

ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ЗОСЕРЕДЖЕННЯ ТА ВВЕДЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

1. Постановка проблеми

Зростання обсягу національних та міждержавних перевезень по території України та створення міжнародних коридорів для транспортування вантажів, в тому числі екологічно небезпечних, все гостріше ставить питання безпеки перевезень. З кожним роком збільшується номенклатура небезпечних вантажів, їх кількість і разом з тим, погіршується стан навколишнього середовища.

Для сталого розвитку транспортного комплексу загалом необхідне гармонійне поєднання технічного розвитку рухомого складу та інфраструктури залізниць з розвинутою системою реагування на надзвичайні ситуації, які можуть утворюватися під час перевезення небезпечних вантажів.

Гасіння пожеж на залізничному транспорті відзначається складністю в організації бойових дій пожежних підрозділів, що обумовлено великою кількістю вантажів, які мають різноманітні пожежо- та вибухонебезпечні властивості, необхідністю знеструмлення контактної мережі, складністю оцінки обстановки на пожежі, зосередженням необхідних сил та засобів тощо.

Досвід гасіння пожеж показує, що зосередження і введення сил та засобів гасіння повинно здійснюватися у найкоротший час. Це обумовлено тим, що у більшості випадків на період зосередження та введення сил і засобів пожежогасіння припадають максимальні розміри матеріальних збитків [1].

Важливою компонентою ведіння бойових дій пожежними підрозділами є задіяння необхідних сил та засобів для гасіння пожежі.

За умови, що на пожежу прибуває один підрозділ, тривалість введення сил та засобів на гасіння дорівнює тривалості його бойового розгортання, а якщо викликаються декілька підрозділів, то тривалість введення сил та засобів значно збільшується. Таким чином, тривалість введення сил та засобів характеризується проміжком часу від початку бойового розгортання першого підрозділу, який прибув для гасіння пожежі, до закінчення розгортання усіх підрозділів, що необхідні для гасіння пожежі.

У разі одночасного оповіщення усіх підрозділів, які необхідні для гасіння пожежі, тривалість введення усіх сил та засобів складається з тривалості зосередження і введення першого підрозділу, який прибув на пожежу, $\tau_{\text{зосів}1}^1$, та суми часу перевищення тривалості зосередження наступних підрозділів у відношенні до попереднього ($\tau_{\text{зосів}i+1}^1 - \tau_{\text{зосів}i}^1$). Тобто термін часу, необхідний для введення сил та засобів визначається за формулою [1]

$$\tau_{\text{в}}^1 = \tau_{\text{пов}}^1 + \tau_{\text{зосів}1}^1 + \sum_{i=1}^n (\tau_{\text{зосів}i+1}^1 - \tau_{\text{зосів}i}^1). \quad (1)$$

Якщо виклик додаткових підрозділів, які необхідні для гасіння пожежі, здійснюється з місця пожежі, то термін часу, необхідний для введення усіх сил та засобів, складається з проміжку часу, необхідного для введення підрозділів, які прибули на пожежу за першим викликом та проміжку часу, необхідного для виклику додаткових підрозділів та їх зосередження на місці пожежі. Тобто

$$\tau_{\text{в}}^{11} = \tau_{\text{в}}^1 + \tau_{\text{пов}}^{11} + \tau_{\text{зосів}1}^{11} + \sum_{i=1}^m (\tau_{\text{зосів}i+1}^{11} - \tau_{\text{зосів}i}^{11}). \quad (2)$$

З одночасним прибуттям підрозділів на місце пожежі, тривалість їх введення буде значно менше тривалості введення підрозділів, які прибули на пожежу неодноразово (рис. 1)

На тривалість введення сил та засобів впливають відстань місць встановлення пожежних поїздів та автомобілів до бойових позицій та швидкість їх розгортання.

