

УДК 519.713: 504.064



Н. В. Шаронова, М. М. Козуля

НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, e-mail: nvsharonova@mail.ru.

## КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ З ЕЛЕМЕНТАМИ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РІВНЯ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Надано обґрунтування методичних основ оцінки відповідності вимогам екологічності системних об'єктів за концепцією сталого розвитку із запровадженням елементів методу компараторної ідентифікації. Сформовано математичне і алгоритмічне забезпечення кількісного оцінювання рівня екологічної якості природно-техногенних комплексів відповідно до їх соціально-еколого-економічного призначення.

КОНЦЕПЦІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ, КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ, КОМПАРАТОРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ

### Вступ

До теперішнього часу запропоновано і розроблено множини різноманітних комплексних показників якісного екологічно безпечного функціонування навколишнього природного середовища (НПС). Актуальність таких робіт не втрачає вагомості за умови реалізації концепції сталого розвитку, суть якої полягає у поєднанні та узгодженості в екологічній оцінці економічного, екологічного та соціального розвитку за умови відсутності зниження якості та екологічної безпеки соціально-екологічних систем, збереження природного стану НПС й високого рівня науково-технічного прогресу відповідно до потреб людини [1, 2].

Розв'язок макроекологічних завдань зі стабілізації та екологізації внутрішнього простору складових системних об'єктів, наданих у вигляді природно-техногенних комплексів на територіальному рівні дослідження та соціально-еколого-економічних систем для глобальних екологічних оцінок якості НПС, можливий за умови створення математичної моделі такого системного утворення, розробки теорії оптимізації регулюючого впливу на системи відповідно до прийнятих універсальних критеріїв і параметрів стану. Такий погляд на розвиток методичного забезпечення екологічної оцінки потребує зміни традиційних підходів – переходу від контролюючої діяльності до регулюючих методів, які б дозволили порівнювати між собою різні фактори впливу на навколишнє середовище (НС), узгоджувати соціально-еколого-економічні інтереси на основі забезпечення балансу між екологією та соціально-економічною сферою.

Системне узгодження та збалансування трьох складових сталого розвитку пов'язано з наданням комплексної оцінки відповідності стану і динаміки окремої системи вимогам екологічної якості і безпеки. Взаємозв'язок природоохоронної та економічної складових потребує кількісної оцінки техногенних впливів на екосистеми і їх відповідності природній буферності НПС, тобто визначення пріоритетних факторів регулювання техногенного

навантаження на основі аналізу внутрішніх і зовнішніх процесів деструктивного і стабілізуючого характеру стосовно екологічного стану систем. Індикатором екологічного розвитку соціальної системи вважається передусім рівень здоров'я населення [1].

Таким чином, важливою проблемою на шляху втілення концепції сталого розвитку є формування системи вимірів для кількісного і якісного оцінювання відповідності вимогам екологічності систем. Більшість експертів із проблем захисту навколишнього середовища рекомендують створити систему інтелектуальних моделей, які б поєднували функції узагальненої корисності з оцінкою альтернатив розв'язання задач структурної і параметричної ідентифікації.

### 1. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є обґрунтування нового підходу до визначення екологічної оцінки стану екологічних системних об'єктів з метою підвищення об'єктивності, зниження системності та покращення ефективності прийняття рішень з використанням методу компараторної ідентифікації в багатofакторному аналізі.

Основною задачею дослідження є створення математичної моделі комплексного екологічного оцінювання якості складних систем на основі універсальних термодинамічних характеристик їх стану й оцінки рівня змін техногенно-навантажених об'єктів, відповідності зрушень в них вимогам екологічності систем за методом компараторної ідентифікації. Для цього у роботі досліджені такі питання:

1) розробка математичної моделі стану системних об'єктів із застосуванням елементів термодинамічного аналізу, синергетики – ентропійна та інформаційна функції як індикатора екологічності систем;

2) теоретичне обґрунтування математичного забезпечення розв'язання задач оптимізації корпоративного екологічного управління якістю НПС

на основі аналізу рівня ентропійних змін в системі та її екологічної інформативності;

3) оцінка екологічної відповідності стану систем із застосуванням методу компараторної ідентифікації.

