

УДК 004.94

К.В. Молодецька<sup>1</sup>, К.О. Погрузова<sup>1</sup>; І.І. Сугоняк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Житомирський військовий інститут ім. С.П.Корольова НАУ, Житомир

<sup>2</sup> Житомирський державний технологічний університет, Житомир

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН НА ПІДПРИЄМСТВІ

*Запропоновано модель системи екологічного моніторингу викидів шкідливих речовин підприємством, яка реалізує пошук оптимальних режимів завантаженості виробництва та роботи очисних фільтрів з метою зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Розроблено програмний комплекс, що здійснює візуалізацію та управління функціонуванням системи.*

*Ключові слова: екологічний моніторинг, ідентифікація аварійних ситуацій, оптимальне управління підприємством.*

### Вступ

Постановка проблеми. В умовах високоіндустріального суспільства небезпечно втручання людини в природу значно підсилилося та стало багатоманітним і становить глобальну небезпеку для людства. Для послаблення інтенсивності впливу екодеструктивних процесів підприємствами, прогнозування змін у навколишньому природному середовищі та наслідків, які вони зумовлять, необхідно забезпечити облік екологічних змін у довкіллі, що досягається шляхом проведення екологічного моніторингу.

При виявленні екологічних проблем формують напрямки їх вирішення, в першу чергу, через припинення негативного екологічного впливу на довкілля з боку підприємства [1]. У сучасних економічних умовах зупинка виробничих потужностей в результаті виникнення негативних екологічних ситуацій призведе до значних економічних втрат об'єкта господарювання. В даний час питання оптимізації виробничих потужностей підприємства з метою покращення екологічної ситуації вимагає подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання захисту довкілля і здійснення моніторингової діяльності зосереджені у роботах І. Александра, В. Дьомкіна, А. Запольського, М. Клименко, Л. Мельника, І. Решетова, В. Самойлова, М. Хилька, О. Царенко, В. Петрука та ін.

Однак, недостатню увагу було приділено локальному екологічному моніторингу на рівні підприємства та питанням зменшення економічних втрат у випадку виникнення аварійної ситуації. Тому, актуальною є побудова комплексної системи спостережень, збору, обробки, систематизації та аналізу інформації про стан навколишнього середовища, яка дає оцінку та прогнозує його зміни, розробляє обґрунтовані рекомендації для прийняття управлінських рішень на підприємстві.

Метою даного дослідження є обґрунтування структури та ідентифікація параметрів системи екологічного моніторингу викидів шкідливих речовин підприємством в навколишнє середовище.

Завданням даної роботи є:

- розробити формалізовану та математичну моделі системи екологічного моніторингу;
- спроектувати структуру системи;
- розробити алгоритмічну модель функціонування системи екологічного моніторингу;
- реалізувати програмний комплекс системи та перевірити адекватність побудованих моделей.

### Виклад основного матеріалу

Об'єктами системи екологічного моніторингу на підприємстві є: джерела і фактори впливу на довкілля з боку суб'єкта господарювання; стан атмосферного повітря і ґрунтів та динаміка їх забруднення; динаміка забруднення і використання води з басейнів регіону; тенденції управління підприємством при виникненні надзвичайних ситуацій.

Для визначення структури системи моніторингу змін навколишнього середовища було виконано її декомпозицію на чотири взаємопов'язані функціональні блоки: "Спостереження", "Оцінка фактичного стану", "Прогноз стану" та "Оцінка прогнозованого стану". Крім того, система екологічного моніторингу включає до свого складу [2-3]:

- інформаційно-вимірну мережу;
- мережу передачі даних;
- центр моніторингу;
- мережу спеціальних терміналів, призначених для користувача.

Програмний комплекс, що розробляється, встановлюється в центрі екологічного моніторингу підприємства та включає засоби для математичного моделювання процесу забруднення природних ресурсів шкідливими токсичними речовинами та забез-

печує рішення завдань, пов'язаних з перенесенням і трансформацією забруднюючих речовин у довкіллі. Це дозволить підвищити ефективність прийняття рішень щодо поточного стану довкілля і прогнозувати подальший розвиток ситуації.

