

# СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.713

## МЕТОД ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА ЧУБ І.А., НОВОЖИЛОВА М.В.

Розглядається задача зниження рівня екологічної небезпеки системи, що містить джерела забруднення атмосфери аерозольними викидами пожежі. Описуються етапи оптимізаційного методу розв'язання задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією величини концентрації забруднюючих домішок у множині точок контролю.

**Ключові слова:** оптимальне розміщення, екологічна безпека, пожежонебезпечний об'єкт.

**Key words:** optimal placement, environmental safety, fire-hazard object.

### 1. Вступ

Одним з важливих показників ступеня ефективності управління промисловим господарством регіону як складною організаційно-технічною системою є оцінка рівня техногенної безпеки території [1,2], що обов'язково включає екологічну складову. Передумовою забезпечення прийнятного за європейськими стандартами рівня екологічної безпеки навколишнього середовища є раціональне розміщення джерел забруднення з урахуванням кліматичних факторів та суміжних рекреаційних зон. Раціональне планування забудови території проводиться на етапі проектування, і цей процес вимагає побудови оптимізаційної прогнозує моделі та визначення оптимального варіанту розміщення екологічно небезпечних об'єктів. Аналіз множини надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що сталися за останні роки на території України, показав, що значний внесок в екологічну небезпеку території вносять пожежі, які внаслідок своєї масовості та великої кількості викидів забруднюючих аерозольних та газоподібних продуктів горіння в атмосферу порушують екологічний баланс. Тому об'єктом даного дослідження є специфічний клас екологічно небезпечних об'єктів, а саме пожежонебезпечні об'єкти, пожежі на яких є джерелами забруднюючих аерозольних викидів в атмосферу. В [3-5] побудовано та досліджено оптимізаційну математичну модель розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією величини концентрації забруднюючих домішок у критичних зонах. Проведено моделювання можливої зони забруднення, показано, що задача оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів за певних умов може бути зведена до оптимізаційної задачі розміщення їх зон забруднення.

Метою даної роботи є побудова оптимізаційного аналітичного методу розв'язання задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією величини концентрації забруднюючих домішок у множині точок контролю.

### 2. Виклад основного матеріалу

Розглянемо оптимізаційну задачу розміщення множини  $S$  пожежонебезпечних об'єктів  $S = \{S_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$  в обмеженій в загальному випадку багатозв'язній області розміщення  $\Omega$ . При цьому кожен об'єкт  $S_i$  у випадку надзвичайної ситуації техногенного характеру, що супроводжується пожежею, породжує в області  $\Omega$  зону  $T_i$  забруднення атмосфери аерозольними домішками, яка апроксимується восьмикутником, орієнтованим по розі вітрів.

Тоді постановка оптимізаційної задачі є такою: визначити розміщення пожежонебезпечних об'єктів  $S_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , в області  $\Omega$ , щоб максимальна сумарна концентрація аерозольних викидів можливих пожеж у скінченній множині точок контролю  $P = \{p_\zeta\} = \{x_\zeta^p, y_\zeta^p\}$ ,  $\zeta = \overline{1, D}$ , була мінімальною, тобто знайти

$$\min_{(x_i, y_i) \in D} \max_{(x_\zeta^p, y_\zeta^p) \in P} \sum_{i=1}^N C(x_\zeta^p, y_\zeta^p, x_i, y_i, G_i, Q), \quad (1)$$

де  $C(\dots)$  – функція концентрації забруднюючих домішок, що досягається викидами з  $N$  джерел;  $G = (g_1, g_2, \dots, g_k)$  – вектор геометричних та теплофізичних параметрів пожежі;  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  – вектор параметрів, що задають природно-кліматичні умови області  $\Omega$ .

Результатом розв'язання задачі (1) є вектор

$$u = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N) \in D \subset R^{2N}$$

параметрів розміщення (координат полюсів) пожежонебезпечних об'єктів.

