

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

Розглянуто особливості вибору критеріїв для вироблення ефективного управлінського рішення керівником гасіння лісової пожежі при управлінні пожежно-рятувальними підрозділами. Введено поняття різницевого критерію для оцінки наслідків ліквідації лісової пожежі. Отримано залежності, які дають змогу визначити прямі збитки від лісової пожежі та витрати пожежно-рятувальних підрозділів. Обґрунтовано ефективність використання різницевого критерію при оперативній організації процесу ліквідації лісової пожежі з метою оптимізації витрат пожежно-рятувальних підрозділів.

Ключові слова: лісова пожежа, критерії прийняття рішень, оптимізація витрат.

Вступ. Проблема охорони лісів від пожеж – одне з основних завдань природоохоронних і пожежно-рятувальних служб, яке характеризується як складністю ліквідації лісових пожеж так і значними економічними збитками. Локалізація та гасіння цих пожеж потребує як значних матеріальних, так і людських ресурсів. Що, в свою чергу, потребує заходів, спрямованих на розв'язання задач оптимального управління силами та засобами, задіяними у процесі ліквідації лісових пожеж. Як правило, для оцінки ефективності системи управління за критерій беруть ступінь досягнення заданої мети [1]. Однак можливі й інші критерії, що ґрунтуються на виборі траєкторії руху до досягнення поставленої мети [2], точності, в якій система управління підтримує процес/об'єкт на шляху до поставленої мети тощо.

Головною задачею, яку необхідно розв'язати використовуючи інструментарій теорії прийняття рішення, є визначення критерію для прийняття даного рішення [3]. Результатом прийнятого рішення P_{ij} є оцінка відповідного варіанта B_i за умов Y_j , яка характеризується відповідним економічним показником, наприклад, мінімізацією витрат. Відомо, що будь-яка пожежа завжди приносить певні витрати. В роботі [4] для оцінки наслідків ліквідації пожежі використовували сумарні витрати у вигляді прямих збитків від пожежі та витрат пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП). При цьому використовували залежність

$$P_{ij} = Y_j(\tau) + B_{П.р.і}(\tau), \quad (1)$$

де P_{ij} – оцінка, яка відповідає варіанту B за умов Y_j ; $Y_j(\tau)$ – прямі збитки від пожежі за умов Y_j та обраного варіанта ліквідації пожежі B_i ; $B_{П.р.і}(\tau)$ – витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі, згідно з i -им варіантом обраного рішення за j -ї ситуації розвитку пожежі; τ – час ліквідації пожежі.

На підставі залежності (1) запропонована матриця прийняття рішень [5], на базі якої в роботі [4] розглянуто можливості різних критеріїв прийняття рішень для визначення необхідної кількості сил і засобів для ліквідації пожежі. Автор розглядає такі основні критерії: – мінімаксий критерій (ММ) на базі песимістичної позиції; – критерій Байеса-Лапласа; – критерій Севіджа; – критерій Гермейера; – критерій Ходжа-Лемана; – критерій Гурвіца; – критерій добутку; – критерій нейтралітету; – оптимістичний критерій.

Для прийняття рішення, згідно з кожним з наведених критеріїв, необхідно в матрицю прийняття рішень додати два стовбці. В одному з них вибрати відповідні значення P_{ij} за певною методикою, а в другому – одне з найменших наведених значень, що відповідає B_i варіанту ліквідації пожежі з найменшим ризиком.

Результати досліджень показали, що у зв'язку з відсутністю статистичних даних для більш точного розрахунку значення P_{ij} доцільно використовувати критерій Севіджа або мінімаксий критерій на базі песимістичної позиції. Однак необхідно зазначити, що використання розглянутих критеріїв для розв'язання задачі прийняття рішень не завжди дає оптимальні результати. Крім цього, використання розглянутих критеріїв доволі громіздке, що пояснюється необхідністю побудови для кожного об'єкта матриці прийняття рішень з визначенням в кожному випадку відповідних значень P_{ij} та вибором найменшого з існуючих.