## 2. Методика дослідження і аналіз результатів

Оцінка екологічності систем і процесів функціонування складових систем природно-техногенного об'єкта в цілому є інформаційною основою для формування функції екологічної корисності  $\varphi(f(x_1))$ , що визначає систему пріоритетів з підтримки прийняття рішення (ПР) відповідно до вимог сталого рівноважного розвитку територіальних природно-техногенних систем:

$$x_1 \underset{СП}{\succ} x_2 \Leftrightarrow \varphi(f(x_1)) \geq \varphi(f(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in X \quad (1)$$

Оскільки головною метою методології комплексної оцінки якості навколишнього середовища є ухвалення такого управлінського рішення, яке б задовольняло вимогам підвищення екологічної ефективності у разі розвитку систем, то доцільно для оптимізації ПР застосування апостеріорної моделі оптимізації (АМО). Це дозволить наблизити процедуру виявлення виду функцій корисності та ідентифікації її параметрів до реальних можливостей розв'язання завдань з пошуку кращої альтернативи на умовах пріоритетності екологічних показників для системного об'єкта:

$$x_{СП} = \arg \max_{x \in X} M_S \times \left\{ \arg \min_{q \in Q} \Phi_q \left\{ q \left[ \arg \min_{u_i \in U_i} \Phi_{u_i} [u_i(f_i(x|s)) | I_{v_i}], \dots, \arg \min_{u_m \in U_m} \Phi_{u_m} [u_m(f_m(x|s)) | I_{\varphi}] \right] \right\} \right\}, \quad (2)$$

де  $U_i$  – клас функції корисності значень  $f_i, u_i \in U_i, i=1, \dots, m$ ;  $Q$  – клас функції корисності для значень відображення  $f: X \rightarrow D, q \in Q$ , де  $D$  – множина векторних оцінок альтернатив і принципу оптимальності  $R$  у вигляді реалізації певного зв'язку між системами в об'єкті;  $I_{v_i}$  – інформація про переваги на непорівнянних по відношенню  $\underset{\pi}{\succ}$  значеннях вектора  $f = (f_1, \dots, f_m) \in F_m$ ;  $\Phi_u, \Phi_q$  – функціонали оцінки за інформацією  $I_{v_i}, I_{\varphi}$  спільності функцій  $u_i(f_i)$  і  $q(f)$  і функцій  $v_i(f_i)$  і  $\varphi(f)$  відповідно;  $M_S \{\xi(s)\}$  – оператор узагальнення, який ставить у відповідність оцінкам альтернатив  $S$  на множині можливих умов їх реалізації характеристику якості:

$$M_S \{\xi(s)\} = \begin{cases} \sum_{s \in S} P_s \xi(s), & * \\ \int_s P(s) \xi(s) ds, & ** \end{cases} \quad (3)$$

Оператор  $M_S \{\xi(s)\}$  визначається за умов розглянутої ситуації:

1 –\*) якщо  $S$  дискретно, приймає значення 0 і 1, відомо імовірнісний розподіл  $P_s$ ;

2 – \*\*) якщо  $S$  безперервно, залежно від змін у системі на вхідний сигнал процеси характеризують щільністю розподілу  $P(s), s \in S$ .

Модель оцінки прийнятого рішення (2) є розширеним варіантом пошуку умов реалізації наданої методології відповідно до цільової функції досягнення екологічної безпеки (постановка задачі дослідження за умови стохастичності функціонування систем і задачі гармонізації розвитку складових системного об'єкта) [3,4].

