

*Соболь О.М., д-р техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ,
Коссе А.Г., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Собина В.О., викл., НУЦЗУ*

РАЦІОНАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАХИСТУ РАЙОНАМИ ВИЇЗДУ ПІДРОЗДІЛІВ ВОЄНІЗОВАНОЇ ОХОРОНИ НА ЗАЛІЗНИЦІ ТА ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Розроблено математичний апарат для формалізації обмежень в задачі раціонального покриття об'єктів захисту (об'єктів залізниці) районами виїзду оперативних підрозділів. Наведено розв'язання практичної задачі щодо раціонального покриття районами захисту ділянок залізниці Первомайський – Лозова та Красноград – Лозова.

Ключові слова: райони захисту, оперативні підрозділи, об'єкти залізниці

Постановка проблеми. Основними причинами аварій та катастроф на залізничному транспорті є несправність колій, рухомого складу, засобів сигналізації, централізації та блокування, помилки диспетчерів, неуважність та халатність машиністів. Частіше всього під час аварій на залізничному транспорті відбувається схід рухомого складу з рейок, зіткнення, наїзди на перешкоди на переїздах, пожежі та вибухи безпосередньо у вагонах. Не виключаються випадки розмиву залізничних колій, обвалів, зсувів, повеней. Під час транспортування небезпечних вантажів, таких як газу, легкозаймисті, вибухонебезпечні, отруйні та радіоактивні речовини, виникають вибухи, пожежі цистерн та інших вагонів. Ліквідувати вищезазначені аварії та катастрофи досить складно. В зв'язку з цим, актуальною проблемою є підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту від наслідків надзвичайних ситуацій різного характеру. Необхідно зауважити, що рівень захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту є комплексним показником, який залежить від багатьох факторів, зокрема, від зношеності основних фондів залізниці, яка на теперішній час складає 85%, і т. ін. Не менш ва-

гомим є такий фактор, як час реагування оперативних підрозділів цивільного захисту на надзвичайні події та надзвичайні ситуації на залізниці, оскільки на період зосередження сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації (гасіння пожежі) припадає найбільша частка збитків. Це особливо характерно для надзвичайних ситуацій (пожеж), на ліквідацію наслідків яких залучаються декілька оперативних підрозділів. В зв'язку з цим, однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню проблеми підвищення рівня захищеності рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту, є раціональне покриття об'єктів захисту районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постановку задачі раціонального розміщення підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведено в роботі [1]. Загальну математичну модель даної задачі розглянуто в [2]. Особливості методу визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведено в роботі [3]. В роботі [4] розглянуто моделювання раціонального покриття ділянки залізниці районами виїзду пожежно-рятувальних підрозділів, що являють собою випуклі багатокутники.

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної роботи є розв'язання задачі раціонального покриття об'єктів захисту (об'єктів залізниці) районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці і пожежно-рятувальних підрозділів.

Математична модель визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці наведена в роботі [4]. Але слід зазначити, що в даній моделі райони виїзду оперативних підрозділів розглядалися у вигляді випуклих багатокутників. При взаємодії підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів у випадку реагування на надзвичайні ситуації, що можуть виникнути на об'єктах залізниці, райони виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні даних підрозділів, можуть, у загальному випадку, являти собою невивуклі багатокутники, а райони виїзду пожежних поїздів, що входять до складу підрозділів воєнізованої охорони на залізниці, являють собою ділянки ломаної лінії (апроксимація ділянок залізниці), що належать колу відповідного радіусу. В даному випадку математичну

