

О. К. Кушнір, аспірант,

М. П. Дивак, д-р техн. наук, проф.,

Л. І. Гончар, канд. екон. наук, доц.,

Тернопільський національний економічний університет

ІНТЕРВАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗБИТКІВ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ ВНАСЛІДОК ДІЯЛЬНОСТІ АВТОТРАНСПОРТУ

АНОТАЦІЯ. Проаналізовано методика розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря від транспортних засобів. Описано методологію оцінювання збитків довкіллю на основі методу параметричної ідентифікації лінійних динамічних систем з аналізом інтервальних даних. Розглянуто алгоритм реалізації методу при моделюванні динаміки збитків внаслідок діяльності автотранспорту.

АННОТАЦИЯ. Проанализировано методика расчета уровня выбросов загрязняющих веществ транспортными средствами в атмосферу. Описано методологию оценивания убытков окружающей среде с помощью метода параметрической идентификации линейных динамических систем с анализом интервальных данных. Рассмотрено алгоритм реализации метода при моделировании динамики убытков вследствие деятельности автомобильного транспорта.

ANNOTATION. The methodology for calculating emissions of pollutants into the air from vehicles was analyzed in the article. The methodology of assessing environmental damage on the basis of parameter identification of linear dynamic systems analysis of interval data method was examined. The algorithm of the method while modeling the dynamics of the losses due to transport was applied.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: економічні збитки довкіллю, інтервальні оцінки, динамічна модель, гарантовані межі щоденних збитків.

Вступ

Автотранспортні потоки великих міст створюють проблему забруднення довкілля, особливо атмосфери шкідливими викидами. Проблема забруднення довкілля є не тільки екологічною, але й економічною, оскільки підвищення концентрацій шкідливих викидів в атмосфері призводить до підвищення захворюваності населення, прискореного руйнування матеріальних цінностей та будівель, погіршення стану флори та фауни. Для підприємств-забрудників довкілля існують стандартні методики оцінювання обсягу шкідливих викидів в атмосферу і розрахунку платежів за викиди. Однією з таких є «Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря», що затверджена наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України 10 грудня 2008 р. №639. У даній праці зроблено припущення, що дана методика передбачає вста-

новлення розміру сплати за викиди в еквіваленті нанесеним економічним збиткам довкіллю. Таким чином, економічні збитки від забруднення промисловими підприємствами еквівалентні платежам за викиди і можуть бути розраховані за стандартною методикою [1]. Набагато складніша ситуація із автотранспортом. З точки зору теорії систем, на відміну від випадку з підприємствами, автотранспорт слід розглядати як розподілений об'єкт. При цьому, як забруднення, які можна розрахувати за методикою розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів, так і нанесені економічні збитки довкіллю слід розподіляти між транспортними одиницями. Очевидно, що в даному випадку обсяги забруднень і збитки довкіллю будуть залежати не тільки від характеристик автотранспорту, але і від території розподілу автотранспортних одиниць, часу доби, погодних умов тощо.

З іншого боку, основним недоліком існуючих методик розрахунку забруднень є те, що вони не спираються на реальну лабораторну базу, яка є в наявності міських санітарно-епідеміологічних станцій, а передбачають виключно використання інтегрованих показників по автотранспорту. Подібний підхід описано в праці [2]. На основі даної методики проведено оцінку збитків довкіллю автотранспортом на прикладі шкідливої речовини другого класу небезпеки — діоксиду азоту. Вона базується на визначенні об'ємів викидів забруднюючих речовин і парникових газів та їх перерахунку в збитки, виражені в грошовому еквіваленті, з урахуванням класу небезпеки речовини, промислового значення населеного пункту, відповідно до «Інструкції про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища», затвердженої спільним наказом Мінекобезпеки та ДПА №162/379 від 19.07.99 р. [3]. Базовою інформацією для розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів є статистична інформація щодо обсягів використання пересувними транспортними засобами палива (бензину автомобільного, газойлів (дизельного палива), передбачена державними статистичними спостереженнями, та питомі викиди забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферу від споживання однієї тонни палива, рекомендовані Міністерством охорони навколишнього природного середовища. Зрозуміло, що статистичні дані (кількість транспортних засобів, які знаходяться у приватній власності населення у містах, селищах міського типу та сільській місцевості (за місцем їхньої реєстрації); середньорічне споживання палива одним транспортним засобом; чисельність населення у регіоні, населеному пункті),

