

ІНФОРМАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

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

Обґрунтовано необхідність створення нових засад екологічного аналізу в умовах теоретично-практичної реалізації основ сталого розвитку, запровадження синергетичної, ентропійно-інформаційної складових у методичне забезпечення системи комплексного оцінювання екологічності системних об'єктів. Методичне забезпечення комплексного оцінювання якості навколишнього природного середовища подано у вигляді комплексування методик головних компонент і компараторної ідентифікації при багатоплановій вихідній інформації про характеристики системного об'єкта. Практичне застосування поданих пропозицій розглянуто на прикладі дослідження техногенно-навантажених регіональних утворень з використанням моніторингової інформації.

ВСТУП

Актуальність роботи зумовлено розробленням і впровадженням універсально удосконалених підходів до комплексного оцінювання відповідності стану, функцій і зв'язків систем природно-техногенного об'єкта вимогам сталого розвитку і природному їх призначенню [1, 2, 3], визначенням оптимальної моделі прийняття рішення відповідно до мети розв'язання соціально-еколого-економічних завдань.

Результат аналізу особливостей формування знань для еколого-економічних систем, подання інформації про комплексне оцінювання стану навколишнього природного середовища (НПС) показав необхідність звернення до теорії системного аналізу для встановлення положень систем-системних досліджень з урахуванням об'єктивних законів виникнення і функціонування систем, які безпосередньо визначаються складовими теорії термодинамічного аналізу різномірних утворень і синергетики стосовно самоорганізації відношень між системами, формування баз знань «природна система – соціально-економічна система» на рівні досліджень «стан системи – процес – стан змін у системі» [4].

Стійка матеріальна система, що розвивається і еволюціонує, залежить від процесу, який контролює послідовність трьох стадій: 1) початковий стабільний, «незмінний» стан; 2) процес еволюції системи (фізичної, біологічної, соціальної та ін.), що є дробовим, самоподібним перехідним станом-процесом; 3) кінцевий, стійкий, незмінний стан, після якого процес-система зникає. Еволюціонуючі системи визначають як нестійкі, перехідний процес яких є носієм спадкової інформації про систему в цілому. Інформація дозволяє встановити вірогідні шляхи, траєкторії і алгоритм розвитку системи на кожній з траєкторій — від її початку до кінця (виникнення системи, її еволюція і завершення).

Управління системними процесами пов'язано з регулюванням екологічності розвитку соціально-еколого-економічних утворень, визначених як корпоративна екологічна система — концепція корпоративної екологічної системи (структура запропонованої аналітичної системи, заснованої на системно-системному (корпоративному) підході дослідження складних природно-техногенних об'єктів) [5].

Об'єктивна послідовність реалізації складних системних утворень залежить від довільного виникнення відношень між складовими у процесі формування цілісної системи (першочерговість і пріоритетність процесів самоорганізації за законами термодинаміки для будь-якого рівня систем). За визначенням Г. Хакена [6] такі процеси визначають колективні, кооперативні ефекти в системах і належать до нового напрямку наукових досліджень — *синергетики*. Для системного об'єкта соціально-еколого-економічного змісту (різноплановості і високого рівня складності) доцільним є звернення до синергетики, яка передбачає залучення до аналізу значного обсягу знань усіх галузей науки і техніки.

Мета роботи — запровадження синергетичної парадигми в екологічний аналіз і надалі в екологічне управління, передбаченої для об'єктів «соціально-економічна діяльність – природне середовище», «техногенний об'єкт – НПС – людина» [3]. Саме створення нового методологічного забезпечення розв'язання комплексних завдань є метою отримання практичних результатів з визначення дестабілізуючих факторів безпеки і встановлення механізмів регулювання екологічності техногенних систем. У цій роботі розглянуто і вирішено такі питання:

1) обґрунтування необхідності створення нових засад екологічного аналізу в умовах теоретично-практичної реалізації основ сталого розвитку, запровадження синергетичної, ентропійно-інформаційної складової в методичне забезпечення системи комплексного оцінювання екологічності системних об'єктів;

2) визначення системи оцінювання відповідності стану природно-техногенних систем вимогам екологічної безпеки на основі компараторної ідентифікації якості в дослідженнях «стан системи – процес – зміни системи», розроблення алгоритмічно-програмного комплексу розв'язання різнопланових завдань сталого розвитку.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Загалом за наявності порушень природного порядку у навколишньому середовищі відбуваються зміни з погіршенням його якості, а створення нової високої якості потребує управління, ефективність якого безпосередньо ґрунтується на знанні про систему. На створення такої ефективної системи управління і спрямовані дослідження ідентифікації ситуації та оцінювання відповідності вимогам якості для об'єкта аналізу «стан системи – процес – трансформаційні зміни – стан системи». За такого підходу зміни визначаються як трансформування будь-яких видів енергії, перетворення її у процесах на молекулярному рівні з відповідними ефектами на макроскопічних формах об'єкта дослідження, що загалом і становить сутність синергетичних процесів.

