

УДК 519.713: 504.064

## ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ

Т.В. КОЗУЛЯ, Н.В. ШАРОНОВА, М.О. БІЛОВА, М.М. КОЗУЛЯ

Запропоновано новий підхід до оцінки стану природно-техногенних об'єктів з позицій сталого розвитку, що ґрунтується на методі компараторної ідентифікації. Розроблено алгоритмічне забезпечення реалізації методології компараторної екологічної ідентифікації з встановлення рівня екологічності еколого-соціально-економічних систем, розроблено математичні моделі стану системних об'єктів. На основі поданого методу отримано рейтинг еколого-економічних систем з безпечності екологічного стану та комплексну оцінку екологічності території забруднення важкими металами з встановленням механізмів саморегулювання якості систем. Розрахунок оцінки екологічності досліджених об'єктів за наданою методикою проведено відповідно програмного забезпечення, яке дозволяє автоматизувати аналіз стану складних систем.

### ВСТУП

Доцільність досліджень з ідентифікації несприятливих техногенних впливів на природне середовище (ПС), пов'язаних з динамічністю, інтенсивністю і небезпечністю наслідків для стану і функціонування соціально-екологічних систем, обумовлена недостатньою розробленістю теоретичних положень щодо узгодженості різнорідних оцінок стану складових еколого-соціально-економічних систем. Необхідність таких робіт визначена виконанням державних екологічних проектів з реалізації Концепції екологічної політики України, спрямованої на втілення загальноприйнятих принципів сталого розвитку (СР), які полягають у поєднанні та узгодженості в екологічній оцінці економічного, екологічного та людського розвитку за умови відсутності зниження якості й безпеки життя людей, збереження природного стану НС й соціального прогресу, відповідно до потреб людини [1–3].

Аналіз ситуації щодо розробок методичного забезпечення оцінки різних факторів впливу на об'єкти навколишнього природного середовища (НПС), показав, що у ході розв'язання задачі уніфікації та узгодження задач структурної і параметричної ідентифікації доцільно звернутися до інтелектуальних моделей, які б поєднували функції узагальненої корисності з оцінкою альтернатив розв'язання. Для задач синтезу й ідентифікації моделей багатофакторного оцінювання й оптимізації найбільш прийнятним є метод компараторної ідентифікації, запропонований Ю.П. Шабановим-Кушнаренком [4], який було розвинено у роботах М.Ф. Бондаренка [5], Е.Г. Петрова [6] та їх наукових шкіл.

**Метою роботи** є запровадження положень теорії компараторної ідентифікації для формування методичного забезпечення з оцінювання екологічного стану системних об'єктів, пов'язаних із багатофакторним аналізом.

У ході дослідних робіт поставлено та вирішено такі задачі:

- обґрунтовано необхідність і доцільність оцінки екологічної якості складних систем за концепцією сталого розвитку у ході використання методу компараторної ідентифікації;
- розроблено алгоритмічне забезпечення реалізації запропонованої методики з встановлення рівня екологічності природно-техногенних об'єктів;
- встановлено математичні моделі стану еколого-економічних об'єктів із застосуванням елементів синергетики — ентропійну та інформаційну функції як індикатори екологічності систем;
- проаналізовано практичні результати екологічних розрахунків відповідно до встановлених оцінок якості за існуючими методиками, визначено ефективність запровадження компараторної ідентифікації для системи оцінювання стану складних екологічних систем.

## ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХ ПРАКТИЧНА ОЦІНКА

Моделі індексного оцінювання стану системних об'єктів природно-техногенного походження орієнтовані на встановлення явних (прямих) властивостей системи, рівень яких безпосередньо визначається властивостями елементів, що утворюють систему. За концепцією СР екологічність як рівень якості НПС досягається за умови цілісності еколого-соціально-економічної системи, що передбачає визначення екологічної безпеки не за усередненими проміжними результатами, а з врахуванням усього спектру різномірних даних моніторингу. Саме багатофакторність аналізу вихідної інформації та її різноманітність за природою та динамікою складає проблематику об'єктивного оцінювання системних об'єктів.