модель раціонального покриття ділянок залізниці районами виїзду оперативних підрозділів можна представити у наступному вигляді

$$\min_W N, \quad (1)$$

де W

$$\begin{aligned} & \left(\bigcup_{u=1}^{N_u} L_u^0(P_{L_u,1}^0, \dots, P_{L_u, n_{L_u}}^0, L_u) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^N S_i(p_i) \right) \rightarrow \\ & \rightarrow \left(\bigcup_{u=1}^{N_u} L_u^0(P_{L_u,1}^0, \dots, P_{L_u, n_{L_u}}^0, L_u) \right); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_j, p_i, p_j) & \rightarrow 0, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad j = i + 1, \dots, N; \\ m_i & = (x_1^i, y_1^i, x_2^i, y_2^i, \dots, x_{n_i}^i, y_{n_i}^i); \\ m_j & = (x_1^j, y_1^j, x_2^j, y_2^j, \dots, x_{n_j}^j, y_{n_j}^j); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_v, p_i, p_v) & \rightarrow 0, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad v = 1, 2, \dots, N_v; \\ m_v & = (x_1^v, y_1^v, x_2^v, y_2^v, \dots, x_{n_v}^v, y_{n_v}^v); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\omega(r_k, r_l, p_k, p_l) \rightarrow 0, \quad k = 1, 2, \dots, N'; \quad l = k + 1, \dots, N'; \quad (5)$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, p_i, p^0) \rightarrow 0; \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (6)$$

$$\omega(r_k, m_{cS_0}, p_k, p^0) \rightarrow 0, \quad k = 1, 2, \dots, N'; \quad cS_0 \cup S_0 = R^2. \quad (7)$$

Тут N - кількість оперативних підрозділів, необхідних для захисту ділянок залізниці L_u^0 , $u = 1, 2, \dots, N_u$, причому $N = N' + N''$, де N' - кількість підрозділів воєнізованої охорони на залізниці, N'' - кількість пожежно-рятувальних підрозділів; m_i та m_j - метричні характеристики районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, і являють собою координати вершин невипуклих багатокутників в

Раціональне покриття об'єктів захисту районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів

локальних системах координат; $p_i(x_i, y_i)$ та $p_j(x_j, y_j)$ - параметри розміщення невидпуклих багатокутників (координати полюсів багатокутників в глобальній системі координат); m_v та $p_v(x_v, y_v)$ - метричні характеристики та параметри розміщення об'єктів заборони; r_k та r_l - радіуси кіл, що обмежують ділянки виїзду пожежних поїздів; $p_k(x_k, y_k)$ та $p_l(x_l, y_l)$ - координати центрів відповідних кіл у глобальній системі координат; m_{eS_0} та $p^0(0,0)$ - метричні характеристики доповнення області S_0 , якій належать ділянки залізниці L_u^0 , до простору \mathbb{R}^2 та параметри розміщення області S_0 , що співпадають з початком глобальної системи координат.

Таким чином, обмеження (2) описує вимогу максимального покриття об'єктів захисту районами виїзду оперативних підрозділів S_i , $i = 1, 2, \dots, N$, обмеження (3) являє собою умову мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, обмеження (4) – умова мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежно-рятувальних автомобілів, що знаходяться на озброєнні оперативних підрозділів, з об'єктами заборони, обмеження (5) являє собою умову мінімуму взаємного перетину районів виїзду пожежних поїздів, обмеження (6) та (7) описують умови належності районів виїзду оперативних підрозділів області S_0 .