Для реалізації функцій системи екологічного моніторингу підприємства необхідна наступна інформація: джерела вступу забруднюючих речовин в навколишнє середовище, процеси перенесення і міграції хімікатів у навколишньому середовищі, дані про стан антропогенних джерел емісії, час повного природного відновлення ресурсів довкілля [4].

Вирішення завдання екологізації навколишнього простору підприємства реалізується на основі формалізованої моделі системи екологічного моніторингу та оптимізації процесів управління цією системою шляхом вибору універсальних критеріїв і параметрів стану системи, а також її складових [5]. При дослідженні системи екологічного моніторингу було виконано формалізацію чотирьох блоків:

- порівняння поточного значення шкідливих викидів з гранично допустимою концентрацією (ГДК) (блок  $S_1$ );
- ідентифікація аварійних ситуацій на підприємстві (блок  $S_2$ );
- прогнозування розвитку ситуації (блок  $S_3$ );
- оптимальне управління кількістю шкідливих викидів (блок  $S_4$ ).

Модуль 1 (блок  $S_1$ ) – порівняння викидів із ГДК. Завданнями цього блоку є: обробка даних з вимірюючих датчиків, порівняння їх з ГДК шкідливих речовин, визначення міри перевищення викидами нормативів. Управляючою дією даного блоку є  $x_i^*$  – ГДК хімічних речовин у довкіллі. Вхідним параметром даного модуля є  $x_{ij}$  – поточні викиди речовин у навколишнє середовище із підприємства. На виході модуля міститься функція різниці між кількістю викидів  $i$ -тої речовини вимірною  $j$ -тим датчиком і ГДК, що визначається наступним виразом:

$$\delta(x_{ij}) = \frac{x_{ij} - x_i^*}{x_{ij}} \quad (1)$$

Можливі оцінки міри перевищення нормативів ( $N_{ij}$ ) запишемо так:

$$N_{ij} = \gamma_{ij}, N_{ij} \leq \delta(x_{ij}) - \delta(x_{ij}^*) \leq N_{ij} + 1, \quad (2)$$

де  $\gamma_{ij}$  – множина можливих станів навколишнього середовища після викидів у нього  $\gamma_{ij} \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$  речовин;  $\delta(x_{ij}^*)$  – допустимі значення різниці між кількістю викидів та їх ГДК;  $N_{ij}$  – оцінка, визначена для поточних значень концентрацій речовин.

Отже:

$$N_i(t) = f(\delta(x_{ij}), \delta(x_{ij}^*), t), \quad (3)$$

де  $t$  – час, протягом якого проводилися викиди хімікатів з підприємства.

Модуль 2 (блок  $S_2$ ) – ідентифікація аварійних ситуацій. Завданнями цього блоку є: визначення міри перевищення ГДК, визначення ступеня небезпеки, визначення рангу аварійної ситуації. У випадку небезпечного аварійного становища необхідно здійснити передачу повідомлення на пульта диспетчера, а звітти в адміністративний блок. Вхідними параметрами цього модуля є вихідні параметри модуля  $S_1$ . На виході блоку містяться функції визначення міри перевищення нормативів  $K_{ij}$ , ступеня небезпеки  $M_{ij}$  та рангу аварійності ситуації  $R$ .

Міра перевищення нормативів  $K_{ij}$  визначається як:

$$K_{ij} = \bar{N}_{ij}, \quad (4)$$

де  $\bar{N}_{ij}$  – усереднене значення оцінок, визначених для  $i$  речовин, вимірних  $j$  датчиками, тобто  $i \in (0..n), j \in (0..n)$ .

Ступінь небезпеки  $M_{ij}$  визначається через функції належності:

$$M_{ij} = \mu(K_{ij}), \quad (5)$$

де  $\mu(K_{ij})$  – функції належності ступенів перевищення нормативів викидами, що можуть приймати такі значення:

$$\mu(K_{ij}) = \{H, C, B\},$$

де  $H$  – низька,  $C$  – середня та  $B$  – висока міри перевищення ГДК.