Об'єктом дослідження за концепцією сталого розвитку є соціально-еколого-економічні утворення будь-якого рівня складності та призначення. Екологічність такого системного об'єкта визначається встановленням відповідності його стану і відсутністю негативних коливань від точки стаціонарності за наявних взаємовпливів із НПС, а саме:

– виділення економічного, екологічного і соціального аспектів аналізу; ідентифікація стану «структура – функціональність – порушення – імовірність процесів – розвиток процесів (виділення довільних неконтрольованих змін, що приводять до самоорганізаційних структур) – стабілізація і відповідність природній функціональності системи»;

– виявлення вагомих стабілізуювальних процесів за оцінкою відповідності.

Проблематичність вирішення етапних завдань полягає в необхідності після декомпозиції на складові звести різнопланові цілеспрямовані системи в єдиний розв'язок, оцінку і задати регулювальну дію для певної стабілізації системи.

Синергетичний підхід у процесі аналізу явищ дозволяє спиратися на новітні наукові дослідження згідно із загальними принципами функціонування матеріальних систем для встановлення дієвих механізмів реалізації критичних (біфуркаційних) процесів. Саме виникнення біфуркаційного стану в елементах і компонентах передумові отримання необхідних знань системою про відповідність навколишньому середовищу [6].

Термін «синергетика», запропонований Г. Хакеном [6], акцентує увагу на узгодженості, когерентності взаємодії частин при утворенні структури цілого, на адитивному ефекті («ціле — більше від частин»). Із переходом від неупорядкованості (хаосу) до впорядкованості в явищах виникають кооперативна поведінка елементів, синергетичний ефект, що становлять кореляцію частин цілого.

Отримана інформація дозволяє розширити систему, яка під впливом негентропійних явищ стабілізується на новому рівні стану і відношень із системами та НПС. Стабілізація і гармонізація досягаються зі встановленням рівноваги в систем-системному утворенні завдяки їх певній відповідності вимогам самоорганізації до природної функціональності в системному утворенні або гармонізації «об'єкт впливу – процес – об'єкт змін – процес – об'єкт нового рівня». Збереження стійкості і здатності пристосовуватися до НПС за положеннями синергетики має оцінну функцію ентропії як міри порядку і відповідності, використаної для встановлення умов змін у системі і вивчення перебігу процесів, істотними з яких є стабілізуювальні за відсутності порушень стану об'єкта $\Delta S \rightarrow 0$ (рис. 1).

Для кожного стану A досліджуваної системи, тобто для кожного об'єкта в категорії \mathcal{Q} вводиться величина, названа узагальненою ентропією стану A :

$$S(A) = \ln \frac{\tilde{I}(A)}{I(A)}, \quad (1)$$

де $\tilde{I}(A)$ — потужність множини $S_{\overline{\mathcal{Q}}}(A, A)$ морфізмів категорії $\overline{\mathcal{Q}}$ з A у саму себе; $I(A)$ — потужність множини $S_{\mathcal{Q}}(A, A)$, для якої $S_{\mathcal{Q}}(A, A) \neq \emptyset$ за визначенням поняття категорії, оскільки містить хоча б один одиничний морфізм.

Ентропію (1) пропонується розглядати як цільову функцію оцінювання відповідності, що інтерпретується як міра структурованості стану A , тобто міра структури стану A відносно його безструктурного аналога. Ентропія (1) визначається як кількість інформації про структуру системи [7]:

$$\frac{1}{n} S(\bar{n}) = - \sum_{i=1}^w \frac{n_i}{n} \log \frac{n_i}{n}, \quad n = \sum_{i=1}^w n_i,$$

застосовуваної як індекс різноманітності видової структури співтовариств, або ступінь складності системи.