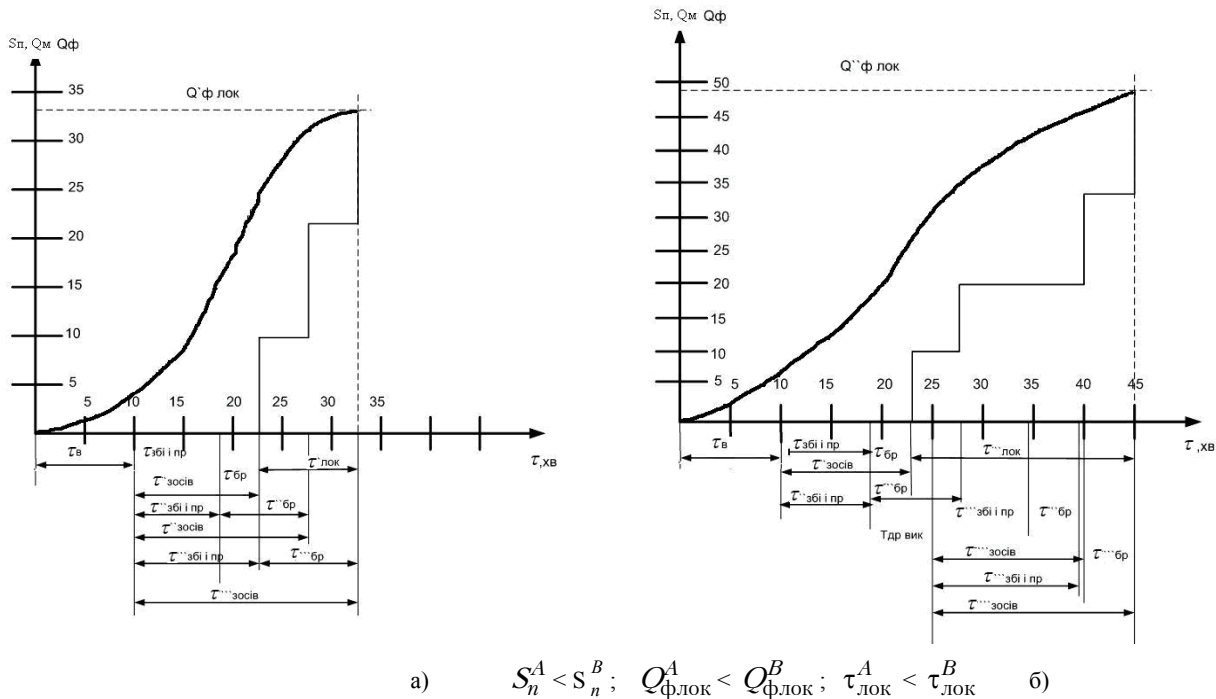


Рис. 1. Графіки довготривалості введення сил та засобів для гасіння пожежі: а) при одночасному прибутті пожежних підрозділів; б) при неодноточасному прибутті пожежних підрозділів;

S_n — площа пожежі; Q_n — необхідні витрати вогнегасних речовин пожежними підрозділами; Q_f — фактичні витрати вогнегасних речовин пожежними підрозділами; $Q'_{\text{флок}}$ — фактична кількість вогнегасних речовин, яка необхідна для локалізації пожежі; τ_v — час виклику пожежних підрозділів; $\tau_{\text{збі і пр}}$ — час збору і пересування пожежних підрозділів до місця пожежі; $\tau_{\text{бр}}$ — час бойового розгортання пожежних підрозділів; $\tau_{\text{лок}}$ — час локалізації пожежі пожежними підрозділами; $(\tau_{\text{збі пр}}^1, \tau_{\text{бр}}^1, \tau_{\text{лок}}^1)$ — відповідний час для 1-го підрозділу; $(\tau_{\text{збі пр}}^{11}, \tau_{\text{бр}}^{11}, \tau_{\text{лок}}^{11})$ — відповідний час для 2-го підрозділу; $(\tau_{\text{збі пр}}^{111}, \tau_{\text{бр}}^{111}, \tau_{\text{лок}}^{111})$ — відповідний час для 3-го підрозділу

Таким чином, велике значення в процесі гасіння пожеж на залізничному транспорті має правильна організація та тактика гасіння пожеж у рухомому складі різного призначення, зокрема визначення порядку використання сил та засобів, необхідних для гасіння пожежі.