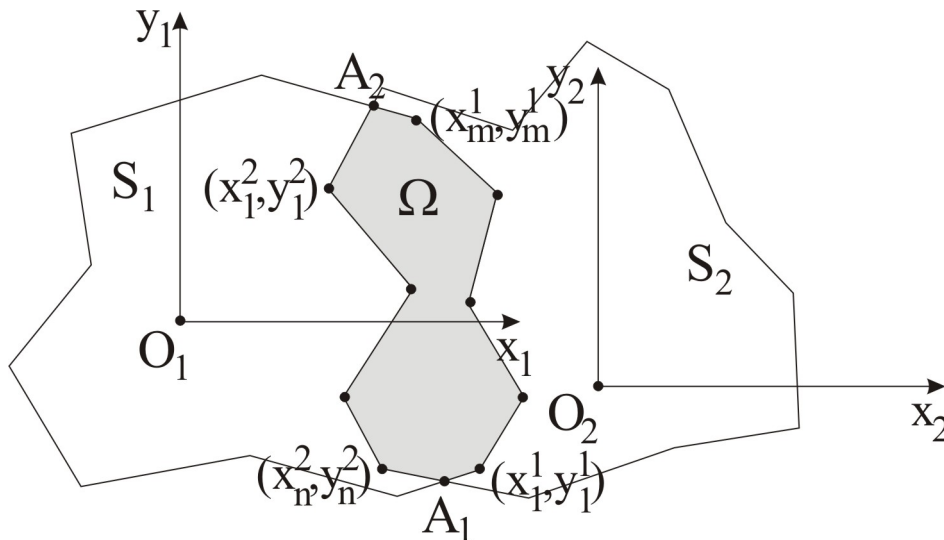


Рис. 1

Слід зауважити, що задача (1)÷(7) відноситься до класу задач оптимального покриття, а для формалізації обмежень (3)÷(7) використано ω -функції покриття [5]. Для того, щоб розробити метод розв'язання даної задачі необхідно, перш за все, представити в аналітичному вигляді зазначені ω -функції.

Розглянемо побудову ω -функції покриття для двох не випуклих багатокутників (райони виїзду пожежно-рятувальних автомобілів).

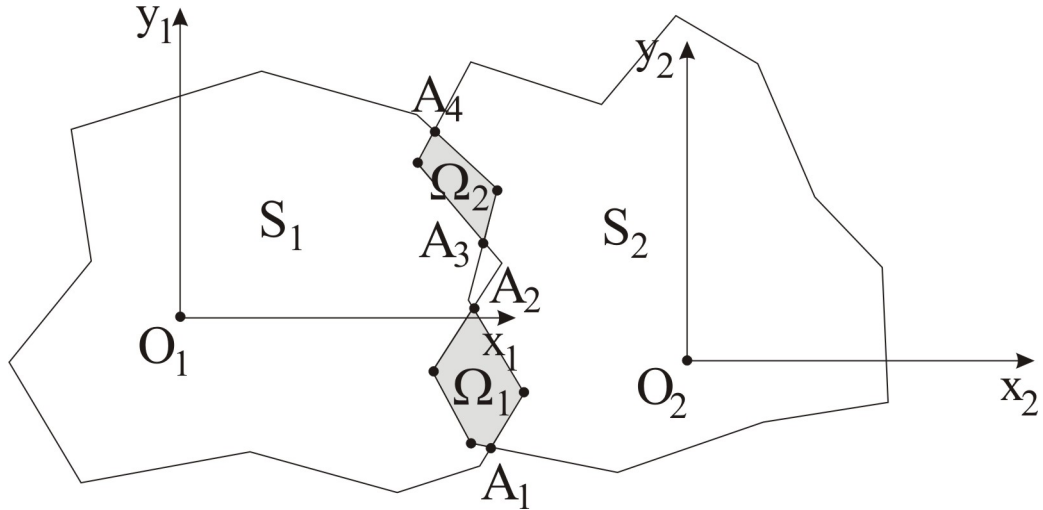


Рис. 2

Для випадку, що наведений на рис. 1, ω -функція покриття буде мати наступний вигляд

$$\omega_{\Omega} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[x_1^2 \cdot (y_n^2 - y_2^2) + \sum_{i=2}^{n-1} x_i^2 \cdot (y_{i-1}^2 - y_{i+1}^2) + \right. \\ \left. + x_n^2 \cdot (y_{n-1}^2 - y_1^2) \right], & \text{при } S_1 \cap S_2 = S_2; \\ \frac{1}{2} \left[x_{A_1} \cdot (y_{n_{A_2}}^{A_2} - y_1^{A_1}) + \dots + x_{n_{A_1}}^{A_1} \cdot (y_{n_{A_1}-1}^{A_1} - y_{A_2}) + \right. \\ \left. + x_{A_2} \cdot (y_{n_{A_1}}^{A_1} - y_1^{A_2}) + \dots \right. \\ \left. + x_{n_{A_2}}^{A_2} \cdot (y_{n_{A_2}-1}^{A_2} - y_{A_1}) \right], & \text{при } S_1 \cap S_2 \neq \emptyset; \\ 0, & \text{при } S_1 \cap S_2 = \emptyset. \end{cases} \quad (8)$$

У виразі (8) $(x_1^{A_i}, y_1^{A_i}), (x_2^{A_i}, y_2^{A_i}), \dots, (x_{n_{A_i}}^{A_i}, y_{n_{A_i}}^{A_i})$ - вершини області Ω , що обмежені точками A_i і A_{i+1} .