на які спирається методика є не завжди точними. Тому про точність самої методики теж говорити важко. Крім того, дана статистична інформація не відображає реальної картини рівня забрудненості атмосферного повітря. Адже, у різних частинах одного і того ж міста рівень забруднення буде різним. Це залежить від інтенсивності руху транспортних засобів, від рівня провітрюваності частин міста, від погодних умов та ін. Наведена методика унеможливає розрахувати динаміку зміни забруднень на протязі певного періоду.

Тому постає задача розробити більш точнішу методику, яка б базувалась на реальних вимірюваннях концентрацій шкідливих речовин, відображала б динаміку збитків та уможливлювала визначати обсяги збитків на будь-яких часових інтервалах, і на цій основі дала можливість провести адекватний розподіл відповідальності за нанесені збитки. Саме цій актуальній задачі присвячена дана праця.

Постановка задачі

Розглянемо задачу моделювання динаміки економічних збитків, пов'язаних з забрудненням концентраціями шкідливих речовин унаслідок діяльності автотранспорту. Очевидно, що дана модель не може бути детермінованою в силу стохастичності та не стаціонарності процесів забруднення та наявності похибок вимірювань концентрацій шкідливих речовин у просторі та часі.

Відомо, що похибки вимірювань концентрацій шкідливих речовин у сучасних спектроаналізаторах за умов не стаціонарності процесів поширення забруднень є достатньо значними і сягають 50 %. За цих умов доцільно розділити задачу моделювання динаміки економічних збитків — наслідків забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту на дві задачі: задачу оцінювання збитків за результатами вимірювання концентрацій шкідливих викидів з обмеженими за амплітудою похибками, які в основному визначаються похибками спектроаналізаторів; задачу безпосереднього моделювання динаміки збитків за умов забезпечення прогнозування цієї динаміки, яка визначається точністю отриманих за результатами спостережень оцінок збитків. Такий підхід обумовлює для розв'язування задачі моделювання динаміки збитків використати методи аналізу інтервальних даних та, зокрема, методи ідентифікації дискретних динамічних систем, описані у працях [4, 5]. Зауважимо, що час дискретизації можна вибрати у такий спосіб, щоб рівняння динаміки були лінійними.

Виходячи із зазначеного, моделі динаміки збитків будемо описувати лінійними різницевиими рівняннями:

$$\begin{cases} x_{1k+1} = \bar{g}_1^T \cdot \bar{x}_k + \bar{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ x_{ik+1} = \bar{g}_i^T \cdot \bar{x}_k + \bar{q}_i^T \cdot \bar{u}_k, \quad k=0, \dots, N-1, \\ \vdots \\ x_{mk+1} = \bar{g}_m^T \cdot \bar{x}_k + \bar{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \end{cases} \quad (1)$$

а взаємозв'язок між миттєвими значеннями концентрацій шкідливих викидів автотранспорту та збитками описуватимемо такими рівняннями:

$$\bar{y}_{k+1} = NZV \cdot \bar{x}_{k+1} + \bar{e}_{k+1}, \quad k=0, \dots, N-1, \quad (2)$$

де \bar{g}_i — невідомі вектори параметрів моделі, $\bar{g}_i \in R^m$, $i=1, \dots, m$;
 \bar{q}_i — невідомі вектори параметрів факторів впливу на забруднення, $\bar{q}_i \in R^p$, $i=1, \dots, m$;

$$NZV = \begin{pmatrix} nzv_{11} & \dots & nzv_{1i} & \dots & nzv_{1n} \\ nzv_{12} & \dots & nzv_{2i} & \dots & nzv_{2n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ nzv_{m1} & \dots & nzv_{mi} & \dots & nzv_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{— відома матриця коефіцієнтів}$$

перерахунку вимірних концентрацій шкідливих викидів у розміри економічних збитків;

k — дискретне часове значення, $k=0, \dots, N-1$;

