

УДК 519.6

О.А. СТЕНІН, І.Г. ДРОЗДОВИЧ, К.І. ЛИЩУК

АНАЛІЗ І МІНІМІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ В ЕКОЛОГІЧНИХ ЗОНАХ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РЕГІОНІВ

***Анотація.** У даній статті для мінімізації викидів підприємств в екологічних зонах індустриальних регіонів запропонований метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування. Кількість обмежень може бути змінено відповідно до пріоритетів соціальних і економічних потреб конкретного індустриального регіону.*

***Ключові слова:** промислові викиди, рівняння Нав'є – Стокса, екологічна зона, інтенсивність забруднення, розрахунковий функціонал, лінійне програмування.*

Вступ

Однією з проблем, що мають глобальний характер, є зростання вмісту в атмосфері вуглекислого газу в результаті техногенних викидів. Найбільш небезпечним наслідком цього явища може стати підвищення температури повітря завдяки «парниковому ефекту». Проблема порушення глобального циклу масообміну вуглецю вже переходить зі сфери екології в економічні, соціальні і, врешті-решт, політичні сфери.

Збільшення викидів шкідливих хімічних речовин діючими промисловими підприємствами, що забруднюють навколишнє середовище, призводить до порушення екологічної рівноваги, що дуже помітно у зв'язку зі зміною клімату планети. Через це розробляються і втілюються в життя численні міжнародні програми, протоколи, договори, угоди. Прикладом цього є Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, прийнята в Нью-Йорку 9 травня 1992 року. Потім був розроблений і прийнятий до виконання багатьма державами, в тому числі і Україною, Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

До забруднень регіонального масштабу відносяться багато відходів промислових підприємств і транспорту. В першу чергу, це стосується діоксиду сірки. Він викликає утворення кислотних дощів, що вражають організми рослин і тварин і викликають захворювання населення. У великих містах і промислових центрах повітря, поряд з оксидами вуглецю і сірки, часто забруднене оксидами азоту і твердими частинками, що викидаються автомобільними двигунами і димарями. Нерідко спостерігається утворення смогу. Хоча ці забруднення носять локальний характер, вони зачіпають багатьох людей, що скупчено мешкають на таких територіях. Крім того, завдається збиток навколишній природі.

Основними заходами боротьби із забрудненням атмосфери є: строгий контроль викидів шкідливих речовин, заміна токсичних продуктів на нетоксичні, перехід на замкнуті цикли, вдосконалення методів газоочистки і пиловловлювання та ін. Вирішенню даної проблеми присвячено цілий ряд робіт, серед яких найбільш близькі до розглянутої в статті задачі [1-5]. Для мінімізації промислових викидів вже діючих індустриальних підприємств з

урахуванням мінімальної дози забруднення екологічно значущих зон в заданому індустріальному регіоні авторами в даній статті пропонується в якості основного критерію розглядати економічні витрати на перебудову технологій розглянутих промислових підприємств з таким розрахунком, щоб загальні економічні витрати при заданому зниженні забруднень були мінімальними для підприємств всього регіону.

1. Постановка задачі

Нехай в заданому індустріальному регіоні G з кордоном L розташовані n промислових підприємств $A_i (i = \overline{1, n})$ з координатами $r_i(x_i, y_i, z_i)$, що викидають щомиті Q_i аерозолів, склад яких для простоти будемо вважати однаковим (рис. 1). Будемо вважати також, що регіон G являє собою циліндричну область з бічною поверхнею S_L , поверхнею підстави $S_0(z = 0)$ і верхньою поверхнею $S_H(z = H)$.

У цьому регіоні виділимо m екологічних зон $G_k (k = \overline{1, m})$ із заданою гранично допустимою концентрацією викидів за час $[0, T]$ аерозолів, де T – річна періодичність.

Завдання полягає у визначенні для кожного підприємства такої допустимої кількості викидних аерозолів, щоб їх сума не перевищувала заданих гранично допустимих норм при мінімальних економічних витратах на технологічну реконструкцію, що забезпечує встановлений обсяг випуску продукції при заданому зменшенні промислових викидів.