Для випадку, наведеного на рис. 2, ω -функція покриття буде мати наступний вигляд

$$\omega_{\Omega} = \omega_{\Omega_1} + \omega_{\Omega_2}, \quad (9)$$

де ω_{Ω_1} і ω_{Ω_2} записуються аналогічно (8).

Властивість 1. Якщо метричні характеристики об'єктів, що мають покривати певну область, є змінними, то це призводить до зміни кількості доданків у виразах (8) і (9).

Що стосується аналітичного представлення ω -функції покриття для двох кіл відповідних радіусів, то дана функція наведена в роботі [5].

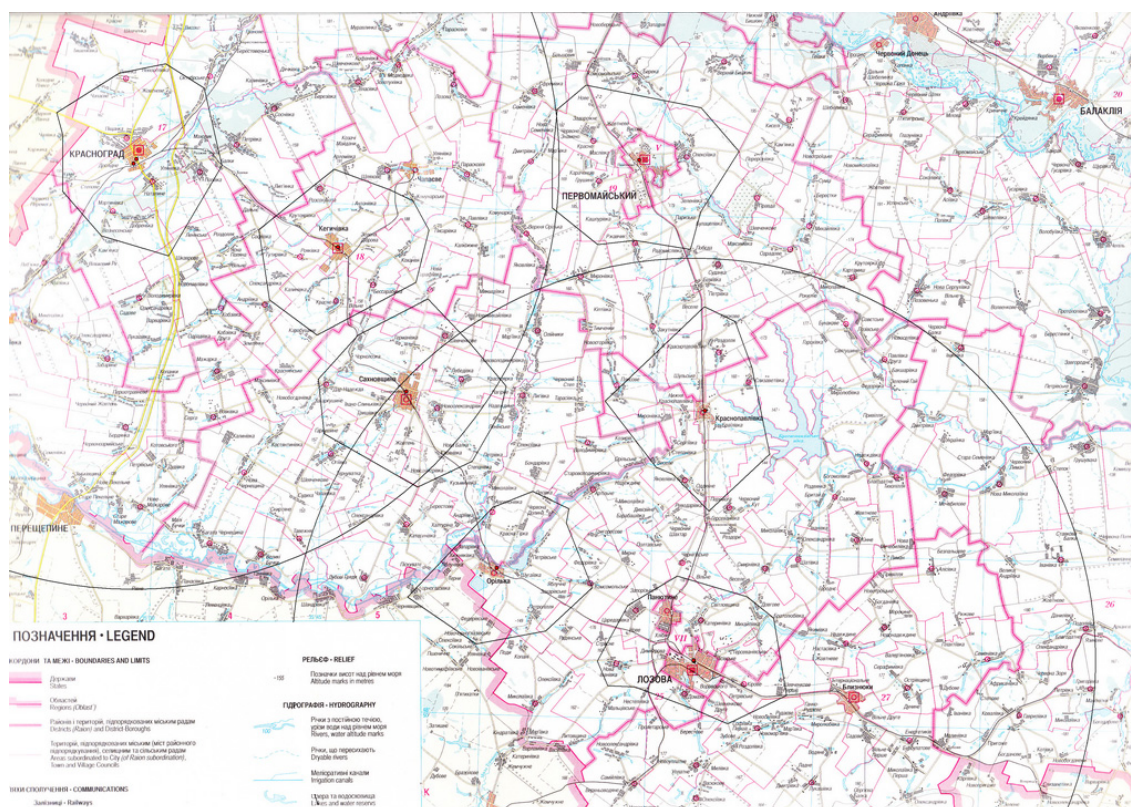


Рис. 3 – Раціональне покриття ділянок залізниці районами виїзду оперативних підрозділів