Таким чином, необхідною є розробка більш складної моделі розрахунку індексу сталого розвитку, яка враховувала б не тільки параметричну, а й структурну ідентифікацію моделі та емерджентні властивості системи. Для вирішення цього питання запропоновано звернутися до методу компараторної ідентифікації, який дозволяє відмовитися від проміжних оцінок, що дають накопичення похибок, замінивши їх аналізом (порівнянням) ситуації, як цілого.

Для реалізації компараторної ідентифікації екологічної відповідності прийнято деяку сукупність об'єктів  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$  загальною кількістю  $n$ , кожен з яких характеризується  $m$  певних параметрів початкового стану  $S$ :

$$\begin{aligned} X_0(x_{00}, x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m}), S_0; \\ X_1(x_{10}, x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}), S_1; \\ \dots \\ X_n(x_{n0}, x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}), S_n; \\ i = \overline{1; n}, j = \overline{1; m}. \end{aligned} \quad (1)$$

Задача екологічного оцінювання полягає у встановленні структурної здатності системного утворення призводить до виникнення процесу, який

спричиняє перехід систем у новий екологічно відповідний стан  $S_1$  або збереження стану  $S_0'$  під час реалізації небезпеки і виникненні суттєвих дестабілізуючих порушень у них (рис. 1).

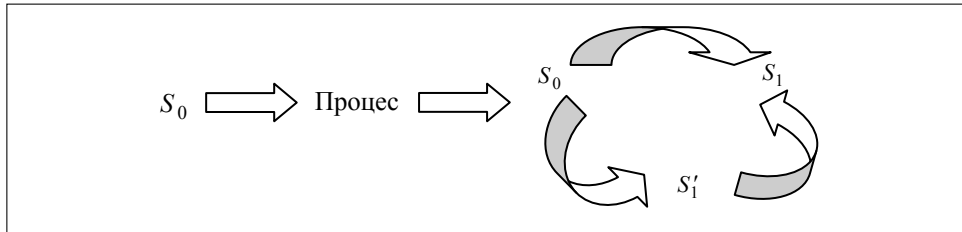


Рис. 1. Схема екологічної відповідності розвитку систем

Відповідно до методу компараторної ідентифікації запропоновано розробити шкалу відповідності екологічній якості під час оцінювання стану природно-техногенних об'єктів дослідження. Для фіксованого  $j$  обирається одне еталонне значення параметру  $y_j$ , яке буде мінімальним або максимальним значенням параметру  $x_{ij}$  серед усіх  $X_n$  в залежності від фізичного змісту кожного з параметрів. Загальна кількість еталонних значень буде складати  $m$ .

У ситуації оцінки за різнорідними щодо фізичного змісту параметрами необхідним є їх нормування, що полягає у порівнянні встановленої властивості системи  $x_{ij}$  з її еталонним значенням  $y_j$  й знаходженні частки

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{y_j}. \quad (2)$$

Для характеристики стану системи запропоновано три варіанти відношення:  $n_{ij} = 1$  — оптимальний,  $n_{ij} \gg 1$  та  $n_{ij} \ll 1$  — незадовільний, який свідчить про високий рівень відхилення від відповідності вимогам екологічного розвитку.

З метою встановлення міри відповідності запропоновано визначення відхилення від еталонного значення, прийнятого на одиницю, у вигляді:

$$\Delta_{ij} = \frac{|n_{ij} - 1|}{\max n_j - \min n_j}. \quad (3)$$

Оптимальним варто вважати значення  $\Delta_{ij} = 0$ , допустимим під час оцінки якості для змінених систем прийнято відхилення 20% [7], що відповідає припустимим або малим ризикам, а звідси значення параметра для відношення відповідності прийняти  $\Delta_{ij} \in [0; 0,2]$ .

Для вибору відповідного стану екологічності досліджених об'єктів усі значення  $\Delta_{ij}$  проходять через компаратор. Якщо значення  $\Delta_{ij}$ , що надходить на вхід компаратора, знаходиться в межах  $[0; 0,2]$ , то відповідь на виході компаратору буде ТАК, тобто 1. В іншому випадку на виході компаратора буде НІ, тобто параметр оцінювання дорівнює 0.