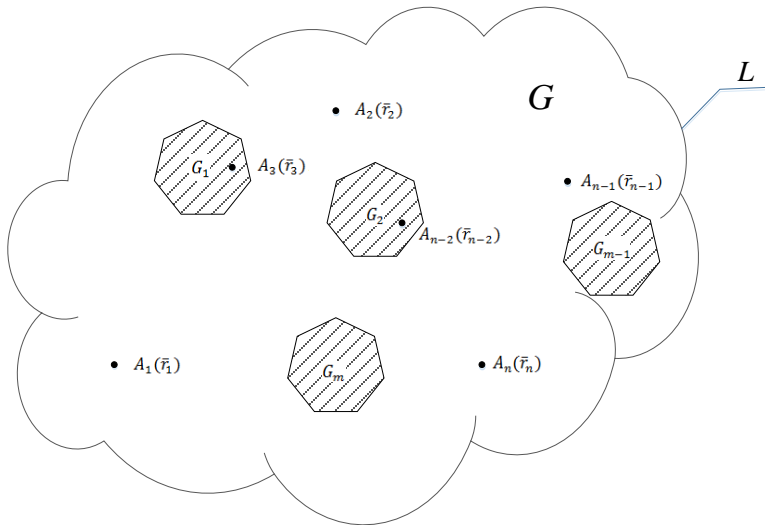


Рисунок 1 – Карта розташування підприємств і екологічних зон в індустріальному регіоні

2. Розв’язання задачі

Відомо [1, 2], що математична модель переносу і дифузії аерозолів в атмосфері описується рівнянням Нав’є – Стокса виду:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + v_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \Delta \varphi + \sum_{k=1}^m Q_k \delta(\bar{r} - \bar{r}_k), \quad (1)$$

де: $\varphi(x, y, z)$ – інтенсивність субстанції аерозолі, мігруючої разом з потоком повітря в атмосфері; $\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$ – вектор швидкості уздовж осей x, y, z ; v, μ – коефіцієнти вертикального і горизонтального турбулентного обміну; $\bar{r}_k = (x_k, y_k, z_k)$ – місце розташування i -го промислового підприємства; σ – коефіцієнт поглинання (обернено пропорційний часу).

Рівняння (1) відповідає поставленому завданню за умови

$$\begin{cases} \varphi = f_L n a S_L \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \varphi n a S_o, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 n a S_H \end{cases}, \quad (2)$$

де: α – коефіцієнт, що характеризує ймовірність випавшої на поверхню Землі субстанції аерозолі знову потрапити в атмосферу; f_L – ступінь початкового забруднення на бічній поверхні циліндричної моделі промислового регіону.

Вважаємо завдання кліматично періодичної функції φ з періодом T , рівним року, тобто

$$\varphi(\bar{r}, T) = \varphi(\bar{r}, 0). \quad (3)$$

До рівнянь (1)–(3) необхідно додати для кожного моменту часу співвідношення нерозривності для компоненту вектора швидкості \bar{V}

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$V_z = 0 \text{ при } z = 0 \text{ і } z = H.$$

Розрахункова формула річної дози забруднення для k -ї екологічної зони має вигляд:

$$F_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi dG, \quad (5)$$

де:

$$P_k = \begin{cases} 1, \text{ при } \bar{r} \in G_k, \\ 0, \text{ при } \bar{r} \notin G_k \end{cases}, \quad (6)$$

і враховує забруднення k -ї екологічної зони.

При цьому середньорічні гранично допустимі дози аерозольного забруднення повинні задовольняти обмеженням

$$F_k \leq C_k, (k = \overline{1m}), \quad (7)$$

де C_k – задані санітарні норми для k -ї екологічної зони.

Для того щоб до розрахункового функціоналу (5) визначити дози забруднення, з метою виконання обмежень (7) введемо в розгляд функціонал, що дозволяє знайти таку сукупність запланованих викидів аерозолів Q_i , яка при зменшенні викидів забезпечує випуск того ж обсягу продукції з мінімізацією витрат на технологічну реконструкцію.

В якості такого функціоналу приймемо

$$I = \sum_{i=1}^n k_i(Q_{ui} - Q_{ni}) \rightarrow \min, \quad (8)$$

де: Q_{ui} – вихідна потужність викидів; Q_{ni} – запланована потужність викидів; k_i – коефіцієнт, що визначає капіталовкладення в технологію, що забезпечує випуск того ж обсягу продукції при зменшенні викидів (в розрахунку на одиницю потужності викидів).

