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз} + \tau_{лок} + \tau_z + \tau_{к.з}, \quad (3)$$

де $\tau_{в.в}$ – час з моменту виникнення до виявлення пожежі (на практиці цей час коливається в межах 3...6 хв [10]); $\tau_{сп}$ – час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ 3...4 хв [10]; $\tau_{о.о}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу; $\tau_{о.о} = 1$ хв [11]; $\tau_{з.с}$ – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі; $\tau_{з.с} = 3$ хв (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993); $\tau_{зб}$ – час збору особового складу; $\tau_{зб} = 1$ хв [11]; $\tau_{сл}$ – середній час слідування на пожежу; $\tau_{роз}$ – час оперативного розгортання; $\tau_{роз} = 5...8$

хв [10]; $\tau_{лок}$ – час локалізації пожежі; τ_2 – час гасіння пожежі; $\tau_{к.з}$ – час кінцевого гасіння пожежі в осередках де поновлюється полум'я.

Виходячи із залежності (3) можна констатувати, що технологічний процес ліквідації пожежі складається з десяти основних операцій. Операції із збирання пожежно-технічного обладнання після закінчення гасіння пожежі, повідомлення про ліквідацію пожежі та повернення в частину є завершальними і не впливають на основний процес ліквідації пожежі і на значення ризику ліквідації пожежі.

Кожна технологічна операція процесу ліквідації пожежі характеризується імовірністю безвідмовної роботи $R_i(\tau_i)$. Всі технологічні операції виконуються послідовно. Але в процесі виконання технологічних операцій можливі їх відмови, які в більшості випадків пов'язані зі збільшенням тривалості їх виконання порівняно з нормативним часом, в тому числі через людський фактор і через відмову пожежно-рятувальної техніки. Такі відмови у вигляді імовірностей відмов $F_i(\tau_i)$ призводять до відповідного ризику успішної ліквідації пожежі. Виходячи з наведених міркувань, ризик ε_i виконання кожної технологічної операції процесу ліквідації пожежі можна визначити за залежністю

$$\varepsilon_i = F_i(\tau_i) = 1 - R_i(\tau_i). \quad (4)$$

Якщо відмови окремих технологічних операцій процесу ліквідації пожежі розглядати як незалежні події, що є деякою ідеалізацією реальних процесів, то згідно з теоремою про добуток імовірностей незалежних подій, імовірність відмови системи дорівнюватиме добутку імовірностей відмов. Виходячи з цих положень ризик ліквідації пожежі $\varepsilon_{л.н}$ можна визначити за залежністю

$$\varepsilon_{л.н} = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i \leq [\varepsilon_{л.н}], \quad (5)$$

де $[\varepsilon_{л.н}]$ – допустиме значення ризику ліквідації пожежі.

На підставі аналізу основних положень теорії надійності [12 - 13] було встановлено, що для математичної моделі визначення імовірності ліквідації пожежі найдоцільніше використовувати розподіл Вейбулла, густину якого $f(\tau)$ можна визначити з використанням залежності

$$f(\tau) = \frac{b}{a} \left(\frac{\tau}{a} \right)^{b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\tau}{a} \right)^b \right], \quad (6)$$

де a – параметр масштабу, наприклад, середнє значення напрацювання об'єкта на відмову T_B ; b – параметр форми густини розподілу; τ – дійсне значення напрацювання об'єкта.

Розподіл Вейбулла був прийнятий за основу виходячи з того, що в процесі ліквідації пожежі майже на всіх технологічних операціях пожежогасіння застосовують технічні засоби, імовірність відмови яких у більшості випадків визначають з використанням цього розподілу. Крім цього, для визначення параметра форми b , від значення якого залежить вид розподілу (експоненціальний, Вейбулла, нормальний), використовувався метод статистичного моделювання показників надійності [12], який в цій статті не наводиться.

У разі, коли параметр форми $b \leq 1$, розподіл Вейбулла перетворюється на експоненціальний, який визначають з використанням залежності

$$f(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau), \quad (7)$$

де λ – інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов для експоненціального розподілу визначають за залежністю

$$\lambda = \frac{1}{T_A}, \quad (8)$$

де T_B – середнє значення часу (чи іншого чинника) напрацювання на відмову.