Якщо функція корисності надана як одномірна ентропійна функція оцінки стану систем  $S$ , то правило порівняння альтернатив  $x_1, x_2 \in X$  за критерієм  $S_i$  визначено багатозначними оцінками  $f_i(x_1|S), f_i(x_2|S)$  виду

$$x_1 \underset{СП_{S_i}}{\succ} x_2 \Leftrightarrow M_{S_i} \{v_i(f_i(x_1|s))\} \geq M_{S_i} \{v_i(f_i(x_2|s))\}, \quad (4)$$

де  $\underset{СП_{S_i}}{\succ}$  – відношення переваги за  $S_i$  на непорівнянні багатозначних значень відображення  $f_i$  з урахуванням складу систем, дифузійних потоків між системами і зовнішнім середовищем, вимог до параметрів управління та інформативності систем [5].

Стан систем-системного об'єкта управління екологічною якістю визначається стохастичними процесами й виражається розподілом імовірності змін, що залежить від дії різних факторів: параметрів порядку ( $\xi_u$ ) (кількості факторів, які впливають на систему), амплітуди підлеглих мод ( $\xi_s$ ), додаткових впливів на систему.

Зміни, що відбуваються в дослідженій інтегральній структурі під впливом зовнішніх управляючих впливів і внутрішніх процесів перетворення речовини й енергії, фіксуються у вигляді збільшення інформації або зміни ентропії стану за розподілом спільної ймовірності  $P(\xi_u, \xi_s)$  змін:

$$P(\xi_u, \xi_s) = \prod_s P_s(\xi_s | \xi_u) f(\xi_u). \quad (5)$$

Оскільки інформація  $I$  дорівнює

$$i = - \sum_j P_j \cdot \ln P_j, \quad (7)$$

то її збільшення визначається як сума

$$I = I_f + \sum_s I_s, \quad (8)$$

де  $I_f$  – інформація щодо параметрів порядку при постійній дії детермінованих внутрішніх і зовнішніх факторів на систему, є величиною безперервною:

$$I_f = - \sum_{\xi_u} f(\xi_u) \ln f(\xi_u), \quad (9)$$

де  $I_s$  – інформація, яка відноситься до підлеглої моди з індексом  $s$ :

$$I_s = - \sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) \ln P_s(\xi_s | \xi_u). \quad (10)$$

При виході системи зі стану рівноваги інформація про додаткові впливи або стохастичні явища різкої зміни не зазнає, а інформація, яка характеризує стан системи, різко змінюється [3, 4, 5].

Величина  $I_s$  є інформацією в припущенні, що величина  $\xi_u$  набуває певного значення. Таким чином, оцінити зовнішній вплив і наявність екологічної небезпеки для системного об'єкта можливо за інформацією про стан систем (параметри порядку). Параметр порядку підпорядковує моди особливим чином гарантує виникнення макроскопічної структури і її гармонійний вплив на системи. Поводження об'єкта поблизу порога стійкості характеризується сильним зростанням інформації відповідно до критичних флуктуацій.

Залежно від ентропії чи інформативності кожної із систем формується певний стан інтегровального утворення, що і є оцінкою прийнятого управлінського рішення. У межах деякого інтервалу часу  $[t_0, T]$  реалізація даного рішення призводить до ряду взаємовиключних наслідків залежно від специфіки локального рівня систем – системного утворення з урахуванням індикаторів рівноважного екологічного стану систем. Критерієм оптимальності функціонування такого об'єкта є збереження екологічної рівноваги за умови  $\Delta S \rightarrow \min \rightarrow 0$  або стан з характеристикою  $S = \max$  по відношенню до інших можливих станів систем, що відповідає умовам.

Критерій оцінки екологічності взаємодії складових еколого-соціально-економічного об'єкта при стабілізації соціально-економічного розвитку являє собою екологічний компаратор (ЕК) – вимірювач відповідності структури, функціональних процесів в системах інтегровального об'єкта природному внутрішньому гомеостазу.

