

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

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

Проаналізовано застосування існуючих критеріїв прийняття рішень для оптимізації оперативних планів та карток пожежогасіння. Рекомендовано при розробленні планів пожежогасіння для невідповідальних об'єктів, які споряджені обладнанням низької вартості, мінімакний критерій та критерій Севіджа. Встановлено, що при розробленні оперативних планів та карток пожежогасіння, для будь-якого об'єкта найбільш доцільно використовувати різницевий критерій прийняття рішень.

Ключові слова: пожежа, критерій оптимізації, матриця прийняття рішень, збитки об'єкта від пожежі, витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі.

Постановка завдання. Головним завданням теорії прийняття оптимального рішення є вибір варіанта з множини допустимих альтернатив для прийняття того чи іншого рішення [1]. Стосовно оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння, то тут потрібно оцінити їх на відповідність умовам, які здебільшого характеризуються певними техніко-економічними та технологічними показниками, наприклад, мінімальними витратами та збитками, що пов'язані з ліквідацією пожежі, або використанням для її ліквідації оптимальної кількості сил і технічних засобів. До проектів та програм системи пожежогасіння насамперед належать оперативні плани та картки пожежогасіння.

Оперативний план – це документ, який передбачає розроблення основних питань організації процесу гасіння пожеж, які виникли на об'єктах, з використанням оптимальних оперативно-тактичних прийомів, сил і технічних засобів пожежогасіння. Оперативні плани розробляють для важливих і складних пожежонебезпечних в оперативно-тактичному відношенні об'єктів. На інші об'єкти складають картки пожежогасіння. Оперативні плани або картки пожежогасіння розробляють для відповідного об'єкта заздалегідь на підставі суб'єктивних поглядів особи, яка їх розробляє. Такий підхід до розроблення цих документів призводить до значних збитків під час ліквідації пожежі. Наприклад, в Україні за 2012 рік тільки прямі збитки від пожеж становили 856701 тис. грн [2]. Крім цього, ці збитки за статистикою з кожним роком збільшуються (у 2012 році вони збільшилися на 3,3% порівняно з 2011 роком). Такі збитки від пожеж зокрема можна пояснити розробленням на неналежному рівні оперативних планів і карток пожежогасіння, особливо щодо визначення сил і засобів ліквідації пожежі для конкретного випадку.

Головним завданням пожежно-рятувального підрозділу є зменшення до мінімуму в процесі ліквідації пожежі часу вільного горіння, від якого залежать обсяги збитків об'єкта, на якому виникла пожежа. В цьому і полягає проблема зменшення збитків від пожежі, яка залежить від якісно розробленого оперативного плану або картки пожежогасіння. Тому для кожного об'єкта необхідно розробляти декілька варіантів оперативних планів або карток пожежогасіння і на підставі їх аналізу з використанням певного, простого для розуміння, критерію оптимізації з урахуванням тактики ліквідації пожежі та мінімальних витрат як для об'єкта, так і для пожежно-рятувального підрозділу, приймати більш раціональний варіант. Але на практиці такий підхід практично не виконується. Це пов'язано з тим, що існуючі критерії дуже складні в їх визначенні і не охоплюють всіх основних чинників пожежогасіння. Тому потрібно розробити критерій, який би забезпечував вибір такого варіанта ліквідації пожежі на об'єкті, реалізація якого забезпечить мінімальні збитки об'єкта від пожежі та мінімальні витрати пожежно-рятувального підрозділу на її ліквідацію. Отже, вирішення завдання щодо визначення крите-

рію оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння (зокрема оперативних планів та карток пожежогасіння) є важливим і актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В процесі розроблення оперативних планів і карток ліквідації пожеж, а також для прийняття оптимального рішення в цьому напрямку для кожного об'єкта використовують основні положення теорії прийняття рішення. Для прийняття рішення P_{ij} його необхідно оцінити за відповідним варіантом B_i та умовами V_j , які можуть характеризуватися відповідними економічними показниками. Як зазначалося вище, такими показниками можуть бути витрати у вигляді прямих збитків об'єкта від пожежі та витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі. При цьому використовують залежність [3]

$$P_{ij} = B_{oj}(\tau) + B_{ni}(\tau), \quad (1)$$

де P_{ij} – оцінка, яка відповідає варіанту B_i за умов V_j ; $B_{oj}(\tau)$ – прямі збитки об'єкта від пожежі за умов V_j та прийнятому варіанті ліквідації пожежі B_i ; $B_{ni}(\tau)$ – витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі за i -им варіантом прийнятого рішення в j -ій ситуації розвитку пожежі.