Час напрацювання на відмову наведено в стандартах або в нормативних документах і його значення визначають на підставі результатів експерименту або експлуатації відповідного об'єкта

$$T_A = \frac{\sum_{i=1}^k T_{Ai}}{m_k}, \quad (9)$$

де T_{Bi} – час безперервної роботи об'єкта після відновлення між двома суміжними відмовами; k – загальна кількість відмов при дослідженні N об'єктів; m_k – математичне сподівання кількості відмов N об'єктів до напрацювання T_B

$$m_k = \frac{\sum_{i=1}^N k_i}{N}, \quad (10)$$

де k_i – одинична відмова за час T_{Bi} безперервної роботи об'єкта.

Тоді ризик виконання окремої технологічної операції процесу ліквідації пожежі можна визначити за залежністю

$$\varepsilon = \int_0^{\tau} \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau = 1 - e^{-\lambda\tau} = 1 - \exp(-\lambda\tau). \quad (11)$$

У разі, коли параметр форми $1 < b \leq 2$, значення ризику виконання окремої технологічної операції процесу ліквідації пожежі можна визначити з використанням розподілу Вейбулла. В цьому випадку

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau}{O_A}\right)^b\right]. \quad (12)$$

У разі, коли параметр форми $b > 2$, значення ризику виконання окремої технологічної операції процесу ліквідації пожежі можна визначити з використанням нормального розподілу, згідно із залежністю

$$\varepsilon = 0,5 + \Phi(u_p), \quad (13)$$

де $\Phi(u_p)$ – функція Лапласа (ця функція є непарною, тобто $\Phi(-u_p) = -\Phi(u_p)$); u_p – квантиль нормального розподілу.

Функцію Лапласа і квантиль нормального розподілу можна визначити за залежністю [12, 13]

$$\Phi(u_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{u_p} e^{-\frac{u_p^2}{2}} du_p; \quad (14)$$

$$u_p = \frac{\tau - T_B}{S_\tau}, \quad (15)$$

де S_τ – середнє квадратичне відхилення напрацювання τ , яке визначають з використанням залежності для випадку, коли $N \leq 25$

$$S_\tau = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\tau_i - T_B)^2}{N - 1}}; \quad (16)$$

τ_i – час напрацювання на відмову одного i -го об'єкта з N об'єктів, які досліджуються.

Для визначення функції Лапласа необхідно спочатку визначити квантиль нормального розподілу згідно з (15) для відповідного часу τ , а потім з використанням довідника, в якому розміщені таблиці функції Лапласа, вибрати значення $\Phi(u_p)$.

Після цього переходимо до визначення ризиків виконання окремих технологічних операцій процесу ліквідації пожежі.

Ризик виявлення пожежі $\varepsilon_{\delta,n}$ підпорядковується нормальному закону розподілу. В цьому випадку

$$u_p = \frac{\tau_{a,a,\delta} - 6}{2}; \quad \varepsilon_{\delta,n} = 0,5 + \Phi(u_p), \quad (17)$$

де $\tau_{\delta,\delta,\delta}$ – дійсний час виявлення пожежі, хв; індекс δ позначає в цій залежності і в наступних дійсне значення цього чинника.

Ризик сповіщення про пожежу ε_{cn} підпорядковується нормальному закону розподілу, згідно з яким отримуємо

$$u_p = \frac{\tau_{ni,a} - 4}{1,3}; \quad \varepsilon_{ni} = 0,5 + \Phi(u_p). \quad (18)$$

Ризик отримання та опрацювання сповіщення про пожежу $\varepsilon_{o,o}$ підпорядковується експоненціальному закону розподілу. В цьому випадку отримуємо

$$\varepsilon_{i,i} = 1 - \exp(-\tau_{i,i,a}). \quad (19)$$

Ризик залучення сил і засобів гарнізону $\varepsilon_{z,c}$ для ліквідації пожежі підпорядковується експоненціальному закону розподілу. Тоді

$$\varepsilon_{c,c} = 1 - \exp(-0,33\tau_{c,c,a}). \quad (20)$$

Ризик збору особового складу $\varepsilon_{z\delta}$ для слідування до місця виклику підпорядковується експоненціальному закону розподілу, згідно з яким отримуємо

$$\varepsilon_{ca} = 1 - \exp(-\tau_{ca,a}). \quad (21)$$

Ризик прибуття (слідування) до місця виклику ε_{cl} підпорядковується розподілу Вейбулла

$$\varepsilon_{ne} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau_{ne,a}}{O_{A,ne}}\right)^2\right], \quad (22)$$

де $T_{B,cl}$ – нормативний час слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику, хв. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 27 листопада 2013 року нормативний час прибуття (після отримання диспетчерською службою виклику) до місця виклику 15 хв. Нормативні часи на отримання і обробку сповіщення про пожежу, на залучення сил і засобів гарнізону для гасіння пожежі і на збір особового складу в цілому становлять 5 хв. В цьому випадку $T_{B,cl} = 15 - 5 = 10$ хв.