Але коректний розв'язок такої задачі неможливо здійснити без відповідної математичної моделі. Саме тому метою даної роботи є створення математичних моделей, що оптимізують план зосередження і введення пожежних підрозділів для гасіння пожеж на об'єктах та в рухомому складі залізничного транспорту.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної задачі

Надзвичайні ситуації, які можуть виникнути на об'єктах та в рухомому складі залізничного транспорту під час перевезення небезпечних вантажів мають велику швидкість протікання і можуть призвести до значних збитків.

Тому задачам оцінки обстановки та прийняття рішення у надзвичайних ситуаціях приділяється значна увага.

В зв'язку з цим необхідна оптимізація процесів управління силами та засобами, що залучаються до ліквідації надзвичайної ситуації, для зменшення терміну часу на аналіз обстановки та прийняття обґрунтованого рішення [2].

Моделі керування силами та засобами пожежної охорони в процесі локалізації та ліквідації пожежі, які створені на основі теорії масового обслуговування з урахуванням різних інтенсивностей

надходження обробки та пріоритетності зв'язку з начальником бойової ділянки на вирішальному напрямку дій, надані у роботі [3].

Моделі прийняття рішень щодо організації розташування сил та засобів на пожежі розглядаються як n -кроковий процес прийняття рішень, що дає змогу оптимізувати термін часу введення сил та засобів на об'єкти пожежі [4].

Підхід до оптимізації схеми доставки води пересувною пожежною технікою для гасіння пожежі зведено до екстремальної задачі математичного програмування, яка дозволяє визначити процедуру вибору способу доставки води та конфігурації насосно-рукавної системи [4].

Математичні моделі імовірнісної оцінки дій пожежних підрозділів під час ліквідації пожеж на визначеному об'єкті залізничного транспорту, які базуються на теорії систем масового обслуговування та методах стохастичних мереж, дають можливість оцінити ефективність дій пожежних підрозділів з урахуванням термінів прибуття, розгортання та гасіння пожежі, а також часу до руйнування рухомого складу залізничного транспорту під дією небезпечних факторів пожежі [5].

Але у цих роботах не розглядаються питання розробки моделей такого плану зосередження пожежних підрозділів, які б мінімізували збитки від пожежі на об'єктах і в рухомому складі залізничного транспорту.

Побудові математичної моделі для розв'язку цієї задачі й присвячена дана робота.

3. Математична модель оптимізації плану зосередження пожежних підрозділів для гасіння пожежі на об'єктах та в рухомому складі залізничного транспорту

Розглянемо ситуації, які можуть виникнути в процесі зосередження та введення в дію пожежних підрозділів.

Ситуація 1. У наявності є необхідна кількість пожежних підрозділів для гасіння пожежі на всіх об'єктах.

$$\text{Тобто} \quad \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (3)$$

де a_i — кількість сил та засобів для гасіння пожежі у i -му пожежному підрозділі; b_j — кількість сил та засобів, необхідних для гасіння j -ї пожежі.

При цьому збитки від пожежі за період зосередження та введення сил і засобів менші за їх критичні значення для кожного з n об'єктів. Так для j -го об'єкта

$$\left(c_{ij} - |c_{ij} - c_{(i+1)j}| + \dots + |c_{ij} - c_{kj}| \right) < c_j^{\text{кр}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де C_{kj} — збитки від пожежі на j -му об'єкті за період зосередження та від введення сил і засобів k -го підрозділу.

Ситуація 2. У наявності є необхідна кількість пожежних підрозділів для гасіння пожежі на усіх об'єктах

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (5)$$

але збитки від пожежі за період зосередження та введення сил та засобів перевищують критичні значення для усіх об'єктів

$$\left(c_{ij} - |c_{ij} - c_{(i+1)j}| + \dots + |c_{ij} - c_{kj}| \right) > c_j^{\text{кр}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

У цій ситуації ми маємо справу з ліквідуванням наслідків пожеж після руйнування об'єктів та необхідністю визначення кількості пожежних підрозділів у нових обставинах.