Узагальнений ступінь небезпеки  $i$ -тої речовини визначається згідно виразу:

$$M_{ij} = \max(\mu(K_{ij})). \quad (6)$$

Для кожної міри перевищення нормативів було розраховано інтервали можливих значень. Тоді ранг аварійної ситуації визначається через середнє значення ступенів можливої небезпеки:

$$R = \bar{M}_{ij}, (i \in (0..n), j \in (0..n)). \quad (7)$$

Результатом ідентифікації аварійності ситуації у навколишньому середовищі буде функція  $Rez$ :

$$Rez = f(R, K_{ij}, M_{ij}, t). \quad (8)$$

Модуль 3 (блок  $S_3$ ) виконує прогнозування розвитку ситуації. Завданнями цього блоку є: аналіз масштабів поширення шкідливих викидів, аналіз наслідків викидів шкідливих речовин у довкіллі, попередня оцінка матеріальних збитків підприємства на ліквідацію аварійного становища, формування попередніх рішень, направлених на зменшення забруднення. Вхідним параметром блоку прогнозу-

вання є вихідний параметр попереднього модуля, а саме  $R$  – ранг аварійної ситуації. На виході модуля формується функція комплексної оцінки стану довкілля  $E_1$ .

Функцію комплексної оцінки стану середовища будемо розглядати при фіксованих значеннях параметрів, визначених двома попередніми блоками. Отже, результатом прогнозування розвитку ситуації буде функція:

$$E_1 = f(R(x_{ij}), t), \quad (9)$$

Комплексні оцінки стану навколишнього середовища задаються на основі базової шкали:

$E_5$  – очікується катастрофічно небезпечний рівень забруднення довкілля;

$E_4$  – очікується високий рівень забруднення довкілля III ступеня;

$E_3$  – очікується високий рівень забруднення довкілля II ступеня;

$E_2$  – очікується високий рівень забруднення довкілля I ступеня;

$E_1$  – очікується можливе перевищення ГДК;

$E_0$  – очікується, що рівень забруднення не перевищить ГДК.

Попередні рішення, направлені на зменшення забруднення навколишнього середовища приймаються залежно від значень всіх попередньо визначених функцій та параметрів. Кожній речовині присвоюється коефіцієнт небезпечності відповідно до того, наскільки шкідливими для навколишнього середовища є її викиди. Коефіцієнти обираються з діапазону  $[0,1; 1,5]$ . Значення викиду кожної речовини множиться на даний коефіцієнт. Далі значення всіх викидів у воду, ґрунт та атмосферу додаються, обчислюється їх середнє арифметичне значення, а отриманий результат округлюється та приймається рішення про стан довкілля.

Модуль 4 (блок  $S_4$ ) – оптимальне управління кількістю шкідливих викидів з підприємства. Завданням цього блоку є пошук такої завантаженості потужностей підприємства, при якій забезпечується якнайменша кількість викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Управляючою дією даного блоку є  $c_b^*$  – концентрація шкідливих речовин у довкіллі. Вхідними параметрами модуля оптимізації є  $c_0$  – динаміка концентрації хімікатів у навколишньому середовищі, тобто швидкість надходження шкідливих речовин з підприємства у довкілля. На виході модуля визначається завантаженість ресурсів підприємства  $Z_1$ .

Обґрунтуємо запропоновану у даній роботі математичну модель підсистеми оптимального управління станом стічних вод на підприємстві.

За аналогією з [5] припустимо, що в басейн стічних вод об'ємом  $W_0 = Q$  надходять стоки з підприємства з витратою  $q_1$  і концентрацією в них шкідливих речовин  $c_1$ . Визначення динаміки концентрації  $c_b(t)$  хімікатів в басейні при початковій концентрації речовин  $c_0$  та рівні води, що змінюється, виконується на основі наступного виразу:

$$c_b(t) = c_1 + (c_0 + c_1) \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right), \quad \tau_0 = \frac{Q_0}{q_1}, \quad (10)$$

який можна перетворити наступним чином:

$$c_b^*(t) = c_1^* + (1 - c_1^*) \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right), \quad (11)$$

де  $c_b^*(t) = c_b / c_0$ ,  $c_1^* = c_1 / c_0 = k$  – безрозмірні (зведені) величини, що визначають концентрацію шкідливих речовин у стічних водах через початкову концентрацію  $c_0$ , а  $\tau_0 = Q_0 / q_1$  – час повного оновлення води в басейні, що характеризує водообмін за умови не перемішування води в басейні.