\bar{y}_{k+1} — вектор вимірних концентрацій шкідливих викидів, $\bar{y}_{k+1} \in R^n$;

\bar{x}_k — вектор економічних збитків по видах у k -й дискретний момент часу, $\bar{x}_k \in R^m$;

\bar{x}_{k+1} — вектор економічних збитків по видах у $k+1$ -й дискретний момент часу, $\bar{x}_{k+1} \in R^m$;

\bar{u}_k — вектор факторів впливу на забруднення в k -й дискретний момент часу (інтенсивність руху транспортних засобів, рівень провітрюваності частин міста, погодні умови, напрям вітру та ін.), $\bar{u}_k \in R^p$;

$\bar{e}_{k+1} = (e_{1k+1}, e_{2k+1}, \dots, e_{nk+1})^T$ — вектор похибок із відомими граничними значеннями.

Для похибок спостережень за концентраціями шкідливих викидів виконуються такі умови:

$$|e_{jk+1}| \leq \Delta_{jk+1}, \quad \Delta_{jk+1} > 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (3)$$

де Δ_{jk+1} — гранична амплітуда похибки оцінки спектроаналізатором концентрації відповідної шкідливої речовини.

Позначимо за **Tol** перетворення, що дозволяє отримати допускові оцінки інтервалів вектора економічних збитків $[\bar{z}_{k+1}^-, \bar{z}_{k+1}^+]$ на основі даних вимірювань концентрацій шкідливих речовин, тобто:

$$[\bar{z}_{k+1}] = [\bar{z}_{k+1}^-, \bar{z}_{k+1}^+] = \mathbf{Tol}(\bar{y}_{k+1}, |\bar{e}_{k+1}| \leq \bar{\Delta}_{k+1}, NZV), \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (4)$$

де $\bar{\Delta}_{k+1} = (\Delta_{1k+1}, \dots, \Delta_{jk+1}, \dots, \Delta_{nk+1})^T$.

Умовою отримання допускових коридорів динаміки економічних збитків є таке включення:

$$[\hat{x}_{k+1}^-] = [\hat{x}_{k+1}^-, \hat{x}_{k+1}^+] \subseteq [\bar{z}_{k+1}] = [\bar{z}_{k+1}^-, \bar{z}_{k+1}^+], \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (5)$$

де

$$\begin{cases} [\hat{x}_{1k+1}] = \hat{g}_1^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{ik+1}] = \hat{g}_i^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_i^T \cdot \bar{u}_k, \quad k = 0, \dots, N-1. \\ \vdots \\ [\hat{x}_{mk+1}] = \hat{g}_m^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \end{cases} \quad (6)$$

При цьому передбачаємо, що інтервальні оцінки економічних збитків у момент $k=0$ є відомими, або задамо їх у такий спосіб, щоб вони належали інтервальним оцінкам економічних збитків, отриманих за результатами вимірювань концентрацій шкідливих речовин, тобто

$$[\hat{x}_{k=0}] = [\hat{x}_0] \subseteq [\bar{z}_0]. \quad (7)$$

Користуючись умовами (5), виразами для моделювання економічних збитків (6) та відомими інтервальними оцінками економічних збитків у початковий момент (7), складемо систему інтервальних рівнянь для оцінювання параметрів \bar{g}_i моделі динаміки економічних збитків та факторів впливу \bar{q}_i , $i = 1, \dots, m$:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\hat{x}_{k=0}] = [\hat{x}_0] \subseteq [\bar{z}_0] \\ z_{1k+1}^- \leq \hat{g}_1^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{1k+1}^+ \\ \vdots \\ z_{ik+1}^- \leq \hat{g}_i^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_i^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{ik+1}^+ \\ \vdots \\ z_{mk+1}^- \leq \hat{g}_m^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{mk+1}^+, k = 0, \dots, N-1, \\ [\hat{x}_{1k+1}] = \hat{g}_1^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{ik+1}] = \hat{g}_i^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_i^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{mk+1}] = \hat{g}_m^T \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \end{array} \right. \quad (8)$$

Інтервальні оцінки вектора економічних збитків $[\bar{z}_{k+1}] = [\bar{z}_{k+1}^-, \bar{z}_{k+1}^+]$ отримані за результатами вимірювань концентрацій шкідливих викидів для заданих дискретних значень вектора факторів впливу \bar{u}_{k+1} .