Таким чином, кожен з об'єктів  $X_i$  буде характеризуватись множеною  $k_{im}$ , де кожне  $k_{ij}$  дорівнює 0 або 1. Надалі використовується компаратор, що має  $m$  входів та один вихід. Такий компаратор застосовується для кожного  $X_i$ : на вхід подаються відповідні значення  $k_{ij}$  і, якщо всі вони дорівнюють 1, — на виході буде значення ТАК. Такий об'єкт є «відповідним» — він не потребує заходів управління або регулювання його якості. Однак, якщо хоч один з  $k_{ij}$  дорівнює 0, — об'єкт потребує регулюючих змін для повернення початкових параметрів або управляючих дій з досягнення відповідності вимогам екологічної безпеки.

Запропоновану методику екологічної оцінки відповідності запропоновано для визначення рейтингу об'єктів за їх станом. На перше місце рейтингу пропонується розмістити об'єкт, для якого найбільша кількість характеристик  $k_{ij}$  приймає значення 1. Сформована таким чином нова вибірка систем оцінювання більше не буде містити в собі вищеназваний об'єкт. Розрахунки починаються з пошуку еталонних значень параметрів  $y_j$ . За тим же принципом обирається об'єкт, який посідає друге місце рейтингу. Формується оновлена вибірка. Таким чином, розрахунки проводяться до моменту повного розміщення досліджених об'єктів у певній послідовності за значеннями екологічних відхилень (рис. 2).

Запропоновану методику компараторної ідентифікації екологічності реалізовано для визначення стану регіонів з високо розвинутою промислово-соціальною інфраструктурою ( $X_i$ ) за такими показниками:  $x_{i1}$  — приріст населення за останній рік;  $x_{i2}$  — народжуваність;  $x_{i3}$  — кількість померлих віком до одного року;  $x_{i4}$  — середня заробітна плата;  $x_{i5}$  — кількість безробітних працездатного віку;  $x_{i6}$  — реалізована промислова продукція, млн. грн;  $x_{i7}$  — викиди забруднюючих речовин, тис. т;  $x_{i8}$  — кількість утворених відходів, тис. т;  $x_{i9}$  — утилізовано відходів, тис. тонн [8].

За формулами (2, 3) та алгоритмом (рис. 2) наведено рейтингові розрахунки, у результаті яких отримано таку послідовність стану областей за рівнем екологічності: 1. Київська; 2. Волинська; 3. Автономна Республіка Крим; 4. Івано-Франківська; 5. Закарпатська; 6. Рівненська; 7. Чернівецька; 8. Запорізька; 9. Полтавська; 10. Сумська; 11. Миколаївська; 12. Кіровоградська; 13. Житомирська; 14. Тернопільська; 15. Донецька; 16. Дніпропетровська; 17. Харківська; 18. Херсонська; 19. Луганська; 20. Львівська; 21. Чернігівська; 22. Хмельницька; 23. Черкаська; 24. Одеська; 25. Вінницька.

Результати рейтингу збігаються з оцінкою стану екологічної безпеки областей України за трьома класами небезпеки, встановленими за інтегральним показником ризику (перші 8 місць рейтингу більше, ніж на 50% мають низьку оцінку ризику, а з 9-ї позиції переважає оцінка високого і середнього ризику) [9].

Відповідно до запропонованої методики оцінки екологічної відповідності встановлено рейтинг більш небезпечних промислових об'єктів Харківської області за рівнем небезпеки їх стану:  $X_1$  — ПАТ «Євроцемент-Україна»,

$X_2$  — ПАТ «Харківська ТЕЦ-5»,  $X_3$  — Філія «Теплоелектроцентрально» ТОВ «ДВ нафтогазовидобування»,  $X_4$  — Зміївська ТЕС ПАТ «Центрэнерго». Аналіз виконано у рамках восьми параметрів, кожен з яких позначає кількість викидів у тоннах на рік певної речовини:  $x_{i1}$  — метали та їх сполуки;  $x_{i2}$  — речовини у вигляді зважених твердих частинок;  $x_{i3}$  — сполуки азоту;  $x_{i4}$  — діоксид та інші сполуки сірки;  $x_{i5}$  — оксид вуглецю;  $x_{i6}$  — неметанові леткі органічні сполуки;  $x_{i7}$  — метан;  $x_{i8}$  — діоксид вуглецю [10].