Для комплексної оцінки екологічності територіально-об'єктових систем компараторна ідентифікація більш об'єктивна і достовірна, ніж експертне оцінювання в балах: вона надає кількісне значення у двох параметрах – 0 і 1, що дозволяє поєднати за параметром  $\Delta S$  зміни у стані систем і об'єкта й імовірності  $P$  порушення зв'язків у середовищі [5, 6, 7].

За теорією компараторної ідентифікації [6] компаратор – вимірювач відповідності структури, функціональних процесів систем внутрішньому гомеостазу інтегровального об'єкта, яка подається кортежем  $X^s$  і  $X^t$  вхідного впливу  $X$  виду

$$F(A, X^{(s)}) = F(A, X^{(t)}), s, t = \overline{1, k}, s \neq t. \quad (11)$$

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) (11), що реалізує внутрішній гомеостаз складових систем.

При однозначності характеристики стану систем через імовірнісно-ентропійні параметри оцінка екологічності їх визначається видом оператора  $F$  і параметрів моделі  $A$ , для яких невідповідність вимогам безпеки (ситуація нееквівалентності) приводить до нерівності

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

При вивченні 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, при дослідженні стану екосистеми ґрунт – вимірювання фізичних параметрів і хімічного складу як індикаторів їх екологічності і відповідності гомеостазу екосистеми):

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

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

Ідея такого підходу до оцінки екологічності систем і рівня безпеки передбачає застосування *вимірювальної процедури екологічного ризику*, яка у разі виконання відповідності реалізує предикат виду

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

$$E_1(x_q, x_n) = D_1[P(x_q), P(x_n)], \forall x_q, x_n \in X, \quad (12)$$

де  $v_q$  і  $v_n$  – 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, тобто  $v_q, v_r \in V$ , виявляють зміни у результаті трансформаційних процесів, що порушують склад потоку, появу ефектів у навколишньому середовищі, які приводять до збільшення ентропії і  $\Delta S$  внутрішнього простору об'єкта. Результати такого аналізу подані за компаратором і предикатом у вигляді (позитивні результати – 1):

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

$$E_2(x_q, x_r) = D_2[P(x_q), P(x_r)], \forall x_q, x_r \in X, q \neq r. \quad (13)$$

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

Розв'язання задач вибору розвитку (стабілізації) систем за компараторною оцінкою розглядається у двох аспектах відповідно до повноти вихідної інформації і одержаних результатів, реалізуючи предикат виду:

– впевнений вибір і однозначне рішення на основі аналізу (12–13):

$$D_3(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q > v_r \\ 0 & \text{при } v_q < v_r \end{cases}, \quad (14)$$

– неповністю впевнене рішення за відсутністю інформації про стан об'єкту, внутрішні й зовнішні зв'язки, – нечіткі вихідні дані про властивості систем, природу та імовірність перебігу процесів і т. п.:

$$D_4(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q \geq v_r \\ 0 & \text{при } v_q < v_r \end{cases},$$

$$E_4(x_q, x_r) = D_4[P(x_q), P(x_r)], \quad \forall x_q, x_r \in X, \quad q \neq r. \quad (15)$$

Для моделі виду

$$S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H_w} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0),$$

де  $S_w$  – стохастичний оператор при дії природних впливів як  $\xrightarrow{E_x M_x}$  чи  $E_{ек}$ ,  $M_{ек}$ , зовнішнього регулювання  $F(t, u)$  в межах природоохоронних заходів у вигляді  $V_S(t, u)$  і  $V_d(t, u)$ ;  $q(x, t)$  – зв'язок між системами (речовинно-енергетичний потік  $dE'_{x_i} M'_{x_i}$ );  $A_w$  – оператор переходу стохастичних функцій у детерміновані, що визначає перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації –  $dE'_{x_n} M'_{x_n} = 0$  при  $n = 1, 2, 3$ ;  $D_w$  – 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  $S_{\max}$  і відсутністю дестабілізуючих явищ ( $\Delta S \rightarrow 0$ ), надають оператор з деталізацією, зважаючи на пріоритетність збереження стійкості природних екосистем ( $x_i$ ):

$$P(x_s) > (\geq) P(x_1), \quad x_s, x_i \in X, \quad s = \overline{2, n}, \quad s \neq 1,$$

$$P(x_2) < (\leq) P(x_1), \quad P(x_3) < (\leq) P(x_1). \quad (16)$$

За узгодженням імовірнісно-ентропійних показників екологічності і компараторної ідентифікації (11–16) надана загальна модель ( $M$ ) оцінювання:

$$V_M(x_i) = P_M(A_M, K(x_i)), \quad i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