На підставі запропонованого підходу в роботі [4] розглядають такі основні критерії: 1) мінімаксий критерій (ММ) на основі песимістичної позиції; 2) критерій Байєса-Лапласа; 3) критерій Севіджа; 4) критерій Гурвіца; 5) критерій Ходжа-Лемана; 6) критерій Гермейєра; 7) критерій добутку; 8) критерій нейтралітету; 9) оптимістичний критерій. Стосовно оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння наведені критерії також можна використовувати, але при цьому необхідно орієнтовно прогнозувати у випадку виникнення пожежі на певному об'єкті відповідну кількість сил і засобів для ліквідації пожежі та різні ситуації розвитку пожежі. Для оптимізації задачі, яка пов'язана з проектами і програмами системи пожежогасіння, такий підхід є дуже складним і необґрунтованим. Результати дослідження [4] показали, що у зв'язку з відсутністю статистичних даних для більш точного розрахунку значення P_{ij} доцільно використовувати критерій Севіджа або мінімаксий критерій (ММ) на основі песимістичної позиції. Використання цих критеріїв для прийняття рішень не завжди дає оптимальні результати, але на їх підставі можна отримати лише «достатньо» раціональні рішення.

В роботі [5] для оцінки прийняття рішення щодо ліквідації пожежі використовували різницевий критерій, який складається з двох часткових критеріїв, тобто це різниця між прямими збитками об'єкта від пожежі B_o (перший частковий критерій) та витратами пожежно-рятувальних частин B_n , які беруть участь в її ліквідації (другий частковий критерій). Ця різниця за модулем має наближатися до мінімального значення і як виняток може дорівнювати нулю, тобто можна записати

$$\left| \begin{matrix} B_o \\ \tau \in T \end{matrix} - \begin{matrix} B_n \\ \tau \in T \end{matrix} \right| \Rightarrow \min, \quad (2)$$

де T – тривалість пожежогасіння.

Таким чином, результати аналізу сучасного стану показали, що для оптимізації проектів і програм, які пов'язані з розробленням оперативних планів і карток пожежогасіння, найбільш доцільними є критерій Севіджа, мінімаксий критерій (ММ) на основі песимістичної позиції та різницевий критерій. На підставі цього висновку ставиться мета, яка полягає у виборі раціонального критерію для оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння.

Мета роботи. На підставі науково-прикладних досліджень вибрати та обґрунтувати критерій для оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння.

Вибір та обґрунтування критерію для оптимізації проектів і програм системи пожежогасіння. Для аналізу при виборі та обґрунтуванні критерію оптимізації будемо використовувати залежності (1) – (2) та залежність для визначення часу гасіння τ_T пожежі класу А [6]

$$\tau_{\Gamma} = \frac{6,39S_{\Gamma}^{0,893}}{2N_A + N_B} K_{\Pi} K_I K_d, \text{ хв} \quad (3)$$

де S_{Γ} – площа гасіння, яку можна визначити, виходячи з площі гасіння одним стволом, м^2 ; N_A, N_B – кількість пожежних стволів A і B відповідно; $K_{\Pi} = S_{\Pi}/S_{\Gamma}$ – коефіцієнт, який враховує ліквідацію всієї площі пожежі; K_I – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подачі вогнегасної речовини; K_d – коефіцієнт, який враховує використання відповідного діаметра насадки; значення коефіцієнтів K_I і K_d наведені в табл. 1.