Область допустимих розв'язків  $D$  формується системою обмежень, яка включає геометричні обмеження на параметри розміщення об'єктів  $T_i$  і фізичні обмеження на характеристики результуючого поля  $C(\dots)$  приземних концентрацій аерозольних викидів пожежі в області  $\Omega$ .

Задача (1) є NP-повною оптимізаційною задачею умовного дискретно-неперервного програмування, тому отримання точного розв'язку за прийнятний час у загальному випадку гарантувати не можна. Отже, пропонується метод пошуку раціональних розв'язків і їх перебір, в результаті якого визначається наближене значення локального екстремуму функції мети.

Метод розв'язання оптимізаційної задачі (1) складається з таких основних етапів:

- визначення початкового варіанту розміщення пожежонебезпечних об'єктів  $S$  в області  $\Omega$ ;
- пошук вектора  $u^*$ , що відповідає локальному

мінімуму функції мети

$$F(u) = \max_{(x_{\zeta}^p, y_{\zeta}^p) \in P} \sum_{i=1}^N C(x_{\zeta}^p, y_{\zeta}^p, x_i, y_i, G_i, Q); \quad (2)$$

• перебір локальних мінімумів функції мети  $F(u)$ . При цьому виділяється рекордне значення функції мети і визначається відповідний йому вектор  $u^{**}$  параметрів розміщення об'єктів.

Розглянемо етапи методу детальніше.

Задача визначення початкового варіанту розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$  формулюється так:

знайти допустимий вектор  $u^0 = (x_1^0, y_1^0, \dots, x_N^0, y_N^0) \in D$  параметрів

розміщення об'єктів  $T_i, i = \overline{1, N}$ , в області  $\Omega$ .

Для розв'язання даної задачі використано евристичний підхід, заснований на методі послідовно-одиначного розміщення плоских орієнтованих геометричних об'єктів із змінними метричними характеристиками [6].

Таким чином, метод пошуку початкового розміщення складається з  $N$  ітерацій, і на кожній ітерації розв'язується задача виду:

$$\text{знайти: } u_i^0 \in D_{0_i} \subset R^2,$$

де підобласть допустимих рішень  $D_{0_i} \subset D$  формується обмеженнями тільки на параметри розміщення об'єкта  $S_i$ , всі інші об'єкти вважаються нерухомими.

Відзначимо, що задача визначення початкового варіанту розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$  не є оптимізаційною.

Ітераційний процес пошуку початкового розміщення об'єктів  $\{T_i\}$  в області  $\Omega$  містить таку послідовність кроків:

1. Визначення геометричних характеристик воєсьмикутників  $T_i$ , якими моделюються зони забруднення аерозольними викидами можливих пожеж на об'єктах  $S_i, i = \overline{1, N}$ .

2. Визначення послідовності розміщення джерел викидів. Джерела  $S_i, i = \overline{1, N}$ , (пожежонебезпечні об'єкти) ранжуються за величиною площі зони забруднення  $T_i$ , заданої для умов плоскої горизонтальної рівнини і параметрів вітру, що відповідає розі вітрів незбуреного метеорологічного вітру. Першим розміщується джерело, що має найбільшу площу зони забруднення.

3. Побудова допустимої області розміщення об'єкта  $T_i, i = 1, 2, \dots, N$ . Оскільки в області  $\Omega$  присутні зони заборони, то область на кожному кроці рішення є багатозв'язною. Система обмежень включає такі умови:

$$\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0) \geq 0, \quad (3)$$

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) \geq 0, \quad (4)$$

$$\Phi_{ic}(x_i, y_i, x_c, y_c) \geq 0, \quad (5)$$

$$C(x, y, u, G, Q)|_{(x,y) \in P} + C_{\Phi} \leq \text{ГДК}, \quad (6)$$

$$L_{i\mu} \geq (\leq) L_{i\mu}^*, i = \overline{1, N}, i \neq j, \mu = \overline{1, M}. \quad (7)$$

де  $\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0) - \Phi$ -функція [6] об'єкта  $T_i$  і області  $\overline{\Omega} = \text{cl}(R^2 \setminus \Omega)$ ;  $m_0$  – метричні характеристики  $\Omega$ ;  $\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) - \Phi$ -функція об'єктів  $T_i$  і  $T_j, i, j = \overline{1, N}$ ,  $C_{\Phi}$  – фонові концентрації,  $L_{i\mu}; (L_{i\mu}^*) -$

технологічні обмеження на розміщення  $S_i$  щодо елементів  $\Sigma_{\mu}$  транспортних мереж, інженерних комунікацій та максимальні (мінімальні) допустимі відстані між  $S_i$  та  $\Sigma_{\mu}$  відповідно.