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 певних економічних, соціальних і еко-

логічних складових і їх зв'язку;  $K(x_i)$  –  $m$ -мірна кількісно-виміряна вхідна дія (характеристика стану, структур, альтернатив);  $A_M$  –  $r$ -мірний вектор кількісних характеристик моделі об'єкта – параметрична ідентифікація (стан систем, потоків, які реалізують зв'язок між системами (наприклад, потужність й інтенсивність матеріальних потоків з соціально-економічної системи на екосистеми і т. п.

Компараторна ідентифікація для територіально-об'єктових систем пов'язана з оцінкою оператора  $P_M$  (структурна ідентифікація) і значення  $A_M$  (параметрична ідентифікація), які відповідно до умов (16) описують реальні фізичні, фізіологічні, біохімічні процеси за функцією  $S$ , порушення екологічності та гомеостатичних зв'язків у системах через негентропійну дію [5].

За даними моніторингу для системного об'єкта визначають функцію

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

де  $Y(x_i)$  – скалярна багатофакторна оцінка станів чи змін у складових і об'єкті (в залежності від рівня 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  $K(x_i) = A = \langle a_1, a_2, \dots, a_r \rangle$ .

На етапі інтегровальної оцінки екологічної безпеки передбачена однорідність визначення факторів завдяки характеристикам складових об'єкта дослідження у вигляді  $S, \Delta S, P, Risk$ .

За умови імовірнісно-ентропійного оцінювання екологічності при застосуванні елементів компараторної ідентифікації одержують такі результати:

– від'ємна оцінка

$$k_{jn}(x_i) = \begin{cases} \max_{x_i \in X} k_j(x_i), & \text{при } k'_j(x_i) \rightarrow \min, \\ \min_{x_i \in X} k_j(x_i), & \text{при } k''_j(x_i) \rightarrow \max \end{cases}, \quad (18)$$

де  $k'_j(x_i)$  – оцінка фактора як імовірність стабілізаційних процесів  $P$ , позитивний ризик  $Risk_n$ ;  $k''_j(x_i)$  – оцінка фактора за значенням ентропії  $S$  або її змін  $\Delta S$  відповідно до нормалізованого показника екологічності у вигляді індексу забруднення (13);

– позитивна оцінка щодо прийняття екологічного рішення:

$$k_{jn}(x_i) = \begin{cases} \max_{x_i \in X} k_j(x_i), & \text{при } k'_j(x_i) \rightarrow \max \\ \min_{x_i \in X} k_j(x_i), & \text{при } k''_j(x_i) \rightarrow \min \end{cases}. \quad (19)$$

Функція стану об'єкта визначається через природні ( $A_1$ ) і керуючі параметри ( $A_2$ ). Функція  $P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots, x_m, x'_m)$  – це предикат, що задається декартовим добутком  $A_1 \times A_2$  як відображення добутку множини  $A_1, A_2, \dots, A_m$  у множину  $\Sigma = \{0, 1\}$ . Символи  $0$  і  $1$  відбивають стан системи (значення ентропії або інформації), при якому

змінні  $x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots, x_m, x'_m$  є аргументами предиката (зі штрихом – керуючі параметри):

$$P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots, x_m, x'_m) = K(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f(x_m), f(x'_1), f(x'_2), \dots, f); P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots) = t. \quad (20)$$

Ідентифікація екологічної відповідності територіально-об'єктові системи здійснюється за екологічним компаратором стану. Порушення екологічного гомеостазу об'єкта фіксуються в інформаційній системі моніторингу і являють фізичні дані  $E_{x_1} M_{x_1}, E_{x_2} M_{x_2}, \dots, E_{x_n} M_{x_n}$ , що знаходять відображення у вигляді вихідних сигналів  $f_1, f_2, \dots, f_n$  по входах у компаратор ЕК (рис. 1) [5, 6].