Рейтинг з небезпечності екологічного стану, отриманий після проведення розрахунків: 1 — Зміївська ТЕС ПАТ «Центрэнерго»; 2 — Філія «Теплоелектроцентрально» ТОВ «ДВ нафтогазовидобування»; 3 — ПАТ «Харківська ТЕЦ-5»; 4 — ПАТ «Євроцемент-Україна», що відповідає офіційним даним, представленим у «Доповіді про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2012 році» [10].

Для встановлення об'єктивної комплексної оцінки екологічності систем (КЕС), що є об'єктом управління якістю НПС, запропоновано запровадити структурну і параметричну ідентифікацію рівноваги систем і необоротних процесів, визначених самоорганізацією об'єкта [11]. Складний природно-техногенний об'єкт дослідження визначається у вигляді системної моделі — виділення економічного, екологічного і соціального аспектів аналізу, для якої передбачається перехід від системного аналізу стану мікрооб'єкту до визначення процесів стабілізації відповідно до положень теорії синергетики та негентропії.

На основі ймовірно-ентропійних показників стану систем і процесів ( $P$ ,  $S$  й параметр стану  $x$ ) запропоновано перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до характеристики термодинамічних потоків (процесів), які дозволяють утримати систему в стані рівноваги ( $\Delta S \rightarrow 0$ ) чи зменшити негативні впливи між системами за рахунок трансформаційних перетворень ( $S \rightarrow \max$ ), або фіксувати дестабілізацію в об'єкті  $\Delta S \rightarrow \max$ .

Загальний підхід у визначенні екологічності чи рівня екологічної безпеки системного об'єкта дослідження передбачає таку послідовність розв'язку задачі екологічної якості:

$$S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H'_w} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0), \quad (4)$$

де  $S_w$  — стохастичний оператор під час дії природних впливів, зовнішнього регулювання в межах природоохоронних заходів;  $q(x,t)$  — зв'язок між системами, речовинно-енергетичний потік;  $A_w$  — оператор переходу стохастичних функцій у детерміновані, який визначає перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації;  $D_w$  — детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу, що приводить об'єкт у рівноважний екологічний стан за умови стабілізації зовнішнього і внутрішнього гомеостазу — оператор  $H_w$  схеми «вхід-вихід», який для системного утворення визначається досягненням максимального ентропійного стану  $S_{\max}$  й відсутністю дестабілізуючих явищ ( $\Delta S \rightarrow 0$ ).