Рішення завдання (1)–(8) є досить складним в аналітичному вигляді, тому нижче для його вирішення пропонується метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування.

Нехай для даного промислового регіону, з урахуванням зовнішнього забруднення, інтенсивність забруднення регіону G можна представити у вигляді:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t), \quad (9)$$

де $\varphi_i(\bar{r}, t)$ – рішення рівняння (1) для i -го промислового підприємства, тобто

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + V_1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + V_2 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + V_3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} g \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_i + \delta(\bar{r} - \bar{r}_1) Q_i \quad (10)$$

при граничних умовах

$$\begin{cases} \varphi_i = 0 \text{ на } S_L \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ на } S_0; \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = 0 \text{ на } S_H \end{cases} \quad (11)$$

Тоді розв'язок (9) правомірно використовувати в розрахунковому функціоналі (5). Звідси

$$F_k = \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik}, \quad (12)$$

де

$$a_{ik} = \int_0^T dt \int_{Gk} P_k \varphi_i(\bar{r}, t) dG, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}. \quad (13)$$

У цьому випадку можемо вважати, що коефіцієнти a_{ik} – вже відома константа.

Об'єднуючи (7), (8), (12), (13), доходимо до наступної постановки задачі

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i (Q_{ui} - Q_{ni}) &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik} &\leq C_k, k = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (14)$$

Від Q_{ni} зручно перейти до $q_i = Q_{ni} - Q_{ui}$. Тоді ми приходимо до задачі лінійного програмування з відшукування оптимального набору q_i на основі рішення задачі

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\leq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (15)$$

де

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} q_{ni} - C_k. \quad (16)$$

Природно, що кількість обмежень може бути за рахунок вимог соціального та економічного характеру, що впливають з тих чи інших пріоритетних міркувань [3, 4].

Якщо до цього промислового регіону примикають інші промислові регіони, з яких шкідливі викиди потрапляють в даний регіон, до рівняння (10) необхідно додати рівняння

$$\frac{\partial \varphi_L}{\partial t} + V_x \frac{\partial \varphi_L}{\partial x} + V_y \frac{\partial \varphi_L}{\partial y} + V_z \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \sigma \varphi_L = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_L \quad (17)$$

при умовах

$$\begin{aligned} \varphi_L &= f \text{H}AS_L \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} &= \alpha \varphi_i n a S_0 \cdot \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} &= 0 n a S_H \end{aligned} \quad (18)$$

Тоді рішення (9) можливо записати як

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) + b_k, \quad (19)$$

де

$$b_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_s(\bar{r}, t) dG. \quad (20)$$

В цьому випадку задача лінійного програмування (15) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i q_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i &\leq R_k, k = \overline{1, m} \\ q_i &\geq 0, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (21)$$

де

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} q_{ni} - C_k. \quad (22)$$

Представлені вище окреме і загальне завдання лінійного програмування з оптимізації шкідливих викидів промислових підприємств в екологічних зонах даного індустріального регіону можуть бути вирішені відомими чисельними методами [6].

Висновки

Оскільки розглянуті завдання лінійні і періодичні в часі, то їх рішення здійснюється з деяких початкових даних до настання періодичності. Звичайно потрібно кілька річних циклів розрахунку. У даній статті для оптимізації викидів підприємств в екологічних зонах промислового регіону запропонований метод суперпозиції для рішення приватних задач шляхом зведення основного завдання до завдання лінійного програмування. Оскільки сформульована задача зведена до завдань лінійного програмування, при $q_i \geq 0$ і всіх позитивних коефіцієнтах a_{ik} , b_k рішення задачі знаходиться на гранях багатогранників, що утворюються при побудові областей обмежень за допомогою стандартних методів лінійного програмування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. / Пер. с англ. под ред. Н.Н. Моисеева – М.: Мир.1979. – 216 с.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды – М.: Наука. 1982. – 320 с.
3. В.М. Гарин, И.А. Кленова, В.И. Колесников, Промышленная экология, Маршрут, 2005. – 328 с.
4. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности / под ред. Д.В. Елисеєва – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. – 260 с.

5. Швыряев А.Л., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе – М.: Изд-во МГУ. 2004. – 124 с.
6. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи в інформатиці. К.: Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2018.