Таким чином, визначається предикат ЕК виду:

$$P(E_{x_1} M_{x_1}, E_{x_2} M_{x_2}, \dots, E_{x_n} M_{x_n}) = E(f_1(E_{x_1} M_{x_1}), f_2(E_{x_2} M_{x_2}), \dots, f_n(E_{x_n} M_{x_n})). \quad (21)$$

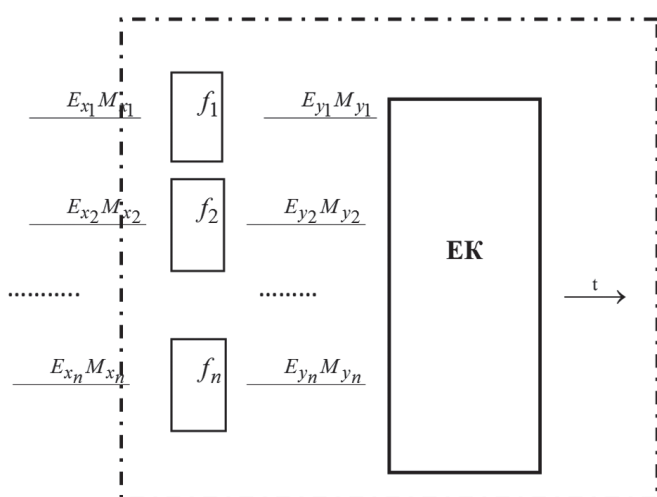


Рис. 1. Схема роботи екологічного компаратора

Внутрішній стан системного об'єкта відображається залежностями:

$$Y_1 = f_1(x_1; x'_1); Y_2 = f_2(x_2; x'_2). \quad (22)$$

За умови екологічної пріоритетності рішення зважають на стабілізацію природних параметрів й регулюючого управління, що надається предикатом

$$P(x_1, x'_1) = D(f(x_1), f(x'_1)). \quad (23)$$

Встановлений екологічний компаратор (рис. 1) реалізує предикат

$$K(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = t, \quad (24)$$

який відповідає відношенню «К-предикат компаратора» [5, 6, 7].

Якщо стан систем при динамічній рівновазі територіально-об'єктових систем  $X_1$  і будь-яка управляюча дія як вплив зовнішнього фактора на систему, то, реалізуючи наданий аналіз виду (20–23),

предикат стану дослідженої інтегровальної системи приймає вид (24).

Відповідність предиката встановленим змінам ентропії визначає стани інтегровального об'єкта, пов'язані з порушенням чи збереженням упорядкованості між системами і стійкістю екологічної рівноваги в цілому:

$$D(Y_1, Y'_1) = \begin{cases} -1, & \text{при } x_1 \neq x'_1 \text{ - для ентропійного} \\ & \text{аналізу процесів чи} \\ 1, & \text{при } x_1 \neq x'_1; \\ 0, & \text{при } x_1 = x'_1; \text{ чи } x'_1 = 0 \end{cases} \quad (25)$$

Таким чином враховують зменшення ентропії при збільшенні управляючого впливу – упорядкування системи  $dS < 0$ ; зростання ентропії при збільшенні управляючого впливу – нерівноважний стан  $dS > 0$ ; незмінність ентропії – система в стані рівноваги  $dS = 0$ .