Площу пожежі визначають за залежністю

$$S_{\Pi} = \pi R^2 \cdot K_{\phi,n}, \text{ м}^2 \quad (4)$$

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів K_I та K_d

Інтенсивність подачі вогнегасної речовини							Діаметр насадки на стволі						
$I, \text{л/м}^2 \cdot \text{с}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	$d, \text{мм}$	13	19	25	28	32	38
K_I	1,32	1,16	1,0	0,88	0,77	0,58	K_d	1,2	1,0	0,85	0,75	0,67	0,5

де $R = [5V_{\Gamma} + V_{\Gamma}(\tau_{\phi,2} - 10)]$ – радіус розповсюдження пожежі, в тому числі за перші 10 хв, м; V_{Γ} – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/хв; $\tau_{\phi,2}$ – тривалість вільного горіння, тобто вільного розповсюдження пожежі до введення в роботу перших стволів для її гасіння, хв; $K_{\phi,n}$ – коефіцієнт, який враховує форму пожежі; $K_{\phi,n} = 1$ – кругова; $K_{\phi,n} = 0,5$ – кутова (180°); $K_{\phi,n} = 0,25$ – кутова (90°).

Для визначення тривалості вільного горіння $\tau_{\phi,2}$ скористаємося залежністю

$$\tau_{\phi,2} = \tau_{\phi,8} + \tau_{cn} + \tau_{o,o} + \tau_{3,c} + \tau_{3\phi} + \tau_{cl} + \tau_{роз}, \quad (5)$$

де $\tau_{\phi,8}$ – час з моменту виникнення до виявлення пожежі, хв; τ_{cn} – час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ, хв; $\tau_{o,o}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу, хв; $\tau_{o,o} = 1$ хв (згідно з нормативними даними) [8]; $\tau_{3,c}$ – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі, хв; $\tau_{3,c} = 3$ хв (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993); $\tau_{3\phi}$ – час збору особового складу, хв; $\tau_{3\phi} = 1$ хв (згідно з нормативними даними) [8]; τ_{cl} – час слідування на пожежу, хв; $\tau_{роз}$ – час оперативного розгортання, хв; $\tau_{роз} = 6$ хв (згідно з нормативними даними) [8].

Аналізуючи залежність (5), встановлюємо, що для прогнозування часу вільного горіння $\tau_{\phi,2}$ невідомими складовими є час з моменту виникнення до виявлення пожежі $\tau_{\phi,8}$ та час слідування на пожежу τ_{cl} . Для прогнозування $\tau_{\phi,2}$ його значення можна приймати до 5 хв, а за час слідування – його середньостатистичне значення по Україні $\tau_{cl} = 12$ хв. В цьому випадку отримаємо за залежністю (5)

$$\tau_{\phi,2} = 5 + 1 + 1 + 3 + 1 + 12 + 6 = 29 \text{ хв,}$$

тобто час вільного горіння може коливатися в межах $\tau_{\phi,2} = 25 \dots 29$ хв залежно від тривалості часу виявлення пожежі та часу тривалості сповіщення диспетчеру оперативного координаційного центру. Крім цього, цей час також може бути меншим залежно від того, який буде час слідування. Для розрахунків можна приймати середнє значення $\tau_{\phi,2} = 25 \dots 28$ хв.

Лінійну швидкість розповсюдження пожежі можна приймати в межах $V_{\Gamma} = 0,5 \dots 0,8$ м/хв, що відповідає швидкості розповсюдження пожежі в спорудах житлового сектора, соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення, в яких найбільша частка виникнення пожеж (до 79,4% [2]). Для розрахунків можна приймати середнє значення $V_{\Gamma} = 0,65$ м/хв.

Для визначення **прямих збитків об'єкта** від пожежі скористаємося залежністю

$$B_o = C_o S_{\Pi}, \text{ грн} \quad (6)$$

де C_o – середня вартість одиниці площі об'єкта, на якому виникла пожежа, грн/м^2 .

Витрати пожежно-рятувальної частини B_n , яка бере участь в ліквідації пожежі, можна визначити за декілька етапів. На **першому етапі** визначимо залежність часу гасіння пожежі від кількості відділень пожежно-рятувальної частини, які беруть участь в ліквідації пожежі, з використанням залежності (3). Кожне відділення складається з чотирьох пожежників, які використовують для гасіння 1 ствол А (його обслуговує 2 пожежники) і 2 стволи Б (його обслуговує 1 пожежник). Виходячи з того, що ствол А споряджається в більшості випадків насадкою $d = 19$ мм з поверхневою інтенсивністю подачі води $I_s = 0,1$ л/(м²·с), то площа гасіння цим стволом дорівнює 74 м². Ствол Б споряджається насадкою $d = 13$ мм та за тих же умов площа гасіння одним стволом Б дорівнює 37 м². Тоді площа гасіння пожежниками одного відділення буде

$$S_{Гі} = S_{Г(1)} = 74 + 2 \cdot 37 = 148 \text{ м}^2.$$

Для визначення часу гасіння пожежі за залежністю (3) приймаємо $S_{П} = 100$ м²; коефіцієнти: $K_I = 1,32$ (табл. 1); $K_{П} = S_{П}/S_{Г} = 100/148 = 0,68$; $K_d = K_{dA} \cdot K_{dB} = 1 \cdot 1,2 = 1,2$ (табл. 1).