Величину  $k = c_1 / c_0$  називають коефіцієнтом (кратністю) розбавлення або змішування. Було побудовано графіки зміни концентрації солей в басейні стічних вод (рис. 1 – 2).

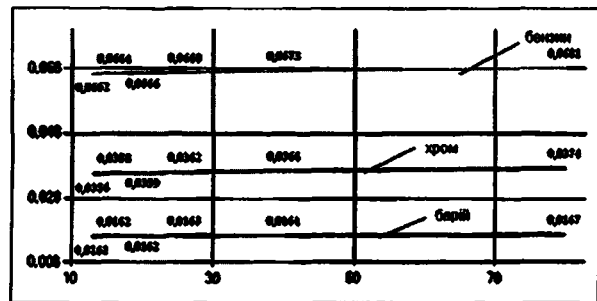


Рис. 1. Графіки зміни концентрації шкідливих речовин при перевищенні початкової концентрації

Рис. 1 ілюструє зміни концентрації забруднень під час перевищення викидами початкової концентрації  $c_0$ .

Зменшення концентрації шкідливих речовин у природному середовищі для випадку розбавлення стічних вод представлено на рис. 2.

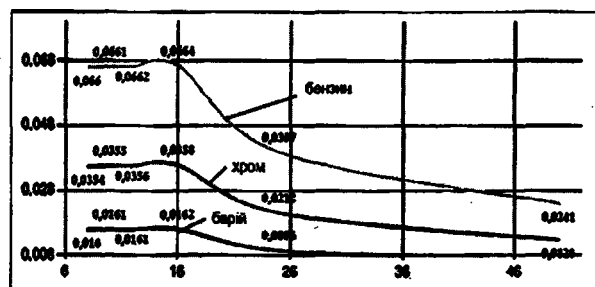


Рис. 2. Графіки зміни концентрації забруднень у випадку розбавлення стічних вод

Якщо відомі початкові умови: об'єм  $Q_0$ , початкова концентрація  $c_0$ , концентрація забруднень  $c_1$  в стічних водах і швидкість їх надходження в басейн  $q_0$  при тій же швидкості витікання стоків з басейну, то легко обчислити значення концентрації  $c_0$  забруднень в басейні в будь-який момент часу  $t$ , а також час, протягом якого концентрація забруднень в басейні досягне заданого значення, наприклад, ГДК  $c_{гдк}$ . Після досягнення концентрації  $c_{гдк}$  необхідно припинити подачу стічних вод і відновити її тільки тоді, коли в басейні внаслідок процесів самоочищення, концентрація забруднень знизиться до величини  $c_0$ .

Якщо водний об'єкт ділиться на  $n$  камер (ділянок), то можна визначити рівноважну концентрацію забруднень у вигляді:

$$c_0^i = \frac{q_0 c^{i-1} + q_d^i c_d^i + \sum_{k=1}^{n_i} q_k^i c_k^i + q_{on}^i c_{on}^i + m_{an}^i}{q_0 + q_d^i + \sum_{k=1}^{n_i} q_k^i + q_{on}^i - q_{vnp}^i}, \quad (12)$$

при сталих значеннях  $q_d^i, q_k^i, q_{on}^i$  та  $q_{vnp}^i$ , а також величинах  $c^{i-1}, c_d^i, c_k^i, c_{on}^i$  – сталих або кусково-сталих і при  $m_{an}^i = f^i = a^i = \lambda^i = 0$ .