При  $i = 1$  (розміщення першого об'єкта) в області  $\Omega$  відсутні інші об'єкти розміщення, тому система обмежень буде включати в себе лише умови (3), (5) – (7).

4. Визначення параметрів розміщення об'єкта  $T_i$  в області  $\Omega$ .

5. Повторення ітерацій 2 - 3 для об'єктів, що є нерозміщеними.

Перейдемо до другого етапу методу розв'язання задачі (1), а саме до визначення локального мінімуму функції мети (1). Вектор  $u^0$  параметрів розміщення об'єктів  $T_i \in$  початковою точкою алгоритму розв'язання оптимізаційної задачі (1) з обмеженнями на область  $D$  припустимих значень вигляду (3) – (7).

Для розв'язання задачі використовується схема методу мінімізації за групами змінних, що представляють собою координати полюса об'єкта  $T_i, i = \overline{1, N}$ , який має розміщуватися на поточній ітерації.

Введемо позначення:

$r$  – номер ітерації, кожна ітерація складається з  $N$  кроків, де  $N$  – число розміщуваних об'єктів;

$u_i^p = (x_i^p, y_i^p) -$  параметри розміщення об'єкта  $T_i$  на  $r$ -й ітерації;

$u^p = (u_1^p, u_2^p, \dots, u_N^p) -$  вектор координат полюсів об'єктів на  $r$ -й ітерації.

Загальна схема алгоритму наближення до локального екстремуму є такою.

Крок 1. За деяким правилом визначається об'єкт  $T_i$ , що має на  $r$ -й ітерації параметри розміщення

$$u_i^p = (x_i^p, y_i^p).$$

Крок 2. Виділяються обмеження, що формують в околі полюса об'єкта  $T_i$  область  $D_i^p$  допустимих параметрів його розміщення на  $r$ -й ітерації.

Крок 3. Визначаються нові параметри розміщення об'єкта  $T_k$ , такі, що

$$(u_1^p, u_2^p, \dots, u_k^{p+1}, \dots, u_N^p) \in D_k^p \quad i$$

$$F(u_1^p, u_2^p, \dots, u_i^{p+1}, \dots, u_N^p) \leq F(u_1^p, u_2^p, \dots, u_i^p, \dots, u_N^p).$$

Крок 4. Якщо  $u_i^{p+1} = u_i^p$ , то  $i = i + 1$ . При  $i \leq N$  здійснюється повернення до кроку 1.

Крок 5. Якщо  $u^{p+1} \neq u^p$ , то переходять до  $(p + 1)$ -ї ітерації. В іншому випадку параметри розміщення об'єктів, отримані на  $p$ -ї ітерації, вважаються розв'язком задачі.

*Зауваження 1.* Зсув об'єкта  $T_i$  (крок 3) виконується в напрямку антиградієнта функції  $F(u)$  за параметрами розміщення  $T_i$ . В цьому випадку конкретні алгоритми, що реалізують наведену загальну схему, можуть відрізнятися правилом визначення рухомого об'єкта  $T_i$  (крок 1) і вибором величини кроку його зсуву.

Розглянемо докладніше роботу алгоритму на  $p$ -ї ітерації. Вона починається з обчислення модулів градієнта цільової функції  $F(u)$  (2) за параметрами  $u$ :

$$M_i^p = |\text{grad}F(u)| = \left[ \left( \frac{\partial F(u)}{\partial x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial F(u)}{\partial y_i} \right)^2 \right]^{1/2}.$$

З причини відсутності аналітичного виразу для функції  $F(u)$  її частинні похідні по параметрах розміщення об'єктів визначаються чисельно.