Розв'язками системи інтервальних рівнянь (8) є оцінки \hat{g}_i ($i = 1, \dots, m$) параметрів моделі та оцінки \hat{q}_i ($i = 1, \dots, m$) вектора факторів впливу, які забезпечують умови включення (5).

Отже, лінійну динамічну модель опишемо системою різницевих рівнянь у матричному вигляді

$$\bar{x}_{k+1} = G \cdot \bar{x}_k + Q \cdot \bar{u}_k, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (9)$$

де

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & \dots & g_{1i} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & \dots & g_{2i} & \dots & g_{2n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g_{n1} & \dots & g_{ni} & \dots & g_{nn} \end{pmatrix} \text{ — матриця невідомих параметрів моделі;}$$

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & \dots & q_{1i} & \dots & q_{1p} \\ q_{12} & \dots & q_{2i} & \dots & q_{2p} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ q_{m1} & \dots & q_{ni} & \dots & q_{np} \end{pmatrix} \text{ — матриця факторів впливу.}$$

Рівняння, які описують взаємозв'язок між миттєвими значеннями концентрацій шкідливих викидів та збитками, задані виразом (2). При цьому властивості похибок спостережень задані умовами (3).

Інтервальні моделі динаміки економічних збитків матимуть такий вигляд:

$$[\hat{x}_{k+1}] = \hat{G} \cdot [\bar{x}_k] + \hat{Q} \cdot \bar{u}_k, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (10)$$

де \hat{G} та \hat{Q} — оцінки параметрів лінійної динамічної моделі економічних збитків та параметрів факторів впливу на збитки, відповідно.

У розгорнутому вигляді система інтервальних рівнянь для ідентифікації параметрів лінійної моделі динаміки економічних збитків матиме такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\hat{x}_{k=0}] = [\hat{x}_0] \subseteq [\bar{z}_0] \\ z_{1k+1}^- \leq \hat{g}_1^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{1k+1}^+ \\ \vdots \\ z_{ik+1}^- \leq \hat{g}_i^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_i^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{ik+1}^+ \\ \vdots \\ z_{mk+1}^- \leq \hat{g}_m^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \leq z_{mk+1}^+ \\ [\hat{x}_{1k+1}] = \hat{g}_1^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_1^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{ik+1}] = \hat{g}_i^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_i^T \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{mk+1}] = \hat{g}_m^T \cdot [\hat{x}_k^-; \hat{x}_k^+] + \hat{q}_m^T \cdot \bar{u}_k \end{array} \right., \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (11)$$

де $\hat{g}_i^T = (\hat{g}_{i1}, \dots, \hat{g}_{ii}, \dots, \hat{g}_{im})$ — вектор-стрічка матриці \hat{G} ;

$\hat{q}_i^T = (\hat{q}_{i1}, \dots, \hat{q}_{ii}, \dots, \hat{q}_{ip})$ — вектор-стрічка матриці \hat{Q} .

Таким чином, задача побудови математичної моделі динаміки економічних збитків — наслідків забруднення атмосфери автотранспортом зведена до задачі розв'язування інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь. Для її розв'язування необхідно спочатку знайти коефіцієнти матриці перерахунку вимірюваних концентрацій шкідливих викидів у розміри економічних збитків, а потім оцінити інтервали економічних збитків за вимірюваними концентраціями.

Метод побудови інтервальних моделей економічних збитків

Розглянемо метод параметричної ідентифікації моделей динаміки економічних збитків із заданою точністю, яка визначається граничними значеннями похибок спостережень за вимірними концентраціями шкідливих викидів.

В основу процедури пошуку розв'язків системи (8) покладено ітераційний метод уточнення наближеного розв'язку.

Крок 1. Задання початкового наближення \hat{g}_0 .

Крок 2. Покладемо $l = 0$, де l — номер ітерації пошуку \hat{g}_{dop} .