Ризик оперативного розгортання $\varepsilon_{роз}$ також підпорядковується розподілу Вейбулла

$$\varepsilon_{zic} = 1 - \exp\left[-\left(0,1\tau_{zic,a}\right)^2\right], \quad (23)$$

де $\tau_{роз,\delta}$ – дійсне значення часу оперативного розгортання, хв; значення цього часу можна визначити за залежністю [14]

$$\tau_{zic,a} = 3,2 + 0,6N_a + 0,1N_{no} + 1,04N_a + 0,32Z_{II}; \quad (24)$$

N_g – кількість відділень, яка бере участь в оперативному розгортанні; N_{cm} – загальна кількість стволів, які закріплені за відділеннями для ліквідації пожежі; N_e – кількість пожежних гідрантів, які використовуються в процесі ліквідації пожежі; Z_{II} – поверх будівлі, на якому виникла пожежа.

Ризик локалізації пожежі $\varepsilon_{лок}$ підпорядковується розподілу Вейбулла

$$\varepsilon_{лок} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau_{лок,\delta}}{T_{B,лок}}\right)^2\right], \quad (25)$$

де $T_{B,лок}$ – напрацювання на відмову працюючих агрегатів пожежного автомобіля в процесі локалізації пожежі, год; $T_{B,лок} = 100$ хв [15]; $\tau_{лок,\delta}$ – дійсний час локалізації пожежі класу А в хв можна визначити за залежністю [16]

$$\tau_{ei.e.a} = \frac{6,39 S_{ei.e}^{0,893}}{2N_A + N_A} K_I K_d; \quad (26)$$

$S_{лок}$ – площа локалізації пожежі, м²; N_A – кількість стволів А; N_B – кількість стволів Б; K_I – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання вогнегасної речовини (табл. 1); K_d – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра насадки (табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів K_I і K_d

Інтенсивність подачі вогнегасної речовини							Діаметр насадки на стволі					
I , л/с·м ²	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	d , мм	19	25	28	32	38
K_I	1,32	1,16	1,0	0,88	0,7	0,58	K_d	1,0	0,85	0,75	0,67	0,5

Для визначення площі локалізації $S_{лок}$ необхідно розрахувати прогнозовану площу пожежі S_{II} в м², використовуючи залежності:

– для кругової і кутової

$$S_I = 0,5\alpha(\tau_{a.a} - 5)^2 V_e^2; \quad (27)$$

– для прямокутної

$$S_I = a_i (\tau_{a.a} - 5) V_e, \quad (28)$$

де α – величина центрального кута в радіанах: 6,28 - кругова пожежа; 3,14 – кутова пожежа 180°; 1,57 – кутова пожежа 90°; $\tau_{a.a}$ – прогнозований час вільного горіння до моменту початку локалізації, хв; a_n – ширина полум'я пожежі, м; V_e – лінійна швидкість поширення полум'я, м/хв.

Визначаємо для кругової і кутової пожеж радіус R поширення полум'я

$$R = \sqrt{\frac{2S_{II}}{\alpha}}. \quad (29)$$

Площа локалізації $S_{лок}$ в м² залежить від глибини подання струменя h , що гасить, м (зазвичай приймають $h = 5$ м). Тоді

– для кругової і кутової

$$S_{ei.e} = 0,5\alpha[R^2 - (R - h)^2]; \quad (30)$$

– для прямокутної

$$S_{ei.e} = n a_n h, \quad (31)$$

де n – кількість напрямів локалізації.

Ризик гасіння пожежі ε_a визначаємо з використанням розподілу Вейбулла

$$\varepsilon_a = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau_{a.a}}{O_{A.a}}\right)^2\right], \quad (32)$$

де $T_{B.z}$ – напрацювання на відмову працюючих агрегатів пожежного автомобіля в процесі гасіння пожежі, год; $T_{B.z} = 60$ хв [15]; $\tau_{z.d}$ – дійсний час гасіння пожежі можна визначити за залежністю

$$\tau_{a.a} = \tau_{ei.e.a} \left(\frac{S_I}{S_{ei.e}} - 1 \right). \quad (33)$$

Ризик кінцевого гасіння пожежі $\varepsilon_{к.з}$ (кінцева ліквідація спалахів після гасіння) визначаємо при дійсному часі $\tau_{к.з.d} = 0,25(\tau_{лок.d} + \tau_{z.d})$ хв та $\lambda = 0,01$ хв⁻¹

$$\varepsilon_{e.a} = 1 - \exp[-0,0025(\tau_{ei.e.a} + \tau_{a.a})]. \quad (34)$$

Розглянемо використання розглянутого методу визначення ризику ліквідації пожежі на конкретному прикладі.