*Зауваження 2.* Результируюча концентрація забруднюючої домішки від  $N$  джерел в області  $\Omega$  визначається напрямком і швидкістю приземного вітру в точках розміщення джерел.

Визначення множини  $M^p = (M_1^p, M_2^p, \dots, M_N^p)$  на  $p$ -ї ітерації супроводжується впорядкуванням компонент по зростанню. Відповідно до цього порядку відбувається зміна розміщення об'єктів з набору об'єктів  $T$ .

Припустимо, найбільше значення з множини  $M^p$  має компонента  $M_i^p$ , якій відповідає об'єкт  $T_i$ . В цьому випадку першим змінюється місце розміщення об'єкта  $T_i$ . У напрямку антиградієнта цільової функції  $F(u)$  за параметрами  $u_i^p = (x_i^p, y_i^p)$  розміщення об'єкта  $T_i$  робиться крок, який не виводить за межі  $D_i^p$  області допустимих параметрів його розміщення на  $p$ -ї ітерації.

Для цього визначається величина  $\alpha_i^p \geq 0$  така, що

$$(z_1^p, z_2^p, \dots, z_i^p - \alpha_i^p g_{ix}^p, \dots, z_N^p) \in D_i^p,$$

де  $g_k^p = \text{grad}F(u)$  за параметрами розміщення об'єкта  $T_i$  на  $p$ -ї ітерації.

Координати нового положення полюса (параметри розміщення) об'єкта  $T_i$  знаходяться із співвідношень

$$u_i^{p+1} = u_i^p - \alpha_i^p g_i^p,$$

або в проекціях  $g_{ix}^p$  і  $g_{iy}^p$  вектора градієнта  $g_i^p$  на координатні вісі:

$$x_i^{p+1} = x_i^p - \alpha_i^p g_{ix}^p, \quad y_i^{p+1} = y_i^p - \alpha_i^p g_{iy}^p.$$

Величина кроку  $\alpha_i^p$  може визначатися різними способами, однак для зручності комп'ютерної

реалізації запропонованого алгоритму величину вибираємо постійною.

Зазначений алгоритм дозволяє отримати раціональне розміщення об'єктів. Це пояснюється тим, що об'єкти розміщуються послідовно. Однак вибір такого методу розв'язання, що є модифікацією методу Гаусса-Зейделя, обумовлений особливостями даної задачі і дозволяє отримати досить хороше наближення до локального мінімуму за прийнятний час.

При цьому мінімізація в просторі розмірності  $2N$  замінюється  $N$ -кратною мінімізацією в двовимірному просторі параметрів розміщення об'єктів  $T_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Це дозволило скоротити кількість громіздких обчислень, пов'язаних з необхідністю перевірки виконання системи обмежень і зменшити число обмежень на кожному кроці оптимізації.

Значення локального мінімуму функції мети задачі (1) залежить від вектора початкового розміщення об'єктів  $u^0$ . Тому в процесі пошуку розв'язку необхідно здійснити перебір початкових точок і відповідних їм локальних мінімумів, в процесі якого знаходиться екстремальне значення функції мети і вектор  $u^{**}$  координат полюсів пожежонебезпечних об'єктів  $S_i$  ( $i$  їх зон забруднення  $T_i$ ),  $i = \overline{1, N}$ , який відповідає мінімуму максимальної концентрації викидів пожеж в точках контролю. Кількість локальних мінімумів, що перебираються, може визначатися різними шляхами, наприклад, особою, яка приймає рішення, виходячи з умов і обмежень конкретної задачі, виконання певних вимог тощо.

### 3. Висновки

Розглянуто етапи та проведено дослідження методу розв'язання оптимізаційної задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів у заданій області з урахуванням впливу небезпечних чинників можливої пожежі на навколишнє середовище та кліматичних умов, а також моделювання можливої форми зони забруднення земної поверхні викидами пожежі.

