

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЧУБ І.А.

Розглядається імплементація одного з основних методів зменшення антропогенного впливу екологічно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище – раціонального розміщення джерел забруднення. Описується оптимізаційна математична модель розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією величини концентрації забруднюючих домішок у множині точок контролю та ідеологія чисельного методу розв'язання задачі. Проводяться чисельні експерименти.

### 1. Вступ

Захист навколишнього середовища є складовою частиною концепції сталого розвитку суспільства, що забезпечує потреби сучасників без шкоди для майбутніх поколінь. Серед активних методів захисту навколишнього середовища на основі технологічних рішень по створенню і застосуванню ресурсозберігаючих і маловідходних технологій, а також різних природоохоронних технологій, технічних систем і пристроїв [1] велике значення має раціональне розміщення джерел забруднення. Останній підхід відносять до методів боротьби із забрудненням, яке утворилося, що дозволяє звести до мінімуму або виключити утворення шкідливих речовин в наступних екологічних ситуаціях. Такі заходи реалізуються на етапі створення планувальних рішень, тому носять прогнозний характер та вимагають наявності арсеналу оптимізаційних моделей, що дозволяють визначити оптимальне розміщення екологічно небезпечних об'єктів з урахуванням кліматичних факторів та суміжних рекреаційних зон.

Значний внесок в екологічну безпеку території вносять пожежі, що внаслідок великої кількості викидів забруднюючих аерозольних та газоподібних продуктів горіння в атмосферу порушують екологічний баланс. Таким чином, як специфічний клас екологічно небезпечних об'єктів розглядаються пожежонебезпечні об'єкти, пожежі на яких є джерелами забруднюючих аерозольних викидів в атмосферу.

Отже, метою дослідження є побудова оптимізаційної математичної моделі розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією величини концентрації забруднюючих домішок у множині точок контролю.

### 2. Виклад основного матеріалу

Побудуємо математичну модель оптимізаційної задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів. Нехай є замкнена обмежена багатокутна область  $S_0 \subset \mathbb{R}^2$ , задана координатами її вершин  $v_\psi$ ,  $\psi = \overline{1, \Psi}$  та скінченний набір  $S$  пожежонебезпечних об'єктів  $S = \{S_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Якщо виключити з розгляду ландшафтні (лісові, степові тощо) пожежі, то їх площа набагато менша площі, на яку поширюються забруднюючі домішки. Тому в даній статті пожежонебезпечні об'єкти  $S_i$  вважаються точковими джерелами забруднюючої домішки (рис. 1).

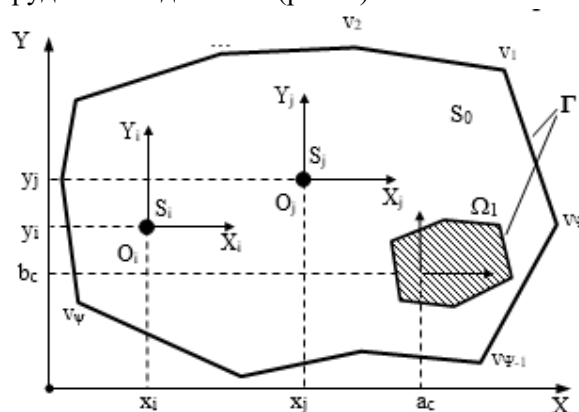


Рис. 1. Область  $S_0$  з розміщеними об'єктами  $S_1, S_2$ , зоною заборони  $\Omega_1$

В області  $S_0$  виділяється багатозв'язна область розміщення  $\Omega$  з границею  $\Gamma$  вигляду

$$\Omega = S_0 \setminus \bigcup_{c=1}^C \Omega_c,$$

де  $\Omega_c(a_c, b_c)$  – область заборони;  $(a_c, b_c)$  – фіксовані параметри розміщення,  $c = \overline{1, C}$ .

Нехай також множина пожежонебезпечних об'єктів  $S_i$  є такою, що аерозольні викиди можливих пожеж на цих об'єктах породжують в області  $\Omega$  зони забруднення  $T_i$  з границею  $\Gamma_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ . При знаходженні оптимального розміщення джерел викидів (пожежі) в області не можуть бути точно вказані значення кліматичних параметрів (напрям і швидкість вітру, умови стратифікації тощо) в момент пожежі через невизначеність часу її виникнення. У цьому випадку найбільш ймовірний напрямок вітру і його швидкість моделюються розгою вітрів, характерною для даної місцевості, а форма області забруднення – це восьмикутник.