Ситуація 3. Сил та засобів пожежної охорони не достатньо для гасіння усіх об'єктів, які потерпають від пожежі

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (7)$$

Така ситуація може виникнути у випадку необхідності виклику з місця пожежі додаткових підрозділів, або коли зосередження частин пожежних підрозділів неможливе з приводу того, що за період їх зосередження і введення збитки від пожежі перевищують критичні.

Ситуація 4. Відрізняється від ситуації 3 тим, що збитки від пожежі за період зосередження необхідних сил і засобів перевищують критичні. Тобто необхідно знову ідентифікувати обстановку на пожежі і визначити необхідну кількість сил та засобів для ведення бойових дій.

Ситуація 5. Кількість пожежних підрозділів, які є у наявності, перевищує необхідну кількість пожежних підрозділів для об'єктів:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad (8)$$

та збитки від пожежі за період зосередження пожежних підрозділів менші критичних значень для відповідних об'єктів.

Ситуація 6. Відрізняється від ситуації 5 тим, що збитки від пожежі за період зосередження пожежних підрозділів перевищують критичні. Таким чином необхідно ідентифікувати обстановку, яка склалась та визначити необхідну кількість сил та засобів для ведення бойових дій у новій обстановці.

Розглянемо процес зосередження та введення пожежних підрозділів на об'єкти або рухомий склад, на яких виникла пожежа, як задачу лінійного програмування транспортного типу.

У загальному вигляді задачу можна представити таким чином.

Існують m пожежних частин A_1, \dots, A_m пожежні підрозділи яких призначені для гасіння n об'єктів B_1, \dots, B_n .

Відомі збитки c_{ij} від пожежі, які сталися за період часу зосередження та введення пожежних підрозділів на об'єктах гасіння пожежі. У разі повного руйнування об'єкта j збитки складають $c_j^{кр}$.

Необхідно скласти план зосередження та введення підрозділів пожежної охорони на об'єктах так, щоб мінімізувати збитки від пожежі на період їх зосередження та введення.

Для зручності геометричної інтерпретації цієї задачі, кожен пожежну частину та об'єкт, по терпає від пожежі, представимо у вигляді вузла мережі (рис. 2).

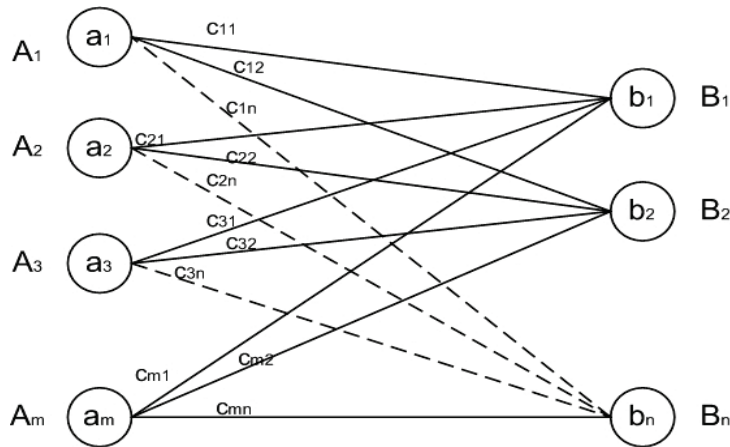


Рис. 2. Графічна інтерпретація задачі зосередження пожежних підрозділів

У вузлах мережі A_i зображена кількість пожежних підрозділів a_i , які є у відповідній пожежній частині, у вузлах мережі B_j — необхідна кількість b_j пожежних підрозділів на відповідному об'єкті.

Вузли A_i з'єднані орієнтованою дугою з вузлами B_j , над дугами показані величини збитків c_{ij} за період зосередження та введення підрозділів з усіх пожежних частин на відповідному об'єкті.

Така задача відноситься до транспортної задачі за критерієм вартості [6], тобто необхідно мінімізувати цільову функцію

$$L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} c_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{(i+1)j} (c_{ij} - c_{(i+1)j}), \quad (9)$$

де x_{ij} — кількість пожежних підрозділів з пожежної частини A_i для об'єкту B_j .

Табл. 1. є транспортною таблицею для задачі, що характеризується ситуацією 1.