Приклад. На промисловому підприємстві ВАТ «Завод фрезерних верстатів» в механічному цеху в центральній частині виникла кругова пожежа (360°) від короткого замикання в пульті живлення зубофрезерного верстата мод. 5К32. В цеху встановлена пожежна сигналізація, яка спрацьовує від пожежних сповіщувачів тепло-димового типу АРТОН СПД-3.5, а також система автоматичного керування евакуацією.

Вихідні дані для розрахунку: $\tau_{в.в.д} = 3$ хв; $\tau_{сн.д} = 3$ хв; $\tau_{о.о.д} = 0,9$ хв; $\tau_{з.с.д} = 1$ хв; $\tau_{зб.д} = 0,8$ хв; $\tau_{сл.д} = 7$ хв; $\tau_{роз.д}$ визначити з урахуванням 4-х відділень, 2 ствола А, 12 стволів Б, 2 гідранта, $z_{II} = 1$; $\tau_{в.з} = 25,1$ хв; $V_{л} = 0,7$ м/хв; інтенсивність подачі вогнегасної речовини $I = 0,2$ л/с·м², $d = 19$ мм, $K_I = K_d = 1$.

Розв'язок.

1. Ризик виявлення пожежі $\varepsilon_{в.н}$ за залежностями (17)

$$u_p = \frac{3-6}{2} = -1,5; \Phi(-1,5) = -\Phi(1,5) = -0,4330; \varepsilon_{в.н.} = 0,5 - 0,4330 = 0,067.$$

2. Ризик сповіщення про пожежу $\varepsilon_{сн}$ за залежностями (18)

$$u_p = \frac{3-4}{1,3} = -0,7692; \Phi(-0,7692) = -\Phi(0,7692) = -0,2795; \varepsilon_{сн.} = 0,5 - 0,2795 = 0,2205.$$

3. Ризик отримання та опрацювання сповіщення про пожежу $\varepsilon_{о.о}$ за залежністю (19)

$$\varepsilon_{о.о} = 1 - \exp(-0,9) = 0,5934.$$

4. Ризик залучення сил і засобів гарнізону $\varepsilon_{з.с}$ за залежністю (20)

$$\varepsilon_{з.с} = 1 - \exp(-0,33 \cdot 1) = 0,281.$$

5. Ризик збору особового складу $\varepsilon_{зб}$ для слідування до місця виклику за залежністю (21)

$$\varepsilon_{зб} = 1 - \exp(-0,8) = 0,55.$$

6. Ризик прибуття (слідування) до місця виклику $\varepsilon_{сл}$ за залежністю (22)

$$\varepsilon_{сл} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{7}{10}\right)^2\right] = 0,3873.$$

7. Ризик оперативного розгортання $\varepsilon_{роз}$. Спочатку визначаємо дійсний час оперативного розгортання за залежністю (24)

$$\tau_{i.c.a} = 3,2 + 0,6 \cdot 4 + 0,1 \cdot 14 + 1,04 \cdot 2 + 0,32 \cdot 1 = 9,4 \text{ хв.}$$

Тоді ризик за залежністю (23) буде

$$\varepsilon_{i.c} = 1 - \exp\left[-(0,1 \cdot 9,4)^2\right] = 0,5867.$$

8. Ризик локалізації пожежі $\varepsilon_{лок}$. Для визначення ризику локалізації пожежі спочатку необхідно знайти дійсний час локалізації залежно від площі локалізації за залежностями (27), (29) і (30)

$$S_I = 0,5 \cdot 6,28(25,1 - 5)^2 \cdot 0,7^2 = 621,6 \text{ м}^2;$$

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot 621,6}{6,28}} = 14,1 \text{ м};$$

$$S_{ei.e} = 0,5 \cdot 6,28[14,1^2 - (14,1 - 5)^2] = 364,24 \text{ м}^2.$$

В цьому випадку дійсний час локалізації за залежністю (26) буде

$$\tau_{ei.e.a} = \frac{6,39 \cdot 364,24^{0,893}}{2 \cdot 2 + 12} \cdot 1 \cdot 1 = 77,4 \text{ хв.}$$

