

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ
ПОЖЕЖІ ШЛЯХОМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ
ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

І. А. Чуб

НУ цивільного захисту України, м. Харків, Україна

Побудовано математичну модель визначення рівня забруднення атмосферного повітря аерозольними продуктами горіння та його зниження шляхом оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів, що є одним з ефективних методів зниження негативного впливу на навколишнє середовище викидів пожеж та підвищення загального рівня екологічної безпеки території. Задача оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів зводиться до задачі визначення оптимального розміщення відповідних зон забруднення. Визначено основні типи обмежень розглядуваної оптимізаційної задачі.

Ключові слова: пожежонебезпечний об'єкт, оптимальне розміщення, аерозольні викиди пожежі.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності та інтенсивності господарської діяльності людини нерозривно пов'язане з посиленням його впливу на навколишнє середовище, появою нових небезпек і зростанням негативного екологічного впливу. Як показують дослідження (Kolektyv avtoriv, 2016), пожежі стали одним з чинників погіршення екологічної обстановки в Україні. Насамперед це стосується продуктів горіння, що викидаються в атмосферу, і є газоподібними і аерозольними забруднювальними домішками.

Одним з ефективних методів зниження негативного впливу на навколишнє середовище викидів пожеж та підвищення загального рівня екологічної безпеки території є оптимальне розміщення пожежонебезпечних об'єктів у регіоні. Для розв'язання вказаної задачі потрібне кількісне визначення рівня забруднення атмосферного повітря продуктами горіння.

Мета роботи – побудова математичної моделі визначення рівня забруднення атмосферного повітря аерозольними продуктами горіння та його зниження шляхом оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів.

Аналіз існуючих публікацій. На сьогодні в Україні немає затвердженої методики оцінювання впливу на навколишнє середовище можливої пожежі, хоча потребу подібних прогнозів закладено в низці нормативно-правових документів (Proektuvannja, 2004; Zakon Ukrainy, 2001). Аналізуючи наукову літературу, з'ясовано, що абсолютна більшість авторів розвивають методологію математичного та комп'ютерного моделювання процесів негативного екологічного впливу пожеж з тим або іншим ступенем урахування динаміки атмосферних процесів і конкретних метеорологічних умов (Beljaev, 2000; Novozhilova, Reznikova, & Rasuk, 2002). Проте виявлено невелику кількість публікацій з моделювання і рішення більш загальної задачі оптимізації параметрів (зокрема і параметрів розміщення) об'єктів з джерелами викидів шкідливих речовин в атмосферу з урахуванням геокліматичних факторів (Chub, & Morshh, 2004).

Виклад основного матеріалу. Нехай є деяка замкнута область $\mathfrak{X} \subset R^3$, що містить N об'єктів S_i , на кожному з яких може виникнути пожежа. У цьому випадку об'єкт буде джерелом забруднення атмосфери,

що викидає на висоту H_i з інтенсивністю M_i аерозольні продукти горіння, $i = 1, 2, \dots, N$. В області \mathfrak{X} можуть бути присутні деякі зони (екологічно значущі зони), рівень забруднення в яких жорстко регламентується. Розміщення об'єктів S_i в них не допускається. Моделями розглянутих зон можуть бути нерухомі області заборони K_j ($j = 1, 2, \dots, P$) із заданою просторовою формою. Розміщення джерел забруднення допускається в деякій підобласті Ω області \mathfrak{X}

$$\Omega = \left(\mathfrak{X}^* \setminus \bigcup_{j=1}^P K_j \right),$$

де область \mathfrak{X}^* – проекція області \mathfrak{X} на R^2 , тобто $\mathfrak{X}^* = \text{Pr}_{R^2} \mathfrak{X}$.

Зв'яжемо область Ω з нерухомою системою координат XOY , а кожен пожежонебезпечний об'єкт S_i – із рухомою (власною) системою координат $X_iO_iY_i$. Позначимо через (x_i, y_i) параметри положення системи координат $X_iO_iY_i$ (параметри розміщення) відносно системи XOY , $i = 1, 2, \dots, N$. У цьому випадку розміщення множини об'єктів S в області Ω визначається вектором Z виду

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

Кількісною характеристикою забруднення області \mathfrak{X} продуктами горіння є їх концентрація C , яка є функцією просторових координат (x, y, z) точок \mathfrak{X} , часу t , параметрів розміщення джерел забруднення, характеристик пожежі, а також метеорологічних умов в області розміщення (Chub, & Morshh, 2003). У цій роботі пожежу розглядаємо на заключній стадії свого розвитку, коли інтенсивність викиду продуктів горіння $M = \text{const}$, а концентрація продуктів горіння в атмосфері відповідає сталому значенню і не залежить від часу. Далі розглядатимемо концентрацію з продуктів горіння на земній поверхні, тому можна вважати, що вона не залежить від висоти z (область $\Omega \subset R^2$)

$$c = C(x, y, Z, G, Q),$$

де: $G = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$ – множина фізичних параметрів пожежі; $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$ – множина параметрів, які характеризують природно-кліматичні умови в \mathfrak{X} (Chub, Morshh., & Pustovarov, 2002).