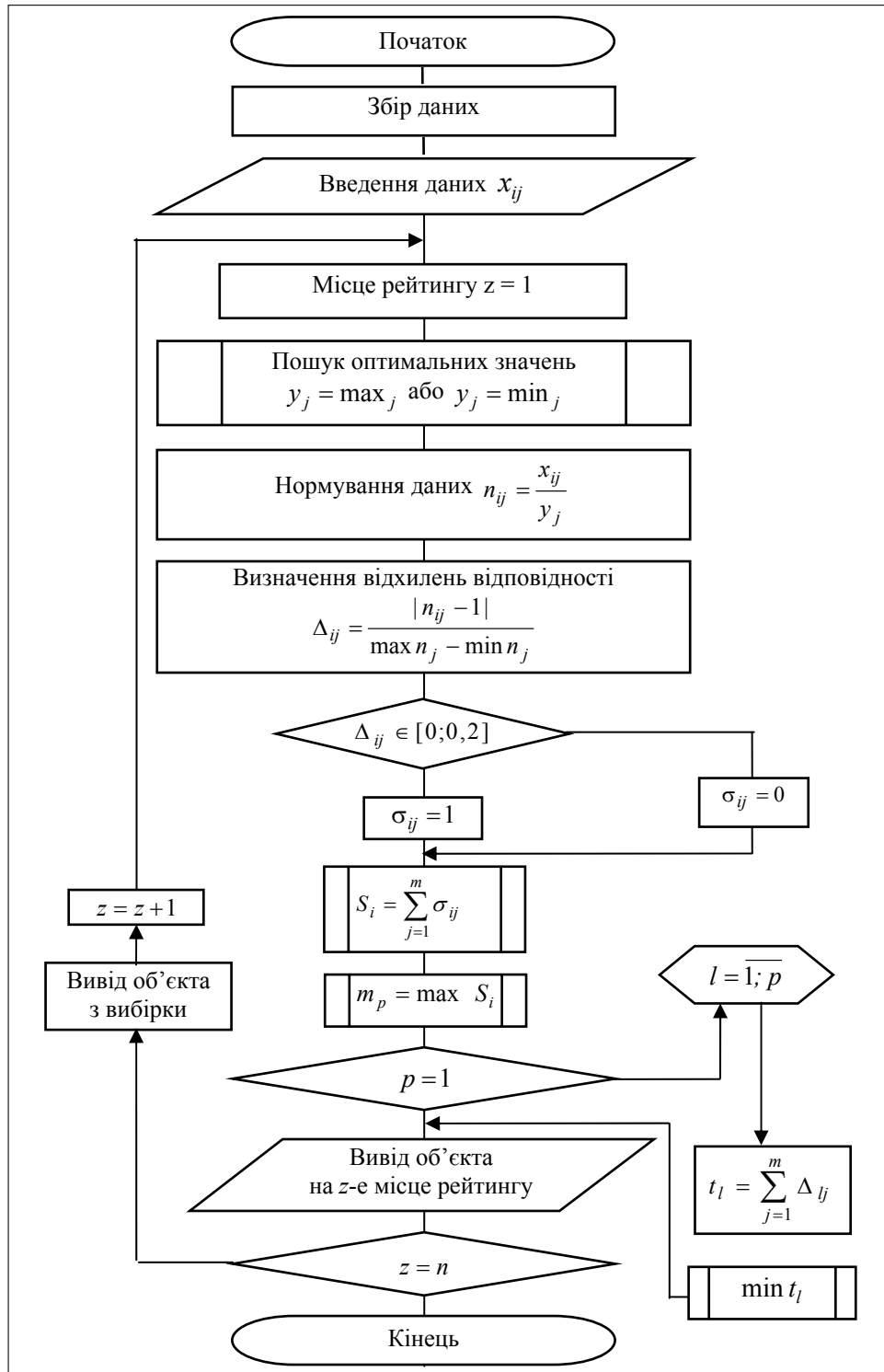


Рис. 2. Схема алгоритму оцінки якості за екологічним компаратором

Для комплексної оцінки екологічності територіально-об'єктових систем компараторна ідентифікація надає кількісне значення у двох парамет-

рах — 0 й 1, що дозволяє поєднати за параметром  $\Delta S$  зміни у стані систем і об'єкта й імовірності  $P$  порушення зв'язків у середовищі [5, 11–13].

За теорією компараторної ідентифікації [5]: компаратор — вимірювач відповідності структури, функціональності систем внутрішньому гомеостазу системного об'єкта, поданої кортежем  $X^s$  й  $X^t$  вхідного впливу  $X$  виду

$$F(A, X^{(s)}) = F(A, X^{(t)}), F(A, X^{(s)}) < (\leq) F(A, X^{(t)}), \quad s, t = \overline{1, k}, \quad s \neq t. \quad (5)$$

Зазначені кортежі є складовими термодинамічного потоку, визначеного як деякий зв'язок — відношення  $R$  між складовими системи і об'єкта відповідно до параметра  $A$  моделі і оператора  $F$  (структура) (2), що реалізує внутрішній гомеостаз складових систем. За однозначності характеристики стану систем через імовірнісно-ентропійні параметри оцінку екологічності надано видом оператора  $F$  й параметрів моделі  $A$ , для яких невідповідність вимогам безпеки (ситуація нееквівалентності) призводить до нерівності (5).

Під час вивчення територіально-об'єктових екосистем поряд з варіантами поведінки  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  для  $x_i \in X, i = \overline{1, n}$  розглядаються поодинокі кількісні вимірювання для окремих систем (наприклад, під час дослідження стану екосистеми «грунт» — вимірювання фізичних параметрів і хімічного складу як індикаторів їх екологічності і відповідності гомеостазу):

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i) \rangle.$$

На основі аналізу окремих характеристик систем за певних умов стану системного об'єкта визначають імовірнісну оцінку реалізованої структури і її відповідність вимогам екологічної безпеки, поданих у вигляді  $P: X \rightarrow V$ , де  $P$  — оператор моделі оцінювання, а  $V = P(X)$  — модель багатofакторних оцінок альтернатив рішення ( $v_i = P(x_i), i = \overline{1, n}$ ).