Кожна з вершин зони забруднення відповідає одному з напрямків частин світу. У цьому випадку об'єкт  $T_i$  задається набором  $r = \{r_i^k\}$  відстаней від полюса об'єкта до його вершин  $v_i^k$  ( $x_i^k, y_i^k$ ),

$k = \overline{1,8}$ . Вектори  $\vec{r}_i^k$  орієнтовані по розі вітрів. Довжини векторів  $\vec{r}_i^k$  дорівнюють відстані від центру об'єкта  $S_i$  до точки на осі викиду, в якій досягається максимальна концентрація забруднюючої домішки в даному напрямку  $\lambda$ :

$$C(x,y)|_{(x,y) \in \Gamma_i} = \max C(x,y)|_{\lambda} = C_M|\lambda.$$

Така побудова області забруднення  $T_i$  гарантує, що за її межами концентрація домішки буде менша, ніж на границі  $\Gamma_i$ .

Тоді оптимізаційна задача розміщення  $N$  пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$  формулюється так:

*визначити таке 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  $P = \{p_\zeta\} = \{x_\zeta^p, y_\zeta^p\}$ ,  $\zeta = \overline{1,\lambda}$ , була мінімальною, тобто знайти*

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

Результатом розв'язання задачі (1) є вектор  $u = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N)$  параметрів розміщення пожежонебезпечних об'єктів.

Дана задача допускає різні трактування щодо виду функції мети, однак загальним для цього класу задач є те, що 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 приземних концентрацій аерозольних викидів пожежі в області  $\Omega$ .

Крім того, система обмежень може містити додаткові (технологічні) умови.

Геометричні обмеження на розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$  включають в себе умови належності множини об'єктів  $T_i$ ,  $i = \overline{1,N}$ , області  $\Omega$ , а також умови попарного взаємного неперетину об'єктів  $T_i$ :

$$\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0) \geq 0, \quad (2)$$

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) \geq 0, \quad i, j = \overline{1,N}, i \neq j, \quad (3)$$

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

В задачі (1) фізичним обмеженням на характер поля приземних концентрацій аерозольних викидів пожеж є умова:

$$C(x, y, u, G, Q)|_{(x,y) \in P} + C_\phi \leq \text{ГДК}, \quad (4)$$

де  $C$  – функція концентрації забруднюючих викидів, що досягається викидами з  $N$  джерел;  $C_\phi$  – фонові концентрації,  $u = (x_1, y_1, \dots, x_N, y_N)$ ,  $G = (g_1, g_2, \dots, g_k)$  – вектор фізичних параметрів пожежі;  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  – вектор параметрів, що характеризують природно-кліматичні умови області  $S_0$ .

Технологічні обмеження, що накладаються на розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$ , представляються, як правило, набором максимальних (мінімальних) допустимих відстаней  $L_{i\mu}^*$  між об'єктами розміщення  $S_i$  і елементами  $\Sigma_\mu$  транспортних мереж, інженерних комунікацій тощо:

$$L_{i\mu} \geq (\leq) L_{i\mu}^*, \quad i = \overline{1,N}, \quad \mu = \overline{1,M}. \quad (5)$$

Відзначимо основні властивості оптимізаційної задачі (1), що впливають з її математичної постановки:

**Властивість 1.** Простір параметрів, в якому визначається екстремум функції мети задачі (1), має розмірність  $2N$ , де  $N$  – число пожежонебезпечних об'єктів розміщення:  $D \subset R^{2N}$ .

**Властивість 2.** Для формалізації обмежень (4) на розподіл поля концентрації забруднюючої домішки розв'язок крайової задачі математичної фізики представляється як функція параметрів  $u, G$  і  $Q$ .

Наведемо основні етапи методу розв'язання оптимізаційної задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів.

Через складність оптимізаційної задачі (1) – (5) не доводиться розраховувати на можливість отримання точного розв'язку. Тому пропонується метод пошуку раціональних рішень і їх перебір, в результаті якого визначається наближене значення локального екстремуму функції мети. Метод розв'язання оптимізаційної задачі (1) – (5) 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

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

- 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 розв'язання тестової задачі.

Нехай дана область  $\Omega$  розміщення з кусково-лінійною границею  $\Gamma$  (модель території нафтобази, де  $\Gamma_s$  є границею санітарно-захисної зони) і п'ять пожежонебезпечних об'єктів  $S_i$ ,  $i = \overline{1,5}$ . Як об'єкти  $S_i$  обрані резервуари з різними нафтопродуктами. Параметри об'єктів зведені в табл. 1. Характеристики метеорологічних умов в області  $\Omega$  дані в табл. 2.