Результати розрахунків для певної кількості відділень пожежно-рятувальної служби зведемо у табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунки параметрів пожежі

Кількість відділень	$S_{Гі}, \text{ м}^2$	$K_{Пі}$	$\tau_{Гі}, \text{ хв}$
1	148	0,680	139,9
2	296	0,338	68,9
3	444	0,225	43,9
4	592	0,169	32,0

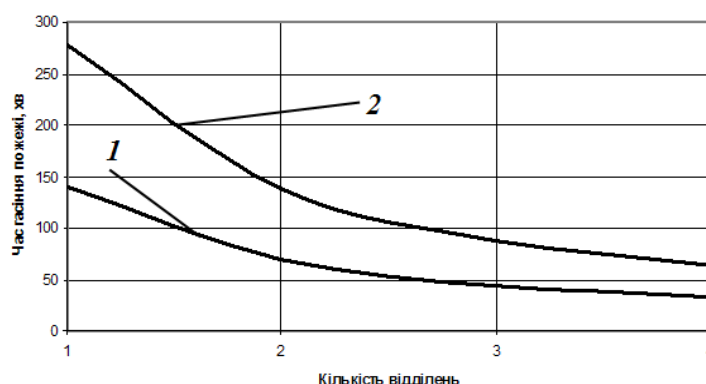


Рис. 1. Залежність часу гасіння пожежі від кількості відділень:

1 – площа пожежі $S_{П} = 100$ м²; 2 – площа пожежі $S_{П} = 200$ м²

Аналогічні розрахунки виконаємо для площі пожежі $S_{П} = 200$ м². За результатами розрахунків побудуємо графічні залежності часу гасіння пожежі від кількості пожежно-рятувальних відділень (рис. 1).

Результати аналізу отриманих залежностей показали, що час гасіння пожежі залежить обернено-пропорційно від кількості відділень і прямо пропорційно від площі пожежі. На підставі обробки отриманих результатів методом математичної статистики було отримано залежність для визначення часу гасіння пожежі від кількості відділень k_e та площі пожежі $S_{П}$

$$\tau_{Г} = 1,413 \frac{S_{П}}{k_e^{1,064}}, \text{ хв.} \quad (7)$$

На *другому етапі* визначимо витрати B_n пожежно-рятувального підрозділу, які пов'язані з гасінням пожежі. Його витрати на ліквідацію пожежі починаються з моменту виїзду відділення на пожежу до завершення процесу гасіння пожежі та повернення в частину. Ці витрати залежать від часу, який витрачається на всі технологічні операції пожежогасіння.

Для визначення витрат B_n пожежно-рятувального підрозділу на ліквідацію пожеж класу А, які характерні для житлового сектора, об'єктів соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення, були спочатку визначені витрати B_1 на одну хвилину роботи одного пожежно-рятувального відділення, які пов'язані зі слідуванням на пожежу, оперативним розгортанням, збором пожежного спорядження після ліквідації пожежі і поверненням в частину, тобто ці витрати дорівнюють $B_1 = 2,905$ грн/хв. До цих витрат увійшли: витрата паливно-мастильних матеріалів, амортизаційні відрахування від технічних засобів та зарплата відділення за час, пов'язаний з ліквідацією пожежі. В цьому випадку витрати B_{n1} відділення будуть

$$B_{n1} = 2B_1(\tau_{cl} + \tau_{poz}) = 2 \cdot 2,905(12 + 7) = 110,29 \text{ грн.} \quad (8)$$