Оцінка екологічності систем і рівня безпеки передбачає застосування *вимірювальної процедури екологічного ризику*, яка і реалізує предикат виду

$$D_1(v_q, v_n) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q = v_n, \\ 0 & \text{при } v_q \neq v_n, \end{cases}$$

$$E_1(x_q, x_n) = D_1[P(x_q), P(x_n)], \quad \forall x_q, x_n \in X, \quad (6)$$

де  $v_q, v_n$  — оцінка корисності дослідженого і природного стану, як  $v_q = P(x_q), v_n = P(x_n)$  з врахуванням витрат на підтримку екологічності систем.

Аналіз потоків між системами та імовірності виникнення негативного фактору впливу  $v_q, v_r \in V$  виявляють зміни у результаті трансформаційних процесів щодо складу потоку, прояву ефектів у НПС, які приводять до збільшення  $S$  й  $\Delta S$  внутрішнього простору об'єкта. Результати аналізу подають за компаратором і предикатом у вигляді (позитивні результати — 1):

$$D_2(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q \geq v_r, \\ 0 & \text{при } v_q < v_r, \end{cases}$$

$$E_2(x_q, x_r) = D_2[P(x_q), P(x_r)], \forall x_q, x_r \in X. \quad (7)$$

Екологічність цього стану системи визначається незмінністю ентропійної функції оцінки і  $\Delta S \rightarrow 0$ , негативною оцінкою є збільшення імовірності перебігу процесів із дестабілізації систем  $S_q > S_r$ ,  $\Delta S > 0$  і появою ініціюючого впливу на них у внутрішньому середовищі об'єкта  $P(x_q) > P(x_r)$ .

Для моделі виду (4) стан систем визначається досягненням максимального значення ентропійної функції  $S_{\max}$  і відсутністю дестабілізуючих явищ ( $\Delta S \rightarrow 0$ ), надають оператор з деталізацією, зважаючи на пріоритетність збереження стійкості природних екосистем ( $x_1$ ):

$$P(x_s) > (\geq) P(x_1), \quad x_s, x_i \in X, \quad s = \overline{2, n}, \quad s \neq 1, \\ P(x_2) < (\leq) P(x_1), \quad P(x_3) < (\leq) P(x_1). \quad (8)$$

За узгодженням імовірнісно-ентропійних показників екологічності і компараторної ідентифікації (4–7) надано загальну модель ( $M$ ) оцінювання:

$$V_M(x_i) = P_M(A_M, K(x_i)), \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

де  $V_M(x_i)$  — узагальнена оцінка корисності альтернатив з оцінки екологічної якості систем, вибору їх структури, прийнятого рішення;  $P_M$  — оператор моделі оцінювання — структурна ідентифікація як реалізація економічних, соціальних і екологічних складових і їх зв'язку;  $K(x_i)$  —  $m$ -мірна кількісно-вимірjana вхідна дія (характеристика стану);  $A_M$  —  $r$ -мірний вектор характеристик моделі об'єкта — параметрична ідентифікація (стан систем, потоків, як зв'язок між системами).

За даними моніторингу для системного об'єкта визначають функцію

$$Y(x_i) = F(K(x_i)),$$

де  $Y(x_i)$  — скалярна багатофакторна оцінка станів або змін у складових і об'єкті (за рівнем задачі дослідження),  $x_i \in X$ ;  $K(x_i) = \{k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  — фактори оцінювання  $x_i$ , для яких вводиться коефіцієнт ізоморфізму з метою досягнення однорідності  $K(x_i) — A = \langle a_1, a_2, \dots, a_r \rangle$ .

Таким чином, загальна оцінка якості забезпечується завдяки досягненню однорідності подання досліджених факторів стану систем і характеристик процесів у них у вигляді  $S, \Delta S, P, Risk$ .

Реалізацію методики комплексної оцінки якості НПС розглянуто на прикладі дослідження екологічного стану ландшафтно-геохімічних комплексів, які знаходяться під впливом потоку забруднення важкими металами (ВМ).