### Висновки

У даній роботі запропоновано новий підхід до оцінки стану об'єктів навколишнього середовища з позицій сталого розвитку, що ґрунтується на методі компараторної ідентифікації. Аналіз одержаних результатів показав доцільність використання принципу системності з оцінки «стан–відповідність–фактори порушення рівноваги–рейтинг першочергових рішень». Обґрунтовано переваги впровадження компараторної ідентифікації в методику оцінки стану об'єктів, що дозволяє врахувати зв'язки між системами різної природи не за усередненими проміжними результатами, а на врахуванні всіх наборів даних, якими вони характеризуються.

Запропонована методологія оцінки якості системних природно-техногенних об'єктів дозволила отримати такі науково-практичні результати:

1) визначено структуру і умови функціонування систем в межах інтегровального об'єкта, їх відтворення на основі самоорганізуючих процесів; запроваджено ентропійну функцію оцінки явищ, яка враховує стохастичну природу територіально-об'єктових угруповань (рівняння (5–10)); умови функціонування об'єкта при певній ймовірності наслідків взаємодії «система – навколишнє середовище» з пріоритетністю екологічної якості у встановленні управляючої дії (формули (1–4));

2) визначені умови застосування оцінки екологічності на основі ентропійної функції як міри якості, що дозволило надати характеристики стану природно-техногенних об'єктів з урахуванням процесів у термодинамічних потоках; відтворення відповідної структури і функціональних можливостей системного об'єкта з урахуванням збереження сталого економічного розвитку за умови прояву ефектів внутрішніх і зовнішніх перетворень синергетичного характеру;

3) вирішені питання удосконалення науково-практичної бази комплексного моніторингу шляхом застосування методу компараторної ідентифікації з метою оцінки відповідності дослідженої системи вимогам безпеки на основі встановлення однозначного показника екологічності складових і дослідженого інтегровального об'єкта у вигляді екологічного компаратора як інструментарію імовірно-ентропійного ризик-аналізу стану систем і процесів у них.

**Список літератури:** 1. *Згуровский М. З.* Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / М. З. Згуровский, А. Д. Гвишиани. – К.: Політехніка, 2008. – 331 с. 2. *Петров К. Э.* Компараторная идентификация модели формирования индекса устойчивого развития / К. Э. Петров // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. – №1. – С. 36–46. 3. *Козуля Т. В.* Моделирование структуры и идентификация состояния корпоративной экологической системы (КЭС) / Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова // Проблеми інформаційних технологій. – 2007. – № 01 (001). – С. 178–187. 4. *Sharonova N. V.* Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition / N. V. Sharonova, T. V. Kozulia // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2008. – № 2 (31). – С. 518–527. 5. *Козуля Т. В.* Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія / Т. В. Козуля. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с. 6. *Бондаренко М. Ф.* Про загальну теорію компараторної ідентифікації / М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2008. – № 2 (69). – С. 13–22. 7. *Овезгельдыев А. О.* Синтез

и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К.: Наукова Думка, 2002. – 163 с.

*Надійшла до редколегії 11.07.2013*

УДК 519.713: 504.064

**Комплексная оценка экологической безопасности с элементами компараторной идентификации уровня качества окружающей среды** / Н. В. Шаронова, М. М. Козуля // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2013. – № 2 (81). – С. 37–42.

В статье приведено методическое обеспечение оценки состояния социально-эколого-экономических систем на соответствие требованиям устойчивого развития и экологической безопасности, включающее элементы компараторной идентификации. Представлено математическое и алгоритмическое обеспечение количественного оценивания уровня качества природно-техногенных комплексов в соответствии с их социально-эколого-экономическим значением.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

UDC 519.713: 504.064

**Complex ecological environment estimation with elements of comparative quality levels identification** / N. V. Sharonova, M. M. Kozulia // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2013. – № 2 (81). – P. 37–42.

Methodological support assessment of the state of the socio-ecological-economic systems to meet requirements of sustainable development and environmental security is given in the article including elements of comparing identification. Mathematical and algorithmic support of quantitative estimation of natural anthropogenic complexes quality levels is presented according to their social ecological economical meaning.

Fig. 1. Ref.: 7 items.