Метою роботи є обґрунтування критерію вибору ефективного управлінського рішення керівником гасіння лісової пожежі при організації процесу її ліквідації, що забезпечить оптимізацію витрат пожежно-рятувальних підрозділів.

Виклад основного матеріалу

Згідно із загальною класифікацією поділу критеріальних задач на класи, задачі, пов'язані з ліквідацією пожеж, належать до третього класу [6]. Тобто в нашому випадку маємо множину умов. Система має діяти за різних умов, для кожної з яких якість функціонування характеризується деяким частковим критерієм. При цьому ефективність системи визначається сукупністю величини критеріїв для кожної умови. У задачах даного класу часткові критерії мають однакову розмірність й однакову природу.

В процесі визначення витрат від лісової пожежі будемо розглядати прямі збитки, завдані безпосередньо ЛП, та витрати пожежно-рятувальних підрозділів на її ліквідацію. Пропонуємо ввести для оцінки наслідків ліквідації лісової пожежі поняття різницевого критерію, що складається з двох часткових критеріїв, тобто це різниця між прямими збитками від лісової пожежі (перший частковий критерій) та витратами пожежно-рятувальних підрозділів, які брали участь в її ліквідації (другий частковий критерій). Ця різниця за модулем має прямувати до мінімуму і як виняток може дорівнювати нулю, тобто

$$|B_{II} - B_o| \rightarrow \min, \quad (2)$$

де B_{II} – витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію ЛП залежно від тривалості її локалізації; B_o – матеріальні збитки на об'єкті залежно від площі ЛП на момент її локалізації.

У разі використання наведеного критерію ліквідація пожежі буде належати до критеріальної задачі з двома частковими критеріями. Розглянемо визначення цих часткових критеріїв.

Спочатку визначимо матеріальні збитки B_o на об'єкті залежно від початкової площі S_0 лісової пожежі на момент її виявлення та часу τ_l можливої локалізації. Протяжність крайки лісової пожежі (периметр ЛП) та її площу визначатимемо згідно з [7] за такими залежностями:

$$L_{л.п} = P = 500\sqrt{S_0} + 3,3V_{кр} \cdot \Delta\tau, \text{ м}, \quad (3)$$

де S_0 – початкова площа лісової пожежі, га; $V_{кр}$ – швидкість розповсюдження крайки лісової пожежі, м/год; $\Delta\tau$ – час розповсюдження пожежі після виявлення початкової площі пожежі S_0 , год

$$S_n = 4 \cdot 10^{-6} \cdot P^2, \text{ га}, \quad (4)$$

де P – периметр лісової пожежі, м.

В цьому випадку, з використанням залежностей (3) і (4), отримаємо

$$B_o = C_S \left[4 \cdot 10^{-6} \left(500\sqrt{S_0} + 3,3V_{кр} \cdot \tau_l \right)^2 \right], \text{ тис. грн}, \quad (5)$$

де C_S – вартість 1 га рослинного покриву лісу, тис. грн/га; S_0 – початкова площа лісової пожежі, га; $V_{кр}$ – швидкість розповсюдження крайки пожежі, м/год; τ_l – можливий час локалізації лісової пожежі, год.

Після цього визначимо витрати B_{II} пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію лісової пожежі залежно від тривалості часу τ_l її локалізації. Безумовно ці витрати в першу чергу будуть залежати від довжини утворення штучних локалізаційних бар'єрів $L_{л.б.}$ вздовж периметра лісової пожежі. В свою чергу кількість задіяних засобів і сил для ліквідації лісової пожежі залежить від швидкості $V_{кр}$ розповсюдження крайки пожежі.

Витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію лісової пожежі, залежно від тривалості її локалізації, визначатимемо на 1 км довжини утворення штучних локалізаційних бар'єрів $L_{л.б.}$ При визначенні витрат B_{II} необхідно витрати на 1 км довжини утворення штучних локалізаційних бар'єрів помножити на загальну довжину $L_{л.б.}$ км.