За компараторною ідентифікацією (відношення (5–9)) визначають геохімічний підпростір  $A_1, A_2, \dots, A_m$  ( $m$  — розмірність), для якого  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  складені з факторів впливу у вигляді  $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2$ , що становлять предметний простір з катіонних і аніонних форм ВМ  $A_1 = A_2 = \dots = A_m = U$ :



$$U = \left\{ \underbrace{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}}_{x_1}, \underbrace{\text{Mo, Cr, V}}_{x_2} \right\}.$$

Для оцінки безпеки надходження ВМ в об'єкти НПС розглядають відношення  $\{x_1, x_2\}$   $m = 2$ ,  $A_1 = \{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}\}$ .  $A_2 = \{\text{Mo, Cr, V}\}$ , тоді  $S = A_1 \times A_2$  є множина пар виду  $(x_1, x_2)$ , для яких відношення формуються за значенням ентропійного стану, тобто аналізу процесів змін і самоорганізаційних здатностей системи ґрунт. Відношення, що є частинами одного простору, однотипні, реалізовані операціями: об'єднання — диз'юнкції  $\vee \cup$  — або; переріз — кон'юнкція  $\wedge \cap$  — і. Для аналізу стану важких елементів у ґрунті прийнято для значень імовірності відхилення кількості їх від нормативно встановленого обмеження у межах малого ризику — 20%:

$$P(x_1 - x_n) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq 0,2, \\ 0, & \text{якщо } x \geq 0,2. \end{cases}$$

Ентропія у ході самовільних процесів збільшується і відповідно цього ідентифікується стан безпеки знаходження елементу у ґрунті (таблиця).

**Таблиця.** Результати ентропійної і компараторної ідентифікації стану елементів у ґрунтах

Елемент	Ентропійний стан	Компаратор	Cr	V
Zn	-2,265	1	1	1
Co	-1,619	0	1	1
Ni	-1,616	0	1	1
Pb	-2,042	1	1	1
Sr	-1,687	1	1	1
Cu	-1,844	1	1	1
Mo	-1,462	0	1	1
Cr	-2,639	1	1	1
V	-2,434	1	1	1

Відношення з відображення «перевищення» природного рівня завдяки техногенному надходженню і взаємодії у ґрунті зі складовими ґрунтів (сорбція) і між собою з урахуванням об'єднання цих процесів для кожного елемента (кон'юнкція  $P' \cap Q$ ) має такий остаточний вид  $P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$  згідно з сформованою базою оцінки їх стану:

Важкі метали	Zn	Ni	Pb	Sr	Cu
Zn	1	1	1	1	1
Ni	0	0	0	0	0
Pb	1	1	1	1	1
Sr	1	1	1	1	1
Cu	0	0	0	0	0

Відповідно до отриманої досконалої диз'юнктивної нормальної форми (ДДНФ):  $P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$  отримують такі дані:

Важкі метали	Zn	Pb	Sr	Cr	V
Zn	0	0	0	1	1
Pb	0	0	0	1	1
Sr	0	0	0	1	1
Cr	1	1	1	0	0
V	1	1	1	0	0

Урахування перерізу станів Zn відповідно до стану присутніх інших важких металів (ВМ) визначено ДКНФ виду

$$x^0 y^3 \wedge x^0 y^4 \wedge x^1 y^3 \wedge x^1 y^4 \wedge x^2 y^3 \wedge x^2 y^4 \wedge x^3 y^0 \wedge x^3 y^1 \wedge x^3 y^2 \wedge x^4 y^0 \wedge x^4 y^1 \wedge x^4 y^2. \quad (10)$$

Зафіксовані процеси самовільних процесів накопичення ВМ можливі при малому значенні  $P$  відхилення від мінімального їх вмісту, стабільне забезпечення «позитивного стану» визначено значним відхиленням від допустимого обмеження наявності елементу у ґрунті та перебігу при цьому зазначених процесів:  $x^i \leq -2,3$  при  $P = 0,1$  і  $y^j \leq -2,99$  при  $\alpha = 0,05, P = 0,95$ .

З урахуванням даних таблиці і виразу (10) отримують таку оцінку стану елементів за компараторною ідентифікацією:

Zn	$x^0 = -2,78$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	<b>1</b>
Pb	$x^1 = -2,04$	$0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$	<b>0</b>
Sr	$x^2 = -2,02$	$0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$	<b>0</b>
Cr	$x^3 = -2,7$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	<b>1</b>
V	$x^4 = -2,46$	$1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$	<b>1</b>

Таким чином, феноменологічні знання про поведінку ВМ в об'єктах НПС обґрунтовуються ентропійною оцінкою їх стану та компараторною ідентифікацією з урахуванням «стан – процес» завдяки застосуванню ДДНФ і ДКНФ. Це дозволяє встановити фактор небезпеки, імовірність нівелювання його негативного впливу за рахунок процесів трансформації у міграційних потоках у наявності інших негативних складових фактору.