Концентраційне поле забруднювальних викидів пожежі визначали як розв'язок рівняння турбулентної дифузії з постійними коефіцієнтами (Berljand, 1975).

Отже, концентрація аерозольних викидів, що визначає величину рівня забруднення, залежить від розміщення джерел забруднювальних викидів (пожеж). Це призводить до потреби розв'язання задачі оптимізації розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області Ω .

Як показано в (Chub, & Morshh, 2004), задача оптимізації розміщення скінченного набору $S = \{S_i\}$ пожежонебезпечних об'єктів, що є джерелами забруднювальних аерозольних викидів, у заданій області Ω зводиться до задачі розміщення відповідних зон забруднення T_i . Зона T_i через невизначеність часу виникнення пожежі видається як багатокутник, побудований на розі приземного вітру, характерної для даної місцевості. Границя Γ_K отриманого восьмикутника P_K – це лінія, в кожній точці якої досягається максимальна концентрація домішки в певному напрямку λ

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

Така побудова області забруднення гарантує, що за її межами концентрація домішки буде менша, ніж на границі (рис.).

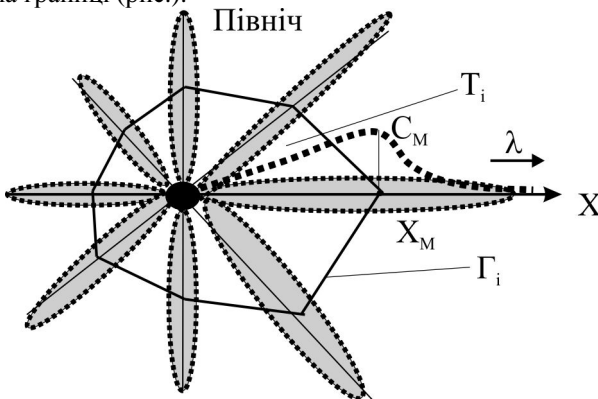


Рис. Модель зони забруднення у вигляді восьмикутника

Під час побудови моделі форми зони забруднення викидами пожежі було зроблено такі допущення:

- область Ω – плоска горизонтальна рівнина, рельєф відсутній;
- у межах області Ω роза приземного вітру не змінюється.

Урахування зазначених припущень дає змогу моделювати форму всіх зон забруднення подібними восьмикутниками, відповідні сторони яких паралельні. Зміна положення джерела призводить до зміни положення пов'язаної з ним зони забруднення без зміни її форми і метричних характеристик. Це дає змогу звести задачу розміщення джерел забруднювальної домішки до оптимізаційної задачі розміщення орієнтованих восьмикутних зон забруднення в області Ω .

Постановка оптимізаційної задачі розміщення пожежонебезпечних об'єктів в області Ω з урахуванням параметрів можливої пожежі і кліматичних умов області має такий вигляд:

необхідно в заданій області Ω знайти таке розміщення множини пожежонебезпечних об'єктів S_i ($i = 1, 2, \dots, N$), щоб рівень забруднення в екологічно значущих зонах K_j ($j = 1, 2, \dots, p$) не перевищував встановленого рівня, і сумарна концентрація аерозольних викидів пожежі (в разі його виникнення) на межі Γ області Ω була мінімальною:

$$\min_{Z \in W} \max_{(x, y) \in \Gamma} C(x, y, Z, G, Q) \quad (1)$$

Результатом розв'язання задачі (1) є вектор $Z = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$ параметрів розміщення пожежонебезпечних об'єктів (полісів об'єктів T_i).

При цьому на розміщення об'єктів T_i і на результуюче концентраційне поле накладається система геометричних та фізичних обмежень W (Beljaev, 2000).

Геометричні обмеження:

- умови, що визначають взаємне розміщення об'єктів S_i і S_j , $i \neq j$;
- умови, що визначають взаємне розміщення об'єктів S_i і нерухомих областей заборони K_j ;
- умови приналежності об'єктів S_i області розміщення Ω .

Для формалізації геометричних обмежень використано апарат Ф-функції двох геометричних об'єктів (Chub, Morshh, & Pustovarov, 2002). Фізичне обмеження: сумарне значення концентрації аерозольних викидів пожеж у заданій системі точок контролю має не перевищувати ГДК.

Аналітичний опис фізичних обмежень ґрунтується на результатах параметризації концентраційного поля в області Ω (Novozhilova, Reznikova, & Pacuk, 2002).

Висновки. Використання запропонованої математичної моделі і методу оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів на стадії розроблення генеральних планів і планів реконструкції промислового підприємства дає змогу мінімізувати негативний екологічний вплив можливої пожежі і цим самим підвищити загальний рівень техногенної (екологічної та пожежної) безпеки регіону.