Зрозуміло, що витрати пожежно-рятувальних підрозділів залежать від тривалості утворення штучних локалізаційних бар'єрів, тобто чим менше відводиться часу на виконання локалізації лісової пожежі, тим будуть більшими ці витрати. Виходячи з цих положень розраховуємо необхідну кількість сил і засобів для ліквідації лісової пожежі при різних значеннях часу τ_l – її локалізації, а саме при $\tau_l = 2; 4; 6; 8$ год і відповідно витрати на виконання необхідних дій.

Розрахунок витрат пожежно-рятувальних підрозділів B_{Π} на локалізацію 1 км лісової пожежі проведемо згідно з рекомендаціями [7] та згідно з методикою оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру [8].

$$B_{\Pi} = B_1 + B_2, \text{ тис. грн}, \quad (6)$$

де B_1 – витрати ПРП на прокладання $L_{л.б.}$; B_2 – витрати на доставку сил і технічних засобів до місця пожежі.

Отримані результати для різних τ_l локалізації, а саме при $\tau_l = 2; 4; 6; 8, 10$ год наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Витрати підрозділів на локалізацію 1 км лісової пожежі

№ з/п	Час локалізації τ_l , год	Витрати на локалізацію B_1 , тис. грн	Витрати на доставляння сил і технічних засобів B_2 , тис. грн	Витрати підрозділів на ліквідацію пожежі B_{Π} , тис. грн
1	2	6,270	8,191	14,461
2	4	4,931	7,918	12,849
3	6	4,560	7,134	11,694
4	8	3,865	6,301	10,166
5	10	3,242	5,761	9,003

На підставі даних табл. 1 будемо залежність витрат B_{Π} пожежних від часу локалізації 1 км периметра лісової пожежі. Використовуючи трендові моделі, отримаємо поліноміальну залежність для визначення витрат пожежно-рятувальних підрозділів з урахуванням дійсного значення довжини периметра локалізації пожежі $L_{л.б.}$ в км.

$$B_{\Pi} = L_{л.б.} (-0,0723\tau_l^2 + 0,2269\tau_l + 12,968), \text{ тис. грн}. \quad (7)$$

Очевидно, що спільним для двох залежностей (5) та (6) є наявність τ_l – можливого часу локалізації лісової пожежі.

Для використання критерію оптимізації прийняття рішення за залежністю (2) керівник гасіння лісової пожежі (КГП) повинен на підставі відомого значення S_0 орієнтовно встановити час локалізації τ_l^* лісової пожежі. Знаючи $V_{кр}$, маючи прогнозоване значення τ_l^* визначаємо за залежністю (3) максимально можливу довжину периметра пожежі та з урахуванням існуючих (природних/штучних) бар'єрів і розривів встановлюємо прогнозоване значення довжини периметра локалізації пожежі $L_{л.б.}$. Наступним кроком визначаємо для кожного часу локалізації в межах від 1 год до τ_l^* з кроком 1 год значення B_o і B_{Π} за залежностями (5) і (7).

На практиці це еквівалентно прийняттю стратегії ліквідації ЛП, коли витрати на ліквідацію ЛП не повинні перевищувати збитків від пожежі. Процес прийняття рішення можна проілюструвати на рис. 1.

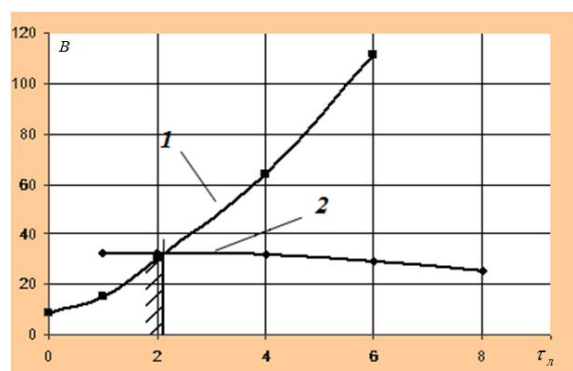


Рис. 1. Залежність витрат B_o (крива 1) та B_{Π} (крива 2) від часу локалізації τ_l при $L_{л.б.} = 2,5$ км ($S_0 = 2$ га; КГП прийняв орієнтовно $\tau_l^* = 6$ год)

На підставі результатів аналізу отриманих залежностей (рис. 1) оптимальним часом локалізації лісової пожежі для пожежно-рятувальних підрозділів є час в межах $\tau_i = 2 \dots 2,3$ год. Слід зауважити, що у даному випадку, локалізація лісової пожежі можлива й раніше, однак це призведе до зростання витрат ПРП.