Таблиця 1

$A_i \backslash B_j$	B_1	B_2	...	B_n	Наявність пожежних підрозділів, a_i
A_1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	...	c_{1n} x_{1n}	a_1
A_2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_{2n} x_{2n}	a_2
...
A_m	c_{m_1} x_{m_1}	c_{m_2} x_{m_2}	...	c_{m_n} x_{m_n}	a_m
Необхідність пожежних підрозділів B_j	v_1	v_2	...	v_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n v_j$
Критичні збитки	c_1^{kp}	c_2^{kp}	...	c_n^{kp}	

Транспортна таблиця 2 для задачі, що характеризується ситуацією 3 відрізняється від табл. 1 тим, що деякі c_{ij} у цій таблиці дорівнюють відповідним c_j^{kp} .

Таблиця 2

$A_i \backslash B_j$	B_1	B_2	...	B_n	Наявність пожежних підрозділів a_i
A_1	c_1^{kp} x_{11}	c_{21} x_{21}	...	c_{1n} x_{1n}	a_1
A_2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_n^{kp} x_{2n}	a_2
...
A_m	c_{m_1} x_{m_1}	c_2^{kp} x_{m_2}	...	c_{mn} x_{mn}	a_m
Необхідність пожежних підрозділів v_j	v_1	v_2	...	v_n	$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n v_j$

Така транспортна таблиця відповідає задачі з ситуації 3, коли зосередження частин пожежних підрозділів не може бути здійсненим.

Задачі такого типу називаються задачами з надлишком заявок [6]. Транспортна таблиця для задачі з ситуації 5 відрізняється від табл. 2 тим, що $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n v_j$.

Задачі такого типу відносяться до задач з надлишком запасів [6].

Задачі з ситуацій 2, 4 та 6 після ідентифікації обстановки, яка склалася після руйнування об'єктів та визначення необхідних сил та засобів, можуть бути описані транспортними таблицями, які наведені вище.

Методики розв'язання задач транспортно-го типу детально описані в [6], а в [7] наведені машинні алгоритми отримання опорного та оптимального планів, що розроблені на базі Mathcad.

Висновки

В роботі запропоновані математичні моделі оптимізації плану зосередження пожежних підрозділів для гасіння пожеж на об'єктах та в рухомому складі залізничного транспорту на основі транспортних задачах лінійного програмування. Критерієм оптимальності є мінімум збитків від пожежі.

Подальшим напрямком дослідження є розробка моделі, яка враховує втрати техніки та бойової обслуги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клюс П. П. та ін. Пожежна тактика: Підручник. — Х.: Основа, 1998. — 592 с.
2. Великодний В. В., Потетюєв Ю. Ф., Юхимчук С. В., Зіненко І. Ф., Кацман М. Д. та ін. Система підготовки прийняття рішень керівником при гасінні пожежі в рухомому складі // Залізничний транспорт України. — № 3 — 2003 — С. 34—36.
3. Таранцев А. А., Тимошенко А. А., Ромашкин С. А. О методах моделирования процесса управления тушением пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — № 4. — С. 47—49.
4. Громовенко О. Л. Модели принятия решений по организации расстановки сил и средств на пожаре // Пожарная безопасность. — 2002. — № 4. — С. 110—116.
5. Кацман М. Д., Юхимчук С. В. Математичні моделі оцінювання дій пожежних підрозділів при ліквідації пожеж на рухомому складі залізничного транспорту // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. — 2003. — № 3. — С. 135—142.
6. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972. — 552 с.
7. А. А. Черняк и др. Математика для экономистов на базе Mathcad — СПб.: БХВ — Петербург, 2003 — 496 с.

Рекомендована кафедрою інтелектуальних систем

Надійшла до редакції 9.11.04
Рекомендована до друку 24.11.04

Юхимчук Сергій Васильович — завідувач кафедри інтелектуальних систем,
Вінницький національний технічний університет;
Кацман Михайло Давидович — начальник відділу навчально-бойової та спеціальної підготовки служби
відомчої воєнізованої охорони Південно-Західної залізниці, м. Вінниця