Крок 3. Обчислення $[\hat{x}_{l+1,k+1}]$, $k = 0, \dots, N-1$ за формулами (6), модифікованими для $l+1$ -ітерації:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\hat{x}_{1k+1}^{l+1}] = \hat{g}_{1l+1} \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_{1l+1} \cdot \bar{u}_k \\ \vdots \\ [\hat{x}_{ik+1}^{l+1}] = \hat{g}_{il+1} \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_{il+1} \cdot \bar{u}_k, \quad k = 0, \dots, N-1. \\ \vdots \\ [\hat{x}_{mk+1}^{l+1}] = \hat{g}_{ml+1} \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_{ml+1} \cdot \bar{u}_k \end{array} \right.$$

Крок 4. Обчислення величини, що задає якість поточного наближення до допускового вектора за формулою:

$$\delta_{l+1} = \max_{k=1 \dots N, j=1, \dots, m} \{wid([\hat{x}_{ik+1}^{l+1}]) - wid([\hat{x}_{ik+1}^{l+1}] \cap [z_{ik+1}])\}.$$

Крок 5. Якщо $\delta_l = 0$, обчислене за попередньою формулою, то $\hat{g}_{dop} = \hat{g}_l$ і кінець пошуку, інакше — покладемо $l=l+1$ і перехід на крок 6.

Крок 6. Генерування випадкового вектора $\bar{\xi}_l$ за формулою:

$$\bar{\xi}_l = r \cdot \left(\frac{\Delta g_{11l}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta g_{1ml}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta g_{m1l}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta g_{mml}}{R_l}, \frac{\Delta q_{11l}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta q_{1pl}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta q_{m1l}}{R_l}, \dots, \frac{\Delta q_{mpl}}{R_l} \right), \quad (12)$$

де $\Delta g_{11l}, \dots, \Delta g_{1ml}, \dots, \Delta g_{m1l}, \dots, \Delta g_{mml}, \Delta q_{11l}, \dots, \Delta q_{1pl}, \dots, \Delta q_{m1l}, \dots, \Delta q_{mpl}$ — випадкові числа, згенеровані відповідно до рівномірного закону розподілу на інтервалі $[-1; 1]$;

$$R_l = \sqrt{(\Delta g_{11l})^2 + (\Delta g_{1ml})^2 + \dots + (\Delta g_{m1l})^2 + \dots + (\Delta g_{mml})^2 + (\Delta q_{11l})^2 + \dots + (\Delta q_{1pl})^2 + \dots + (\Delta q_{m1l})^2 + \dots + (\Delta q_{mpl})^2}.$$

Крок 7. Обчислення нового наближення \hat{g}_{l+1} за формулою:

$$\hat{g}_{l+1} = \hat{g}_l + \bar{\xi}_l \quad (13)$$

і перехід на крок 3.

З формули (13) видно, що «якість» нового наближення залежить від згенерованого випадковим чином вектора ξ_l , зокрема від оптимального вибору параметра пошуку r .

Вище описаний алгоритм реалізовано на мові програмування С.

Методика оцінювання економічних збитків на основі вимірних концентрацій шкідливих речовин

Для отримання моделі динаміки збитків необхідно знайти оцінки збитків за вимірними концентраціями шкідливих викидів автотранспорту. Для цього скористаємося результатами праці [6].

Враховуючи наявні, обмежені за амплітудою похибки \bar{e}_{k+1} , взаємозв'язок між концентраціями виявлених миттєвих значень шкідливих речовин і збитками різних видів матиме такий наближений вигляд:

$$\bar{y}_{k+1} - \Delta_{k+1} \cdot \bar{I} \leq NZV \cdot \bar{x}_{k+1} \leq \bar{y}_{k+1} + \Delta_{k+1} \cdot \bar{I}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (14)$$

де \bar{I} — одиничний вектор.

Розглянемо випадок коли кількість видів економічних збитків співпадає із кількістю видів концентрацій шкідливих речовин $m=n$. У цьому випадку матриця NZV є квадратною та не виродженою.