Визначимо витрати B_2 на одну хвилину роботи одного відділення на гасіння пожежі. В цьому випадку враховуємо: витрата води на гасіння пожежі; витрата паливно-мастильних матеріалів для випадку, коли працюють всі необхідні агрегати пожежного автомобіля; амортизаційні відрахування від технічних засобів та зарплата відділення за час, пов'язаний з ліквідацією пожежі. Сумарно ці витрати становлять $B_2 = 8,317$ грн/хв. Тоді витрати B_{n2} одного відділення на гасіння пожежі будуть

$$B_{n2} = B_2\tau_{\Gamma} = 8,317\tau_{\Gamma}, \text{ грн.} \quad (9)$$

На підставі залежностей (8) і (9) визначаємо витрати одного відділення на ліквідацію пожежі

$$B_n = B_{n1} + B_{n2} = 110,29 + 8,317\tau_{\Gamma}, \text{ грн.},$$

а для k_e відділень з урахуванням залежності (7) отримаємо, при

$$k_e = \left(\frac{1,413S_{\Pi}}{\tau_{\Gamma}} \right)^{0,94}, \quad (10)$$

$$B_n = (110,29 + 8,317\tau_{\Gamma})k_e, \text{ грн.} \quad (11)$$

Розглянемо вплив тривалості процесу гасіння пожежі на витрати пожежно-рятувальних підрозділів для гасіння пожежі загальною площею 100 м^2 . Для цього за залежністю (10) визначимо кількість відділень, які необхідні для гасіння пожежі за певний час τ_{Γ} , а потім витрати B_n пожежно-рятувального підрозділу на гасіння пожежі. При $\tau_{\Gamma 1} = 21 \text{ хв} \rightarrow k_{e1} = 6$; $B_{n1} = 1709,7$ грн; при $\tau_{\Gamma 2} = 25 \text{ хв} \rightarrow k_{e2} = 5$; $B_{n2} = 1591$ грн; ...; при $\tau_{\Gamma 6} = 139,9 \text{ хв} \rightarrow k_{e6} = 1$; $B_{n6} = 1273,8$ грн. Результати цих розрахунків графічно зображено на рис. 2.

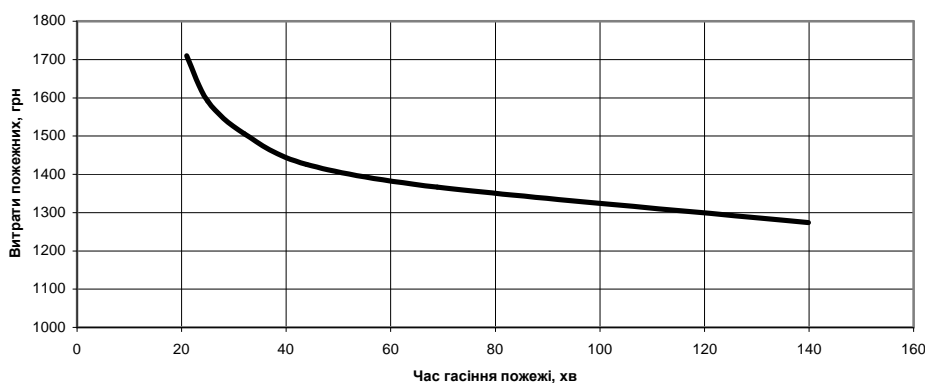


Рис. 2. Вплив тривалості гасіння пожежі на витрати пожежно-рятувального підрозділу при гасінні пожежі площею 100 м^2

Результати аналізу графічної залежності (рис. 2) показали, що при зменшенні кількості відділень k_e пожежогасіння збільшується тривалість τ_T гасіння пожежі. Обробка отриманих результатів методом математичної статистики дала змогу отримати залежність для визначення витрат пожежно-рятувальних підрозділів на гасіння пожежі залежно від тривалості гасіння τ_T з урахуванням кількості відділень k_e пожежогасіння і площі пожежі S_{II}

$$B_n = 25,42S_{II}\tau_T^{-0,1445}, \text{ грн.} \quad (12)$$

Отримана залежність (12) може використовуватися для вибору раціонального критерію оптимізації. Для визначення раціонального критерію оптимізації розглянемо приклад для: 1) *мінімаксного критерію* (ММ) на основі песимістичної позиції; 2) *критерію Севіджа*; 3) *різницевого критерію*.