Тоді ризик локалізації за залежністю (25) буде

$$\varepsilon_{ei e} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{77,4}{100}\right)^2\right] = 0,451.$$

9. Ризик гасіння пожежі ε_z за залежністю (32) з урахуванням дійсного часу гасіння за залежністю (33)

$$\tau_{a.a} = 77,4 \left(\frac{621,6}{364,24} - 1 \right) = 54,7 \text{ хв};$$

$$\varepsilon_a = 1 - \exp\left[-\left(\frac{54,7}{60}\right)^2\right] = 0,564.$$

10. Ризик кінцевого гасіння пожежі $\varepsilon_{\kappa,z}$ за залежністю (34)

$$\varepsilon_{e,a} = 1 - \exp[-0,0025(77,4 + 54,7)] = 0,281.$$

Визначаємо ризик ліквідації пожежі $\varepsilon_{l,n}$ за залежністю (5)

$$\varepsilon_{e,i} = 0,067 \cdot 0,2205 \cdot 0,5934 \cdot 0,281 \cdot 0,55 \cdot 0,3873 \cdot 0,5867 \cdot 0,451 \cdot 0,564 \cdot 0,281 = 2,2 \cdot 10^{-5}.$$

Отримане для розглянутого прикладу значення ризику ліквідації пожежі знаходиться в межах середнього ризику, який має межі від 10^{-6} до $5 \cdot 10^{-5}$, і розміщується ближче до границі його максимального значення. Для зменшення значення цього ризику і переходу до незначного ризику необхідно впровадити проекти з відповідними програмами, які б давали змогу зменшувати час вільного розвитку пожежі та скорочували час її ліквідації. До таких програм можна віднести.

1. Програма, яка полягає в оптимізації площі районів обслуговування одним пожежно-рятувальним підрозділом. Така програма дає змогу скоротити час слідування до місця виклику на 2...3 хв, тобто дає можливість зменшити час вільного розвитку пожежі. Наприклад, для м. Львова така програма дала змогу зменшити збитки від однієї пожежі в середньому на 3610 грн [14].

2. Програма, яка полягає у зменшенні радіуса обслуговування одним пожежно-рятувальним підрозділом. Згідно з ДБН 360-92, радіус району обслуговування в Україні однією пожежно-рятувальною частиною, тобто одним пожежним депо, дорівнює 3 км, що становить площу території залежно від рельєфу місцевості 28...30 км².

Відомо, що в США середній час слідування пожежного підрозділу по місту до місця виклику знаходиться в межах від 2,4 хв до 5,9 хв [17]. Це в 3...5 разів менше, ніж в європейських містах та містах України. Пояснити таке швидке реагування пожежно-рятувальних підрозділів можна тим, що пожежні частини обслуговують набагато менші за площею райони міста від 1,7 км² до 6 км² території на одне депо [17]. Наприклад, зменшення радіуса обслуговування до 2 км зменшує час слідування до місця виклику на 1...1,5 хв, що зменшує в середньому збитки від однієї пожежі на 1444 грн з урахуванням витрат на будівництво додаткової кількості пожежних депо. Така програма зменшує ризик прибуття до місця виклику.

3. Для зменшення часу слідування необхідно для кожної пожежно-рятувальної частини, яка обслуговує відповідний район міста, розробити і впровадити проект з використанням інформаційних технологій для вибору оптимальних шляхів слідування в будь-який час доби до крайніх границь району обслуговування, що дозволить зменшити час слідування на 30.35%.

4. Програма, яка дає змогу зменшити ризик локалізації і гасіння пожежі, полягає в розробленні і впровадженні інформаційних технологій для кожної пожежно-рятувальної частини з метою обґрунтованого визначення сил і засобів ліквідації пожежі.

Висновки

1. Розроблений метод дає змогу мінімізувати величину ризику на всіх фазах реалізації проектів та програм системи ліквідації пожеж.

2. Проведена оцінка впливу величини ризику на всіх етапах технологічного процесу пожежогасіння, що дасть змогу підвищувати ефективність функціонування системи ліквідації пожеж.

3. Запроектована методика враховує розподіл об'єктово-інформаційних ресурсів та їх мінімізацію при управлінні ризиками в системі ліквідації пожеж на початкових стадіях підготовки проектів і програм на рівні оперативно-рятувальних служб.