Відповідно до п. 6.2 методики [3], сума збору за забруднення навколишнього середовища автотранспортом визначається залежно від кількості використаного пального. Згідно даної методики, величину збитків по видах, віднесених до тони шкідливих викидів можна розрахувати за формулою

$$ZB_{ij} = NV_{ij} \cdot II \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де NV_{ij} — нормативи j -го збору, який справляється за річні викиди i -тої забруднюючої речовини (грн/т); II — величина індексу споживчих цін (індекс інфляції) за попередній рік; K_1 — коригуючий коефіцієнт до нормативів збору, який встановлюється залежно від чисельності жителів населеного пункту; K_2 — коригуючий коефіцієнт до нормативів збору, який встановлюється залежно від народногосподарського значення населеного пункту.

Тоді кожен елемент матриці взаємозв'язку між концентраціями виявлених миттєвих значень шкідливих речовин і збитками різних видів обчислюємо за формулою:

$$nzv_{ij} = 1 / NV_{ij} \cdot \Pi \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (15)$$

де K_3 — коефіцієнт перерахунку миттєвих значень концентрацій шкідливих викидів у концентрації за певний період. Методика розрахунку коефіцієнта K_3 зорієнтована на відповідну технологію отримання миттєвих значень концентрацій шкідливих викидів [6].

За цих умов, коефіцієнт K_3 обчислюватимемо за такою формулою:

$$K_3 = V \cdot t_k / t_v,$$

де V — об'єм приземистого шару атмосфери, який визначається його товщиною та площею району інтенсивного руху автотранспортних засобів; t_v — тривалість забору повітря для вимірювання концентрацій шкідливих викидів, виражена у частці до річної; t_k — тривалість дискрети у частці до року. Зауважимо, що при цьому компоненти \bar{y}_{k+1} — вектора виміряних значень концентрацій шкідливих речовин у $k+1$ -й дискретний момент часу обчислюватимемо на основі миттєвих \tilde{y}_{k+1} за формулою $\bar{y}_{k+1} = t_k \cdot \tilde{y}_{k+1}$. Таким чином, похибки $\vec{e}_{k+1} = (e_{1k+1} \ e_{2k+1} \ \dots \ e_{mk+1})^T$ у формулі (2) враховуватимуть також похибку перерахунку виміряних миттєвих значень концентрацій шкідливих викидів у концентрації для заданої тривалості дискрети, наприклад денних викидів шкідливих речовин.

Перейдемо до розгляду прикладу реалізації запропонованої методики.

Приклад моделювання динаміки річних збитків нанесених довкіллю через шкідливі викиди автотранспортом

Розглянемо модель, яка має один фактор впливу (\vec{u}_k) — інтенсивність транспортних потоків та один вид економічних збитків $z_{1,k+1}$ — річні збитки від викидів шкідливих речовин. Канал вимірювання опишемо рівнянням (2), у якому: y_{k+1} — обсяги річних викидів шкідливих речовин; $NZV = \{nzv_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m\}$ — матриця, що задає структуру каналу вимірювання. Кожен елемент матриці каналу вимірювання обчислюємо за формулою (15).

Вимірювання проводились щоденно протягом квітня 2009 року. Результати вимірювань подано в табл. 1.

Таблиця 1

**МИТТЄВІ ЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ
ШКІДЛИВИХ ЗАБРУДНЕНЬ АВТОТРАНСПОРТОМ ЗА КВІТЕНЬ 2009 р.**

Дата	k	Межі миттєвих значень концентрації діоксиду азоту (NO ₂), мг/м ³	
		\tilde{y}_k^-	\tilde{y}_k^+
1.04	1	0,0629	0,0851
2.04	2	0,0714	0,0966
3.04	3	0,0722	0,0977
4.04	4	0,0740	0,1000
5.04	5	0,0748	0,1012
6.04	6	0,0714	0,0966
7.04	7	0,0586	0,0793
8.04	8	0,0595	0,0805
9.04	9	0,0663	0,0897
10.04	10	0,0680	0,0920
11.04	11	0,0629	0,0851
12.04	12	0,0646	0,0874
13.04	13	0,0748	0,1012
14.04	14	0,0561	0,0759
15.04	15	0,0586	0,0793
16.04	16	0,0739	0,1000
17.04	17	0,0748	0,1012
18.04	18	0,0748	0,1012
19.04	19	0,0629	0,0851
20.04	20	0,0646	0,0874
21.04	21	0,0646	0,0874
22.04	22	0,0612	0,0828
23.04	23	0,0722	0,0977
24.04	24	0,0714	0,0966
25.04	25	0,0680	0,0920
26.04	26	0,0680	0,0920
27.04	27	0,0697	0,0943
28.04	28	0,0663	0,0897
29.04	29	0,0671	0,0908
30.04	30	0,0714	0,0966