Початкові умови прикладу для порівняння: пожежа виникла в адміністративному приміщенні загальною площею 1200 м^2 ; лінійна швидкість розповсюдження пожежі $V_l = 0,65 \text{ м/хв}$; пожежа кутова 90° , тобто $K_{\phi,n} = 0,25$; тривалість часу вільного горіння $\tau_{e,2} = 25 \text{ хв}$; середня вартість одиниці площі об'єкта $C_o = 10,25 \text{ грн/м}^2$; на початок гасіння пожежі за час $\tau_{e,2} = 25 \text{ хв}$ площа пожежі за залежністю (4) дорівнює $S_{II} = 132,7 \text{ м}^2$; розглянемо тривалість часу гасіння пожежі $\tau_{T1} = 40 \text{ хв}$, $\tau_{T2} = 30 \text{ хв}$, $\tau_{T3} = 20 \text{ хв}$; витрати пожежних за цей час за залежністю (12) становитимуть: $B_{n1} = 1979 \text{ грн}$, $B_{n2} = 2063 \text{ грн}$, $B_{n3} = 2188 \text{ грн}$; збитки об'єкта за залежністю (6) перед початком гасіння пожежі $B_{o0} = 1360 \text{ грн}$, після 20 хв $B_{o1} = 5432 \text{ грн}$, після 30 хв $B_{o2} = 8497 \text{ грн}$, після 40 хв $B_{o3} = 12228 \text{ грн}$.

Вибір сил і засобів для гасіння пожежі за ММ критерієм. Для цього визначаємо витрати P_{ij} за залежністю (1), які розміщуємо по діагоналі матриці від мінімальних значень до максимальних, тобто $P_{11} = B_{o1} + B_{n1} = 5432 + 1979 = 7410 \text{ грн}$; $P_{22} = 10560 \text{ грн}$; $P_{33} = 14416 \text{ грн}$. Аналогічно визначаємо значення P_{ij} для заповнення всієї матриці, яка представлена на рис. 3, за різних варіантів B_i і умов Y_j .

	Y_1	Y_2	Y_3	$P_{ij\max}$	Критерій $P_{ij\min}$
B_1	7410	11450	14610	14610	
B_2	8100	10560	14623	14623	
B_3	9423	11240	14416	14416	14416

Рис. 3. Матриця формування рішень за ММ критерієм

Правило вибору рішення у відповідності з ММ критерієм інтерпретується так:

– матриця рішень доповнюється двома стовпцями, в перший з яких заносять максимальні збитки $P_{ij\max}$, а потім з цього стовпця вибирають найменше значення, яке вказує на прийняття рішення за відповідним значенням $P_{ij\min}$ матриці;

– згідно із ММ критерієм, на пожежу необхідно відправити 8 відділень, визначених за залежністю (10), на восьми пожежних машинах АЦ-40(130)63Б, що відповідає значенню матриці P_{33} . В цьому випадку загальні збитки від пожежі будуть становити 14416 грн, а прогнозована тривалість гасіння пожежі 20 хв.

Вибраний варіант P_{33} повністю ліквідує ризик в застосуванні сил і засобів пожежогасіння. Це означає, що прийняте рішення не може бути гіршим результатом ніж те, на яке воно орієнтується.

Вибір сил і засобів для гасіння пожежі за критерієм Севіджа. Критерій Севіджа трактується як додатковий вигравш, що досягається вибором замість значення P_{ij} матриці для ММ критерію іншого значення a_{ij} , тобто розробляємо новий варіант, найбільш раціональний для цього зовнішнього стану. Для матриці визначення критерію Севіджа використовуємо дані, які були отримані для ММ критерію. В цьому випадку новий елемент матриці a_{ij} визначають в кожному стовпці матриці так

$$a_{ij} = P_{ij} - P_{ij \min}.$$

Після цього в першому додатковому стовпці матриці в кожному рядку записують найбільші значення $a_{ij \max}$, з яких у другому додатковому стовпці матриці записують найменше з першого додаткового стовпця значення, яке вказує на прийняте рішення за відповідним значенням $a_{ij \min}$ матриці. Для нашого прикладу матриця рішення за критерієм Севіджа зображена на рис. 4.

На підставі результатів аналізу матриці рішень за критерієм Севіджа (рис. 4), приймаємо варіант a_{33} , за яким необхідно відправити на пожежу 8 відділень на восьми пожежних машинах АЦ-40(130)63Б. При цьому загальні збитки від пожежі будуть становити 14416 грн, а прогнозований час гасіння пожежі 20 хв.