Таким чином, розроблений математичний апарат дозволив зробити висновок про те, що область припустимих розв'язків зада-

чі (1)÷(7) є дискретною. В зв'язку з цим, для розв'язання даної задачі було створено метод послідовного поодинокого покриття [3]. На основі даного методу було розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволило розв'язати практичну задачу стосовно раціонального покриття районами захисту ділянок залізниці Первомайський – Лозова та Красноград – Лозова. (рис. 3).

Слід зазначити, що враховано наявність пожежно-рятувальних підрозділів в м. Первомайський, м. Лозова, смт. Кегичівка та смт. Сахновщина, а також наявність підрозділу воєнізованої охорони на залізниці в м. Лозова. Під час розрахунків швидкість пожежно-рятувального автомобіля приймалася 30 км/год, а час прибуття пожежно-рятувального підрозділу у найвіддаленішу точку району виїзду – 20 хв. Що стосується пожежного поїзду, то його швидкість приймалася рівною 40 км/год., а час досягнення найвіддаленішої точки району виїзду (перетин кола відповідного радіусу з ділянкою залізниці) – 70 хв. (передбачається, що на відправлення зі станції відводиться до 20 хв.).

Висновки. В даній роботі наведено розв'язання задачі раціонального покриття об'єктів залізниці районами виїзду підрозділів воєнізованої охорони на залізниці та пожежно-рятувальних підрозділів. Одержані результати дозволяють зробити рекомендації про необхідність створення підрозділу воєнізованої охорони на залізниці в м. Красноград, та двох пожежно-рятувальних підрозділів в смт. Краснопавлівка та смт. Орілька (Лозівський район Харківської області). Дані рекомендації повністю відповідають положенням Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011-2015 рр. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р. № 2348-р).

ЛІТЕРАТУРА

1. Комяк В.М. Постановка задачі раціонального розміщення оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту / В.М. Комяк, О.М. Соболев, В.О. Собина // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 9. – Харків: УЦЗУ, 2009. – С. 56 – 62.
2. Комяк В.М. Загальна математична модель раціонального розміщення оперативних підрозділів для захисту рухомого складу та об'єктів залізничного транспорту / В.М. Комяк, О.М. Соболев, В.О. Собина // Вестник Херсонского националь-

- ного технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2009. – Вып. 2(35). – С. 241-246.
3. Комяк В.М. Особенности метода назначения рациональной количества та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці / В.М. Комяк, О.М. Соболев, А.Г. Коссе, В.О. Соби́на // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 11. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – С. 74-79.
 4. Соболев О.М. Моделювання рационального розміщення оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці / О.М. Соболев, В.О. Соби́на // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 12. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – С. 149-154
 5. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев.- К.: Наукова думка, 1986. - 268 с.

Соболев А.Н., Семкив О.М., Коссе А.Г., Соби́на В.А.

Рациональное покрытие объектов защиты районами выезда подразделений военизированной охраны на железной дороге и пожарно-спасательных подразделений

Разработан математический аппарат для формализации ограничений в задаче рационального покрытия железнодорожных объектов районами выезда оперативных подразделений. Приведено решение задачи рационального покрытия районами защиты участков железной дороги Первомайский – Лозовая и Красноград – Лозовая.

Ключевые слова: районы защиты, оперативные подразделения, железнодорожные объекты

Sobol O.M., Semkiv O.M., Kosse A.G., Sobina V.O.

Rational covering objects of defense by departure areas of operational subdivisions

The mathematical tools to formalize the restrictions in the problem of rational covering the railway objects by departure areas of operational subdivisions are developed. A solution the problem of rational covering the railway Pervomaysky - Lozovaya and Krasnograd – Lozova by areas of defense is given.

Key words: areas of defense, operational subdivisions, railway objects