Якщо рівень води в  $i$ -й камері (річці, водосховищі або озері) не змінюється, або змінюється на малу величину і цією зміною можна знехтувати, то вираз визначення концентрації забруднень (12) для випадку неконсервативної речовини ( $a^i \neq 0, \lambda^i \neq 0$ ) при  $f^i(c^i, t) = 0$  записується наступним чином:

$$c^i(t) = c_0^i + (c_0^i - c_0^i) \exp\left(-\frac{1 + \beta^i \tau_0^i}{\tau_0^i} t\right), \quad (13)$$

де:

$$c_0^i = \frac{q_0 c^{i-1} + q_d^i c_d^i + \sum_{k=1}^{n_i} q_k^i c_k^i + q_{on}^i c_{on}^i + m_{an}^i}{(1 + \beta^i \tau_0^i)(q_0 + q_d^i + \sum_{k=1}^{n_i} q_k^i + q_{on}^i - q_{vnp}^i)}, \quad (14)$$

$$\tau_0^i = \frac{W_0^i}{q_0 + q_d^i + \sum_{k=1}^{n_i} q_k^i + q_{on}^i - q_{vnp}^i}, \quad (15)$$

$$\beta^i = \alpha^i + \lambda^i.$$

Вирази (13 – 15) доцільно використовувати для розрахунку концентрації речовини, що забруднює водний об'єкт господарства протягом такого відрізка часу, коли граничні значення витрат води, концентрацій та інших допоміжних величин можна вважати сталими. Провівши ряд перетворень, рівняння (13) можна записати так [4]:

$$\frac{dc_{an}^i}{dt} = \alpha^i h^i c^i - (\beta^i + \lambda^i) + \frac{dS_{an}^i}{S_{an}^i} c_{an}^i. \quad (16)$$

Для знаходження критерію оптимальної роботи підприємства перш за все, необхідно визначити мету оптимальної роботи системи екологічного моніторингу.

В даному випадку це пошук такої завантаженості потужностей підприємства, при якій забезпечується якомога менша кількість викидів шкідливих речовин у водний басейн, тобто:

$$\begin{aligned} q_0 &\rightarrow \min, \\ Z_i &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (17)$$

де  $Z_i$  – завантаженість ресурсів підприємства (потужність його роботи).

Таким чином, значення швидкості надходження стоків з підприємства у водний басейн, при якій підприємство активно працює, не наносячи згубної шкоди навколишньому середовищу, описується лінійною функцією виду:

$$q_0^i = f(Z_i). \quad (18)$$

Критерієм оптимальності в даному випадку буде виступати значення виробничої потужності підприємства (завантаженості), яку можна визначити із розв'язання рівняння динаміки концентрації:

$$\begin{aligned} c_0(t) = c_1^i + (1 - c_1^i) \exp\left(-\frac{tQ_0}{q_1 - q_0}\right) &\rightarrow \\ &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (19)$$

де  $q_0$  – швидкість надходження стоків у водний басейн;  $q_1$  – витрати з підприємства.

Завантаженість підприємства описується нерівностями:

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= Z_1^*, \\ Z_{i+1}(t) &= Z_i(t) + \Delta Z, \\ \Delta Z &\leq Z_i \leq Z_{\max}, \end{aligned} \quad (20)$$

де  $Z_1(t)$  – завантаженість підприємства в деякий момент часу  $t$ ;  $Z_{i+1}(t)$  – завантаженість підприємства в наступний момент часу;  $\Delta Z$  – крок значень завантаженості підприємства;  $Z_{\max}$  – максимальна завантаженість підприємства.

Звідки визначаємо:

$$Z_i(t) = Z_{i+1}(t) - \Delta Z \quad (21)$$

Отже, визначення оптимальних показників роботи системи зводиться до розв'язання задачі лінійного програмування, в якій мінімізуєма функція є лінійною (19), а обмеження на потужність роботи підприємства задаються лінійною нерівністю (20).