	Y_1	Y_2	Y_3	$a_{ij \max}$	Критерій $a_{ij \min}$
B_1	0	4040	7200	7200	
B_2	0	2460	6523	6523	
B_3	0	1817	4993	4993	4993

Рис. 4. Матриця формування рішень за критерієм Севіджа

Вибір сил і засобів гасіння пожежі за різницевим критерієм. Для вибору сил і засобів ліквідації пожежі за різницевим критерієм використовуємо залежності (6) і (12), за допомогою яких визначаємо витрати об'єкта, на якому виникла пожежа, та пожежно-рятувальних частин на ліквідацію цієї пожежі. Для об'єкта збитки від пожежі визначимо на протязі 40 хв після закінчення часу вільного горіння, за який збитки від пожежі вже склали 1360 грн, а витрати пожежно-рятувальних частин на гасіння цієї пожежі на протязі від 10 хв до 40 хв. Результати цих розрахунків зображено на рис. 5.

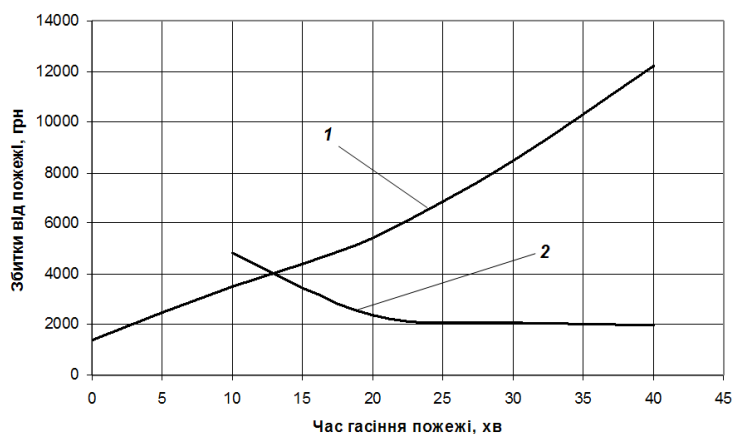


Рис. 5. Залежність збитків об'єкта від часу тривалості пожежі (крива 1) та витрат пожежно-рятувальних підрозділів від тривалості її гасіння (крива 2)

Результат аналізу графічних залежностей 1 і 2 (рис. 5) показує, що різницевий критерій, який визначається залежністю (2), буде дорівнювати нулю при тривалості гасіння 14 хв при кількості відділень 11 (залежність (10)) і загальних збитках 8000 грн.

Визначити оптимальне значення тривалості гасіння пожежі з використанням різницевого критерію можна після отримання функції на підставі суми залежностей (6) і (12). Після цього від цієї функції беремо похідну та прирівнюємо її до нуля. Перевірку мінімуму часу гасіння пожежі виконуємо завдяки визначенню зміни знака похідної зліва і справа від міні-

мального значення. Якщо знак міняється з мінуса на плюс, то значення тривалості гасіння пожежі буде мінімальним. Тепер перейдемо до визначення мінімального оптимального значення часу гасіння пожежі. Для цього записуємо значення функції y , розкривши залежність (4) для зручності диференціювання, а також замінивши позначення часу $\tau_{6,2}$ та τ_T на τ . Після цього отримуємо

$$y = C_o \pi V_n^2 \tau^2 - 10 C_o \pi V_n^2 \tau + 25 C_o \pi V_n^2 + 25,42 S_{II} \tau^{-0,1445}. \quad (13)$$

Визначаємо похідну від функції (13) та прирівнюємо її значення до нуля

$$\frac{dy}{d\tau} = 2 C_o \pi V_n^2 \tau - 10 C_o \pi V_n^2 - 3,67 S_{II} \tau^{-1,1445} = 2 C_o \pi V_n^2 (\tau - 5) - 3,67 S_{II} \tau^{-1,1445} = 0. \quad (14)$$

Тоді

$$(\tau - 5) \tau^{1,1445} = \frac{3,67 S_{II}}{2 C_o \pi V_n^2}. \quad (15)$$

Розв'язуючи методом ітерації залежність (15), отримуємо значення $\tau_T \approx 14$ хв. При цьому умова мінімуму перевірялася за залежністю (15) зі значеннями $\tau = 10$ хв і $\tau = 20$ хв. Було встановлено, що знак похідної змінюється з «-» на «+», тобто умова мінімуму підтверджена.