Для оцінки впливу викидів шкідливих речовин були визначені нормативи збору за забруднення навколишнього природного середовища за діючою формою податкового розрахунку. Для діючого азоту норматив збору становить 131 грн/т, $\Pi = 1,252$ (для 2008 року); $K_1 = 1,2$ (100,1—250 тис. чол.); $K_2 = 1,25$ (місто державного значення).

Для розрахунку коефіцієнта K_3 перерахунку миттєвих значень концентрацій шкідливих викидів у щоденні концентрації встановлено, що об'єм приземистого шару атмосфери центральної частини міста Тернополя складає: $V=59000000 \text{ м}^3$.

Результати розрахунків значення гарантованих меж щоденних збитків для $k+1$ та k -тої дискрет разом із значеннями щоденної інтенсивності транспортних потоків подано в табл. 2.

Таблиця 2

**ЩОДЕННІ ЗБИТКИ ВНАСЛІДОК ЗАБРУДНЕННЯ
АВТОТРАНСПОРТОМ ПРИЗЕМИСТОГО ШАРУ АТМОСФЕРИ
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ м. ТЕРНОПІЛЬ ЗА КВІТЕНЬ 2009 р.**

Дата	k	Інтенсивність транспортних потоків, автомоб./добу	Межі збитків внаслідок забруднень діоксидом азоту, грн	
		u_k	z_k^-	z_k^+
1.04	1	84960	117,19	158,55
2.04	2	86400	133,03	179,98
3.04	3	86400	134,52	182,03
4.04	4	76320	137,87	186,31
5.04	5	73440	139,36	188,55
6.04	6	50400	133,03	179,98
7.04	7	50400	109,18	147,75
8.04	8	67680	110,86	149,98
9.04	9	69120	123,52	167,12
10.04	10	64800	126,69	171,41
11.04	11	66240	117,19	158,55
12.04	12	76320	120,36	162,84
13.04	13	47520	139,36	188,55
14.04	14	50400	104,52	141,41

Закінчення табл. 2

Дата	k	Інтенсивність транспортних потоків, автомоб./добу	Межі збитків внаслідок забруднень діоксидом азоту, грн	
		u_k	z_k^-	z_k^+
15.04	15	83520	109,18	147,75
16.04	16	84960	137,68	186,31
17.04	17	80640	139,36	188,55
18.04	18	64800	139,36	188,55
19.04	19	66240	117,19	158,55
20.04	20	54720	120,36	162,84
21.04	21	51840	120,36	162,84
22.04	22	79200	114,02	154,27
23.04	23	82080	134,52	182,03
24.04	24	69120	133,03	179,98
25.04	25	69120	126,69	171,41
26.04	26	72000	126,69	171,41
27.04	27	56160	129,86	175,69
28.04	28	57600	123,52	167,12
29.04	29	73440	125,02	169,17
30.04	30	53280	133,03	179,98

За даними табл. 2 знайдемо параметри моделі

$$[\hat{x}_{k+1}] = \hat{g}_{dop} \cdot [\hat{x}_k] + \hat{q}_{dop} \cdot u_k,$$

де $[\hat{x}_{k+1}], [\hat{x}_k]$ — інтервальні прогнози щоденних збитків у квітні 2009 р., нанесених довікільно внаслідок забруднення автотранспортом: $\hat{g}_{dop} = 0.269$, $\hat{q}_{dop} = 1.576 \cdot 10^{-3}$.

Коридор інтервальних моделей разом із експериментальними наведено на рис. 1.