Представимо швидкість вимивання стоків з водного басейну як:

$$q_{oi}^i = (a_0 - a_1 Z_1(t)), \quad (22)$$

$$\begin{aligned} c_0(t) = c_1^i + (1 - c_1^i) \exp\left(-\frac{tQ_0}{q_1 - (a_1 Z_1(t))}\right) &\rightarrow \\ &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (23)$$

де  $a_0$  – вільний член рівняння регресії;  $a_1$  – коефіцієнт регресії, що обчислюються за допомогою методу неповних квадратів.

Продиференціювавши рівняння та здійснивши певні перетворення, отримали наступне рівняння завантаженості виробничих потужностей підприємства:

$$c_b(t) = c_1 + (1 - c_1) \exp\left(-\frac{tQ_0}{q_1 - (a_0 - a_1 Z_1(t))}\right) \rightarrow \min, \quad (24)$$

$$-\frac{tQ_0}{q_1 - (a_0 - a_1 Z_1(t))} = \ln \frac{c_b(t) - c_1}{c_0 - c_1}, \quad (25)$$

$$-a_1 Z_1(t) = -\frac{tQ_0}{q_1 - (a_0 - a_1 Z_1(t))} - q_1 + q_0, \quad (26)$$

$$-a_1 Z_1(t) = -\frac{tQ_0}{q_1 - (a_0 - a_1 Z_1(t))} + \frac{q_1 - a_0}{a_1} \rightarrow \max, \quad (27)$$

за умови:

$$c_b(t) \leq c_{gdk}.$$

Тобто, для оптимальної роботи підприємства без вагомих втрат для нього, значення концентрації  $c_b$  забруднень в басейні в будь-який момент часу повинне бути меншим або ж рівним значенню ГДК  $c_{gdk}$ .

Вираз (24) є критерієм оптимальності для підсистеми, що відповідає за оптимізацію кількості шкідливих викидів підприємства у стічні води.

За результатами досліджень та розрахунків було створено програмний продукт, що є емулятором реально діючої системи.

### Висновки

Результати, отримані в процесі дослідження, дозволяють здійснити проектування складної системи екологічного моніторингу на підприємстві, яка

здійснює не лише спостереження за шкідливими викидами, а й реалізує пошук оптимальної завантаженості ресурсів підприємства, тобто такої, при якій забезпечується якомога менша кількість викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

### Список літератури

1. Ємець М.А. Сучасні системи екологічного моніторингу та ефективність їх функціонування / М.А. Ємець // Екологія і природокористування. Зб. наук. праць ІППЕ НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – № 11. – С. 159-169.
2. Мотузова Г.В. Екологічний моніторинг / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова – СПб: Изд-во Академический Проект, Гаудеамус, 2007. – 240 с.
3. Веницианов Е.В. Екологічний моніторинг: шаг за шагом / Е.В. Веницианов и др., Под ред. Е.А. Заика. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 252 с.
4. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. / В.І. Лаврик – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 132 с.
5. Андреева Е.А. Оптимізація управляємых систем / Е.А. Андреева, Бенке Х. – Тверь: ТГУ, 1996. – 291 с.
6. Ашихмина Т. Екологічний моніторинг / Т. Ашихмина. – М.: Академический Проект, Альма Матер, 2008. – 416 с.

Надійшла до редколегії 13.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ.

### МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Е.В. Молодецкая, Е.А. Погрузова, И.И. Сугоняк

Предложена модель системы экологического мониторинга выбросов вредных веществ предприятием, которая реализует поиск оптимальной загрузки ресурсов с целью уменьшения вредного влияния на окружающую среду. Разработан программный комплекс, осуществляющий визуализацию и управление функционированием системы.

Ключевые слова: экологический мониторинг, идентификация аварийных ситуаций, оптимальное управление предприятием.

### MONITORING SYSTEM MODEL FOR EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE COMPANY

K.V. Molodetska, K.O. Pohruzova, I.I. Sugonyak

A model of system for environmental monitoring of harmful emissions implementing the search for optimal utilization of enterprise resources in order to reduce the impact on the environment. A software package that provides emulation of the system is proposing.

Keywords: ecological monitoring, authentication of emergency situations, optimum management an enterprise.