Аналогічно проводиться оцінка стану здоров'я населення, що є відображенням рівня екологічності дослідженої території.

Таким чином, сформована екологічна оцінка є комплексним критерієм щодо визначення стану еколого-соціально-економічної системи і суттєвих змін, пов'язаних з підтримкою гомеостазу в природно-техногенних об'єктах. Розрахунок оцінки екологічності досліджених об'єктів за наданою методикою (4–10) проводиться відповідно до програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати аналіз стану складних систем — Microsoft Visual Studio 2005 (рис. 3).



Рис. 3. Приклад оцінки рівня екологічності території

## ВИСНОВКИ

Отже, у роботі запропоновано новий підхід до оцінки стану об'єктів навколишнього середовища з позицій сталого розвитку, що ґрунтується на методі компараторної ідентифікації. Запропонована методика оцінки якості системних природно-техногенних об'єктів (рис. 1–3) дозволила отримати такі науково-практичні результати:

1) відповідно до удосконалення системного аналізу для розв'язання задач сталого розвитку запропоновано методика оцінки екологічної якості системних об'єктів із застосуванням теорії компараторної ідентифікації;

2) розроблено математичне (1–9) та алгоритмічне (рис. 2) забезпечення оцінки відповідності стану системного рівня моделей природно-техногенних комплексів вимогам екологічності;

3) використано надану методика для ранжування за екологічністю областей і підприємств за соціально-екологічними показниками, показано відповідність отриманих результатів встановленим даним [9, 10];

4) обґрунтовано ефективність запровадження компараторної ідентифікації для оцінки якості природно-техногенних об'єктів за ентропійною характеристикою стану і процесів, визначення факторів стабілізації екологічності.

Таким чином, у методиці оцінки стану об'єктів запроваджено компараторну ідентифікацію відповідності вимогам екологічності з урахуванням зв'язків між системами різної природи та визначенням стану об'єкту не за усередненими проміжними результатами, а за всіма даними інформаційного простору функціональності системного об'єкта дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рамперсанд Х. Универсальная система показателей: Как достигать результатов, сохраняя целостность. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 352 с.
2. Згуровский М.З., Гвишиани А.Д. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей. — К.: Політехніка, 2008. — 331 с.
3. Згуровський М.З., Статюха Г.О., Войтко С.В., Мельниченко А.А., Болдак А.О., Джигирей І.М. Аналіз сталого розвитку — глобальний та регіональні контексти. Україна в індикаторах сталого розвитку — К.: Політехніка, 2010. — 359 с.
4. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Мозгоподобные структуры: Справочное пособие. Том первый. Под ред. акад. НАН Украины И.В. Сергиенко. — К.: Наукова думка, 2011. — 460 с.
5. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко С.Ю., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Про загальну теорію компараторної ідентифікації // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2008. — № 2 (69). — С. 13–22.
6. Петров К.Э. Компараторная идентификация модели формирования индекса устойчивого развития // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 1. — С. 36–46.
7. Машина Н.І. Економічний ризик і методи його вимірювання. — К.: Центр навчальної літератури, 2003. — 188 с.
8. Державна служба статистики України. — <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
9. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. — К.: Екологічна безпека, 2001. — 251 с.
10. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Харківській області у 2012 році. — [http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/regionalni-dopovidi-u-2012-rotsi/kharkivska\\_2012.pdf](http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/regionalni-dopovidi-u-2012-rotsi/kharkivska_2012.pdf).
11. Sharonova N.V., Kozulia T.V. Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2008. — № 2 (31). — С. 518–527.
12. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія. — Харків: НТУ «ХПИ», 2010. — 588 с.
13. Козуля Т.В., Білова М.О. Оцінка якості системних об'єктів навколишнього середовища на основі метода компараторної ідентифікації // Проблеми інформаційних технологій. — 2013. — № 13. — С. 78–84.

Надійшла 13.05.2015