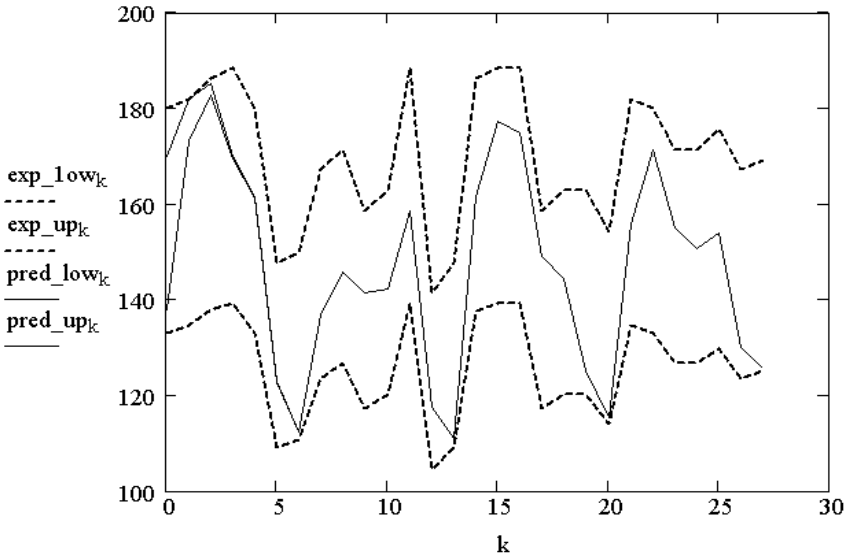


Рис. 1. Динаміка збитків від забруднення шкідливими речовинами діоксиду азоту

На рис. 1 суцільною лінією позначено межі прогнозованого коридору, який звужується із зростанням номера дискрети. Пунктирна лінія відображає коридор експериментальних даних. Як видно із рис. 1, отриманий розв'язок є допусковим, оскільки прогнозні коридори включені в експериментальні. Таким чином, модель є адекватна.

Висновки

Проаналізовано сучасні методики оцінювання обсягу шкідливих викидів в атмосферу і розрахунку платежів за викиди. Для оцінювання збитків навколишньому середовищу автотранспортом запропоновано методику встановлення взаємозв'язку між миттєвими значеннями концентрацій шкідливих речовин та збитками. Застосовано метод параметричної ідентифікації лінійних динамічних систем на основі аналізу інтервальних даних, що дозволив побудувати інтервальну модель динаміки економічних збитків нанесених довікллю внаслідок забруднення автотранспортом діоксидом азоту.

Література

1. Сайт Верховної Ради України. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0048-09>.
2. *Кушнір О. К.* Оцінка річних збитків внаслідок забруднення приземистого шару атмосфери автотранспортом на прикладі міста Кам'янець-Подільського // Вісник економіки транспорту і промисловості. — 2010. — № 29. — С. 260—264.
3. Інструкція про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища: від 19.07.1999 №162/379 / Міністерство охорони навколишнього середовища та ядерної безпеки України. — Офіц. вид. — К.: ГК, 1999. — 54 с.
4. *Кунцевич В.* Получение гарантированных оценок в задачах параметрической идентификации / В. Кунцевич, М. Лычак // Автоматика. — 1982. — № 4. — С. 49—59.
5. *Дивак М.* Ідентифікація параметрів моделей «вхід-вихід» динамічних систем на основі інтервального підходу / М. Дивак, П. Стахів, І. Каліщук // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — 2004. — Т. 9. — № 4. — С. 109—117.
6. *Дивак М. П.* Інтервальне моделювання динаміки збитків внаслідок забруднення автотранспортом // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 3 (13) — С. 32—40.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2010 р.

УДК 330.131.7+004.942+622

І. Є. Афанасьєв, асистент,
Криворізький економічний інститут
ДВНЗ «Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана»

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ СОБІВАРТІСТЮ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

АНОТАЦІЯ. У роботі обґрунтовано можливості створення більш повної та адекватної моделі підвищення ефективності управління собівартістю залізорудної продукції гірничорудного підприємства. Розроблено підхід щодо врахування впливу стохастичного характеру цих процесів та модель економічного ефекту від впровадження імітаційного моделювання в оцінюванні дисперсії точкових значень вмісту заліза у розвалі гірської маси після вибуху.