Таблиця 1. Характеристики пожежонебезпечних об'єктів

№ об'єкта, $i$	Пальна речовина	Діаметр резервуару, м	Висота резервуару, м	Площа горіння, $m^2$
1	Бензин	5	6	19,63
2	Бензин	5	6	19,63
3	Гас	4	5	12,56
4	Дизельне паливо	5	6	19,64
5	Мазут	6	8	28,27

Таблиця 2. Кліматичні умови в області  $\Omega$

Напрямок вітру	Пн	Пн-С	С	Пд-С	Пд	Пд-З	З	Пн-З
Середня швидкість вітру, м/с	3,9	4,2	4,4	4,2	3,3	3,2	3,3	3,9

Задача оптимізації розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області  $\Omega$  є такою: необхідно в області  $\Omega$  знайти таке розміщення пожежонебезпечних об'єктів  $S_i$ ,  $i = \overline{1,5}$ , щоб максимальне значення концентрації аерозольних викидів пожеж (в разі їх виникнення) на границі  $\Gamma_s$  санітарно-захисної зони було мінімальним:

$$\min_{(x_i, y_i) \in D} \max_{(x, y) \in \Gamma_s} \sum_{i=1}^N C(x, y, x_i, y_i, G_i, Q) \quad (6)$$

Розв'язання задачі (6) здійснюється наближеним ітераційним методом пошуку раціональних рішень. Графічне представлення результатів розрахунків дано на рис. 2.

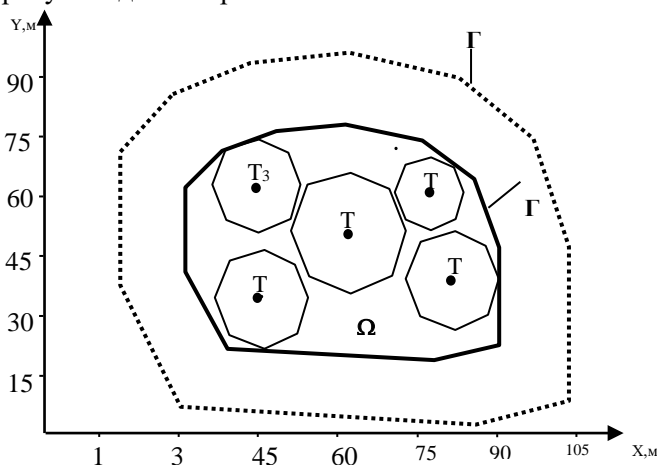


Рис. 2. Раціональне розміщення джерел забруднюючої домішки в області  $\Omega$

### 3. Висновки.

Проведено моделювання можливої форми зони забруднення земної поверхні викидами пожежі. Показано, що можлива зона забруднення моделюється восьмикутником, кожна з вершин якого відповідає одному з напрямків частин світу. Розрахунок ліній рівних концентрацій проводиться на основі середньорічного значення швидкості вітру регіону по кожному з напрямків.

Запропоновано метод розв'язання оптимізаційної задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів у заданій області з урахуванням впливу небезпечних чинників можливої пожежі на навколишнє середовище та кліматичних умов. Виконано чисельне дослідження задачі.

**Література:** 1. *Ветошкин А.Г.* Основы инженерной защиты окружающей среды. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 456 с. 2. *Стойан Ю. Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. К.: Наук. думка, 1986. 267 с. 3. *Новожилова М.В., Чуб І.А.* Условия размещения экологически опасного объекта с учетом изменения геометрических характеристик области возможного загрязнения // Научный вестник строительства. 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.

#### Transliterated bibliography:

1. *Vetoshkin A.G.* Osnovy inzhenernoy zaschityi okruzhayuschey sredyi. M.: Infra-Inzheneriya, 2016. 456 s.
2. *Stoyan Yu. G., Yakovlev S.V.* Matematicheskie modeli i optimizatsionnyie metodyi geometricheskogo proektirovaniya. K.: Nauk. dumka, 1986. 267 s.
3. *Novozhilova M.V., Chub I.A.* Usloviya razmescheniya ekologicheskii opasnogo ob'ekta s uchedom izmeneniya geometricheskiih harakteristik oblasti vozmozhnogo zagryazneniya // Nauchyiy vIstnik budIvnitstva. 2009. # 54. S. 240-244.
4. *Chub I.A., Novozhilova M.V., Andronov V.A.* Modelirovanie razmescheniya pozharoopasnyih ob'ektov: minimizatsiya zagryazneniya atmosferyi. HarkIv: ID INZhEK. 2012. 133 s.

Надійшла до редколегії 20.01.2017

**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, оптимізація структури та функціонування складних організаційно-технічних систем. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Чернишевська, 94, тел. (057) 707-34-13.

**Chub Igor Andreevich**, Dr. of Tech. Sciences, professor, head of department, fire prevention in settlements department, National University of Civil Defense, Ukraine, Kharkiv. Scientific interests: mathematical modeling and optimization of the structure and functioning of complex organizational and technical systems. Address: Ukraine, 61000, Kharkov, street Chernyshevskaya, 94, tel. (057) 707-34-13.