4. Результати виконаної роботи дають змогу виділити основні проекти і програми для усунення слабких місць в роботі пожежно-рятувальних підрозділів і завдяки їх впровадженню значно підвищувати ефективність ліквідації пожеж.

Список літератури:

1. Бушуєв С.Д. Керівництво з питань проектного менеджменту / С.Д. Бушуєв. – К.: Українська асоціація управління проектами, 1999. – 197 с.

2. Rak Ju.P., Kvashuk V.P. Resource management and forecasting losses in the project organizational systems of civil protection. *Středoevropský Věstník pro Vědu o Vůzkm*, 2014, 2(4) 2014/ - P. 106-118.

3. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2004. – 328 с.

4. Постанова Кабінету міністрів України від 29 лютого 2012 р. № 306. – К. – 3 с.

5. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.

6. 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. – 152с.

7. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский. – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.

8. Брушлинский Н.Н., Соболев Н.Н. Математическая модель для проектирования системы противопожарной защиты города / Н.Н. Брушлинский, Н.Н. Соболев. // Управление большим городом. – М.: НПО АСУ «Москва», 1985. – с. 79-81.

9. Carter G., Chaiken I., Ignall E. Simulation model of fire department operation: design and preliminary results // *IEEE Transportation System Science and Cybernetics*, 1970, №40. – P. 282-293.

10. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики. / В.П. Бут, Б.В. Куціщій, Б.В. Болібрux – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.

11. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.:УДПО МВС України, 1995. – 14 с.

12. Решетов Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

13. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Диллон Б., Сингх Ч. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

14. Войтович Д.П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах / Автор. дис. канд. техн. наук. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – 20 с.

15. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара. / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

16. Мовчан І.О. Визначення прогнозованого часу гасіння пожежі на промислових підприємствах. / І.О. Мовчан, Е.М. Гуліда, Д.П. Войтович // Проблеми пожежної безпеки, Вип. 23, Харків, УЦЗ України, 2008. – С. 241-247.

17. Гуліда Е.М. Зменшення тривалості вільного розвитку пожежі на основі оптимізації шляху слідування пожежників до місця її виникнення / Е.М. Гуліда // Зб. наук. праць «Пожежна безпека», № 23, 2013. – Львів: ЛДУ БЖД. – С. 64-70.

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ПРОЕКТАХ И ПРОГРАММАХ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРА

Разработаны зависимости для определения риска выполнения каждой технологической операции процесса ликвидации пожара. На основании полученных зависимостей разработана математическая модель риска всего процесса ликвидации пожара. Установлено влияние составляющих риска на обеспеченность проектами и программами каждой технологической операции, которая влияет на эффективность пожаротушения. Результаты работы позволяют обнаруживать узкие места в работе пожарно-спасательных подразделений в процессе ликвидации пожара. За счет анализа факторов, которые способствуют возникновению причин, которые влияют на качество работы пожарно-спасательных подразделений, возможно их устранение для значительного повышения эффективности пожаротушения. Например, разработка проектов оптимизации границ района обслуживания и его площади для одного пожарно-спасательного подразделения, выбора оптимальных путей следования к крайним границам района обслуживания, что позволяет уменьшить время следования на 30...35%, а также автоматизированных систем расчета сил и средств ликвидации пожара.

Ключевые слова: пожар, риск ликвидации пожара, технологический процесс ликвидации пожара.

I.O. Movchan, M.I. Vasiljev

A MANAGEMENT RISKS IS IN PROJECTS AND PROGRAMS SYSTEMS OF LIQUIDATION OF FIRE

Dependences are worked out for determination of risk of implementation of every technological operation of process of liquidation of fire. On the basis of the got dependences the mathematical model of risk of all process of liquidation of fire is worked out. Influence of component risks is set on the provision of projects and programs of every technological operation that influences on efficiency extinguishing of fire. Job performances allow to find out bottlenecks in-process fire-rescue subdivisions in the process of liquidation of fire. Due to the analysis of factors, that assist the origin of reasons that influence on quality of work of fire-rescue subdivisions, their removal is possible for the considerable increase of efficiency extinguishing of fire. For example, development of projects of optimization of borders of district of service and his area for one fire-rescue subdivision, to the choice of optimal ways of the following to the extreme limits of district of service, that allows to decrease the following time on 30...35%, and also CASS of calculation of forces and facilities of liquidation of fire.

Keywords: fire, risk of liquidation of fire, technological process of liquidation of fire.