Запропонований математичний апарат програмно реалізовано та застосовано для розв'язання практичних задач реконструкції цеху з виготовлення спиртових настоїв ТОВ «Панацея», м. Запоріжжя, при проектуванні АЗС на території ЗАТ «АвтоАЗ», м. Запоріжжя, а також при реконструкції Гнідинцівського газопереробного заводу, м. Варва Чернігівської області, про що є відповідні акти впровадження.

**Література:** 1. Попов В.М., Чуб І.А., Новожилова М.В. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2(20). С. 32-41. 2. Попов В.М., Чуб І.А., Новожилова М. В. Модель адаптивной системы техно-

генной безопасности региона // Системы управління, навігації та зв'язку. 2013. Вип. 2(26). С. 120-123.

3. *Новожилова М.В., Чуб І.А.* Умовия розміщення екологічно небезпечного об'єкта з урахуванням змін геометричних характеристик області можливого забруднення // Науковий вісник будівництва. 2009. № 54. С. 240-244.

4. *Чуб І.А., Новожилова М.В., Андронов В.А.* Моделирование размещения пожароопасных объектов: минимизация загрязнения атмосферы. Харків: ІД ІНЖЕК. 2012. 133 с.

5. *Чуб І.А.* Оптимізація розміщення екологічно небезпечних об'єктів // Радиоелектроника и информатика. 2017. №3. С. 12-14.

6. *Стоян Ю. Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. К.: Наук. думка, 1986. 267 с.

#### **Transliterated Bibliography:**

1. *Popov V.M., Chub I.A., Novozhylova M.V.* Pokazately efektyvnosti regyonal'noj systemu tehnogennoj bezopasnosti // Vestnyk Komandno-ynzhenernogo ynstytuta MChS Respublyky Belarus'. 2014. № 2(20). S. 32-41.
2. *Popov V.M., Chub Y.A., Novozhylova M. V.* Model' adaptivnoj systemu tehnogennoj bezopasnosti regyona // Systemy upravlinnja, navigacii' ta zv'jazku. 2013. Vyp. 2(26). S. 120-123.
3. *Novozhylova M.V., Chub I.A.* Uslovyja razmeshhenija ekologychesky opasnogo ob'ekta s uchetom yzmenenija geometrycheskyh harakterystyk oblasti vozmozhnogo zagtjaznenija // Naukovyj visnyk budivnytva. 2009. № 54. S. 240-244.
4. *Chub Y.A., Novozhylova M.V., Andronov V.A.* Modelyrovanye razmeshhenija pozharoopasnih ob'ektov: mynymyzacyja zagrtjaznenija atmosferu. Harkiv: ID INZhEK. 2012. 133 s.
5. *Chub I.A.* Optymizacija rozmishhennja ekologichno nebezpechnyh ob'ektiv // Radioelectronics & Informatics. 2017. #3. S. 12-14.
6. *Stojan Ju. G., Jakovlev S.V.* Matematycheskые modely y optymyzacyonnue metody geometrycheskogo proektyrovanyja. K.: Nauk. dumka, 1986. 267 s.

Надійшла до редколегії 02.02.2017

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. Сізова Н.Д.

**Чуб Ігор Андрійович**, д-р техн. наук, професор, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України, м. Харків. Наукові інтереси: математичне моделювання та оптимізація структури та функціонування складних організаційно-технічних систем. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Чернишевська, 94, тел. (057) 707-34-13.

**Новожилова Марина Володимирівна**, д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: економіко-математичне моделювання та теорія та методи дослідження операцій. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Сумська, 40, тел. (057) 706-20-49.

**Chub Igor**, Doctor of Sci., Professor, Head of department of fire prevention in the settlements of the National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkov c. Research interests are mathematical modeling and optimization of the structure and functioning complex technical systems. Address: Kharkov c., st. Chernyshevskaya, 94, tel. (057) 707-34-13.

**Novozhylova Maryna**, Doctor of Sci., Professor, Head of the department of economic cybernetics and information technologies of Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Research interests are economic modeling and the theory and methods of operations research. Address: Kharkov c., Sumskaya str., 40, tel. (057) 706-20-49.