Результати аналізу критеріїв прийняття рішень показали, що всі вони можуть використовуватися для прийняття рішень стосовно оптимізації проектів і програм пожежогасіння (зокрема оперативних планів та карток пожежогасіння). Наприклад, мінімаксий критерій (ММ) дає змогу приймати рішення стосовно сил і засобів пожежогасіння з певним запасом, що виключає ризик у процесі ліквідації пожежі. Використання цього критерію доцільне тільки у випадках, коли об'єкт стабільний та існують варіанти виникнення пожежі, а також будуть відомі збитки залежно від площі пожежі. Критерій Севіджа має такі ж недоліки, як і мінімаксий критерій. Тому ці критерії доцільно використовувати при розробленні проектів і програм системи пожежогасіння лише для невідповідальних об'єктів, які споряджені обладнанням низької вартості.

Різницевий критерій відрізняється від ММ критерію та критерію Севіджа. Для визначення сил і засобів пожежогасіння не потрібно розробляти матриць формування рішень, а на підставі тільки двох рівнянь залежно від класу та прогнозованої площі пожежі визначити оптимальне значення часу гасіння пожежі, кількість сил і засобів пожежогасіння.

Висновки

1. На підставі аналізу критеріїв прийняття рішень при розробленні проектів і програм системи пожежогасіння встановлено, що найбільш раціональними критеріями є: мінімаксий критерій (ММ), критерій Севіджа та різницевий критерій.

2. Для розроблення планів і карток пожежогасіння можна використовувати мінімаксий критерій та критерій Севіджа лише для невідповідальних об'єктів, які споряджені обладнанням низької вартості.

3. При розробленні проектів і програм пожежогасіння для будь-якого об'єкта найбільш доцільно використовувати різницевий критерій прийняття рішень. Об'єктові збитки від пожежі, наприклад, в розглянутому прикладі за різницевим критерієм прийняття рішень на 80,2% менші порівняно з ММ критерієм і з критерієм Севіджа.

Список літератури:

1. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер // пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
2. Климаь Р. Аналіз пожеж і причин виникнення їх в Україні в 2012 році / Р. Климаь, Д. Матвійчук // Наук.-вироб. журнал «Пожежна безпека», №2, 2013. – С. 24-26.
3. Пермяков В.И. Перспективы разработки и применения экспертных систем при тушении пожаров / В.И. Пермяков, А.И. Кудин // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: МВД Украины, 1993. – С. 293-296.

4. **Кудин А.И.** Розроблення експертної системи прийняття рішень при організації гасіння пожеж // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харків: ХІПБ, 1997. – 18 с.

5. **Мовчан І.О.** Забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування / І.О. Мовчан // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харків: УЦЗУ, 2007. – 18 с.

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

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

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

И.А. Мовчан, Н.И. Васильев

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Проанализировано применение существующих критериев принятия решений для оптимизации оперативных планов и карточек пожаротушения. Рекомендуется при разработке планов пожаротушения для неотвественных объектов, снабженных оборудованием низкой стоимости, минимаксный критерий и критерий Сэвиджа. Установлено, что при разработке оперативных планов и карточек пожаротушения, для любого объекта наиболее целесообразно использовать разностный критерий принятия решений.

Ключевые слова: пожар, критерий оптимизации, матрица принятия решений, убытки объекта от пожара, расходы пожарно-спасательных подразделений на ликвидацию пожара.

I. Movchan, M. Vasiljev

SELECTION CRITERIA FOR DECISION MAKING FIRE SUPPRESSION SYSTEMS

Application of existing criteria decision-making to optimize operational plans and cards fire. Recommended when developing plans for fire fighting irresponsible objects that filled with low-cost equipment, minimax criterion and the criterion of Savage. Found that the development of operational plans and extinguishing cards for any facility most appropriate to use difference criterion decision making.

Keywords: fire, criterion of optimization, matrix of making decision, losses of object from a fire, charges of the fire-rescue subdividing into liquidation of fire.