Перелік використаних джерел

- Beljaev, N. N. (2000). *Prognozirovanie kachestva vozduшной sredy metodom vychislitel'nogo jeksperimenta*. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, p. 208. [in Russian].
- Berljand, M. E. (1975). *Sovremennye problemy atmosfernoї diffuzii i zagrjaznenija atmosfery*. Leningrad : Gidrometeoizdat, p. 448. [in Russian].
- Chub, I. A., & Morshh, E. V. (2003). Parametrizacija koncentracionnogo polja ajerozolnyh vybrosov pozhara. *Problemy pozharnoj bezopasnosti*, 13, pp. 159–162. [in Russian].
- Chub, I. A., & Morshh, E. V. (2004). Modelirovanie razmeshhenija pozharoopasnyh obektov s uchetom opasnyh faktorov vozmozhnogo pozhara. *Problemy pozharnoj bezopasnosti*, 15, pp. 224–227. [in Russian].
- Chub, I. A., Morshh, E. V., & Pustovarov, V. E. (2002). Modelirovanie vlijanija pozhara na okruzhajushhujuju sredu. *Sistemi obrob-lennja informacii*, 5(21), pp. 174–176. [in Russian].
- Kolektyv avtoriv. (2016). *Nacionalna dopovid pro stan tehno-gennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini u 2015 roci*. Kyiv: UkrNDICZ, p. 359.
- Novozhilova, M. V., Reznikova, S. Yu., & Pacuk, V. N. (2002). Modelirovanie proizvodstvennyh sistem s uchetom jekologichesk-kih faktorov pri nalichii trass kommunikacij. *Vestnik HGPU*, 10, pp. 105–110. [in Russian].
- Proektuvannja. (2004). *Skhad, porjadok rozroblennja, pogodzhennja ta zatverdzhennja proektnoi dokumentacii dlja budivnytva*: DBN A.2.2 3-2004. Ofic. vyd. Kyiv: Derzhbud Ukrainy, p. 31. [in Ukrainian].
- Zakon Ukrainy. (2001). *Pro objekty pidvyshhenoi nebezpeky*. Ofic. vyd. Kyiv: VR Ukrainy, p. 43. [in Ukrainian].

И. А. Чуб

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ ПОЖАРА ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Приводится построение математической модели определения уровня загрязнения атмосферного воздуха аэрозольными продуктами горения и снижение уровня загрязнения путем оптимального размещения пожароопасных объектов. Такая концепция является основой построения эффективного метода снижения негативного воздействия на окружающую среду выбросов пожаров и повышения общего уровня экологической безопасности территории. Задача оптимального размещения пожароопасных объектов сводится к задаче определения оптимального размещения соответствующих зон загрязнения. Определены основные типы ограничений рассматриваемой оптимизационной задачи

Ключевые слова: пожароопасный объект, оптимальное размещение, аэрозольные выбросы пожара.

I. A. Chub

REDUCING AIR POLLUTION CAUSED BY FIRE EMISSIONS THROUGH OPTIMAL PLACEMENT OF FLAMMABLE OBJECTS

Fires have become one of the factors that cause the deterioration of the environment. The products of combustion such as aerosol and gaseous polluting agents are emitted into the atmosphere. In order to determine the quantitative level of air pollution by combustion products it is necessary to construct a mathematical model. It can be considered as the basis for creating effective method to reduce the negative environmental impact of fire emissions and improve the overall level of environmental safety within the area of contamination. Firstly, quantitative characteristics of pollution of the area by combustion products are their concentration, time, placement options of pollutants, fire characteristics and meteorological conditions in the polluted area. We consider the fire in the final stage of development, when the intensity of combustion emissions becomes constant and concentration of combustion products in the atmosphere does not depend on time. Due to time uncertainty of fire emergence a contamination zone is represented as a polygon, being built on the corners of wind rose surface typical for the territory being considered. Secondly, changing a position of a contamination source leads to repositioning the related contamination area without changing its shape and metric characteristics. This assumption allows reducing the placement problem of contamination sources to the optimization of placement problem of octagonal oriented areas of contamination. The system of geometric and physical constraints on placement of contamination areas as well as resulting concentration field has been developed. To formalize these geometric constraints we apply apparatus of F-function for two geometric objects. Under forming the physical constraint we also suppose that total value of the concentration of aerosol emissions in a given system of fire control points will not exceed the maximum allowable one. Analytical description of the physical constraint is based on parameterization of the aerosol concentration field. Thus, using the proposed mathematical model and method of optimal allocation hazard under the development of master plans and plans for reconstruction of industrial enterprises can minimize the negative environmental impact of a possible fire and thereby increase the overall technological level of environmental and fire security of the region.

Keywords: fire-hazardous facility; optimal placement; aerosol fire emissions.

Інформація про автора:

І. А. Чуб, д-р техн. наук, професор, НУ цивільного захисту України, м. Харків, Україна.

E-mail: igorchub1959@gmail.com