Висновки. Різницевий критерій, який складається з двох часткових критеріїв, тобто є різницею між прямими збитками B_0 від лісової пожежі та витратами пожежно-рятувальних підрозділів $B_{\text{П}}$, які брали участь в її ліквідації, дає змогу керівнику гасіння лісової пожежі вибрати ефективне управлінське рішення, що забезпечить оптимізацію витрат пожежно-рятувальних підрозділів. Оперативне знаходження розв'язку цієї задачі потребує побудови відповідних алгоритмів визначення технічних засобів, сил ліквідації, а також різних основних факторів локалізації лісової пожежі з розробленням пакета прикладних програм для ПЕОМ, який дасть можливість КПП за короткий проміжок часу отримати тактичний прогноз і допоможе в складних умовах прийняти правильне рішення та обрати оптимальну стратегію пожежогасіння.

Список літератури:

1. **Шарапов О.Д.** Економічна кібернетика: навч. посібн. / О.Д. Шарапов, В.Д. Дербенцев, Д.Є. Семьонов. – К. : Вид-во КНЕУ, 2004. – 231 с.
2. **Балабанов И.Т.** Риск-менеджмент / И.Т. Балабанов. – М. : Изд-во "Финансы и статистика", 1996. – 192 с.
3. **Мушик Э.,** Методы принятия технических решений [Текст] / Э. Мушик, П.Мюллер // Перевод с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
4. **Кудин А.И.** Розроблення експертної системи прийняття рішень при організації гасіння пожеж: автореф. дис. ... канд. техн. наук. : спец. 05.13.01 / А.И. Кудин. – Харків: ХІПБ, 1997. – 18 с.
5. **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.
6. **Кіндрацький Б.І.** Рациональное проектирование машиностроительных конструкций / Б.И. Кіндрацький, Г.Т. Сулим // – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. – 279 с.
7. **Ласута Г.Ф.** Организация и тактика тушения лесных и торфяных пожаров / Г.Ф. Ласута, А.В. Врублевский, А.Д. Булва. – Минск: РЦСиЭ МЧС, 2011. – 287 с.
8. **Про затвердження** Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Постанова КМ України від 15.02.2002 № 175 / КМ України. – Офіц. вид. – К.: Вид-во КМ, 2002. – 20 с. (Бібліотека офіційних видань).

О.А. Смир

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Рассмотрены особенности выбора критериев для выработки эффективного управленческого решения руководителем тушения лесного пожара при управлении пожарно-спасательными подразделениями. Введено понятие разностного критерия для оценки последствий ликвидации лесного пожара. Получены зависимости, позволяющие определить прямые убытки от лесного пожара и расходы пожарно-спасательных подразделений. Обоснована эффективность использования разностного критерия при оперативной организации процесса ликвидации лесного пожара, с целью оптимизации расходов пожарно-спасательных подразделений.

Ключевые слова: лесной пожар, критерии принятия решений, оптимизация расходов.

FIRE-RESCUE UNITS COST OPTIMIZATION FOR FOREST FIRE SUPPRESSION PROCESS

The features of selection of the criteria for making the effective decisions by chief of the forest fires extinguishing department while managing firefighting and rescue units were analyzed. The notion of difference criterion for assessment of the forest fires liquidation aftermath was introduced. The conditions that allow identifying the direct losses from forest fires and the costs of fire and rescuing units have been outlined. The effectiveness of using the difference criterion in the operational organization of forest fire elimination to optimize the cost of fire-rescue units was justified.

Key words: forest fire, decision making criteria, costs optimization.