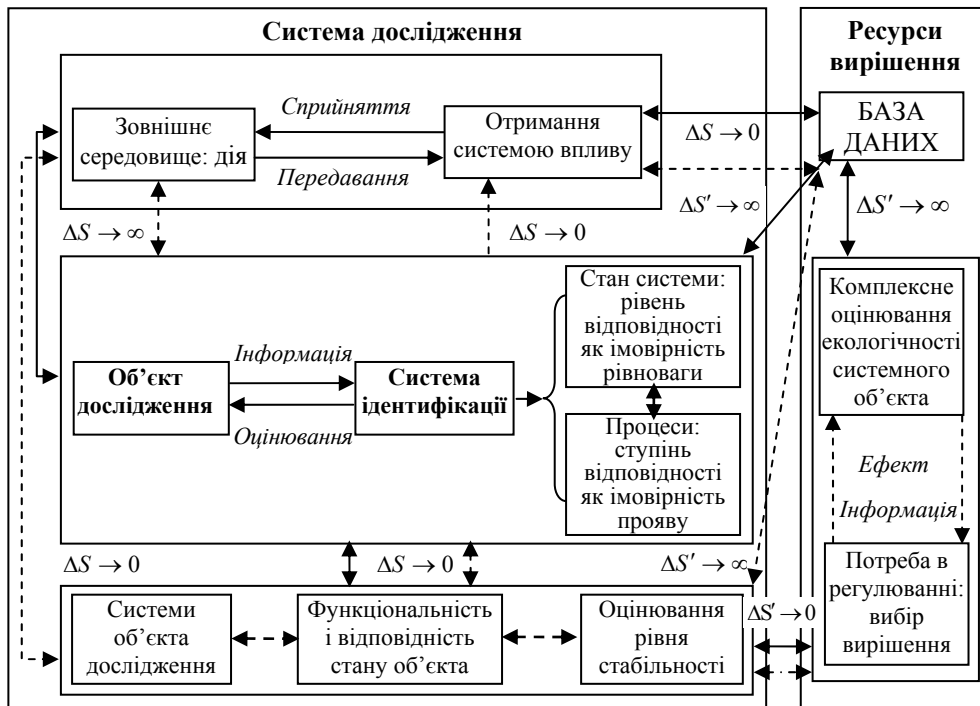


Рис. 1. Імітаційна модель матеріально-інформаційного забезпечення оцінки екологічності системних об'єктів: $\Delta S, \Delta S' \rightarrow 0$ — стан рівноваги при відповідності цільовій взаємодії «система – навколишнє середовище» за умови різниці між результатом впливу і стабілізуювальним станом об'єкта (ΔS) і різниці між результатом і вимогами відповідності ($\Delta S'$); $\Delta S, \Delta S' \rightarrow \infty$ — стан стаціонарності нескінченного розвитку системи за умови відповідності цільовій рівновазі

Основою для такої інтерпретації ентропії є теорема стратифікації: увесь простір ресурсних факторів функціональності системи (об'єкта) розподіляється (стратифікується) на непересічні страти, кожна з яких відповідає одній з підмножин споживаних системою (об'єктом) ресурсів. У страті N^J з непорожньою підмножиною ресурсів $J \{1, 2, \dots, m\}$ виконуються умови:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^r p_i \ln p_i \rightarrow \max; \quad \frac{M}{N} = \sum_{i=1}^r p_i m_i; \\ \sum_{i=1}^r p_i = 1. \end{cases}$$

де $p_i = \frac{e^{-\beta m_i}}{\sum_{i=1}^r e^{-\beta m_i}}$; β — множник Лагранжа відповідно до границі та

інтегрування $p_i \rightarrow p(m)dm, \Delta m \rightarrow dm$.

Звідси визначаємо відповідну поведінку змін ентропії при встановленні стану і перебігу процесів в об'єкті або системі, що для ΔS є:

- додатною — хаотичне збільшення системи і її розвиток, відсутність натепер умов довільних процесів упорядкування, структуризації;
- нульовою — стаціонарність стану, підтримання процесів функціональності, розвиток відтворюваності структури без розширення системи;
- від'ємною, менше нуля — розвиток системи за рахунок довільних процесів упорядкування на новому рівні складності, досягнення максимуму стаціонарності в самоорганізації підтримання стану системи.

Для опису стану системного об'єкта потрібна комплексна математична модель, яка враховуватиме еволюцію в часі всієї системи, її окремих елементів, що дозволить описати процес її функціонування, оцінити якість і ризики, визначити шлях самоорганізації і переходу системи в стан самовідновлення. Умовна схема такої моделі відображає три важливі етапи еволюції від простої структури в певний момент часу до оптимально структурованої певної складності системи, що пристосована до зовнішніх умов і відповідає вимогам якості (рис. 2).

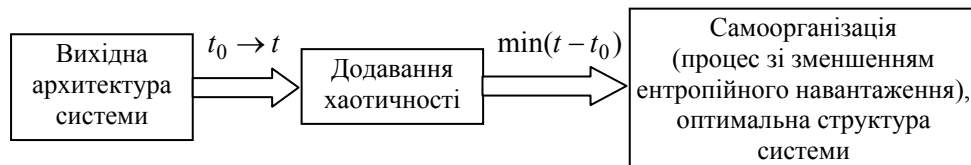


Рис. 2. Структурна еволюція архітектури системи

В описі моделі архітектури системи необхідно знайти відповідність реального простору, де вона функціонує, віртуальному суцільному середовищу — абстрактний об'єкт, що враховує три важливі властивості середовища:

- 1) функціонування у фазовому просторі із системою координат (q, p) , де q — узагальнена координата; p — узагальнений імпульс віртуального середовища;
- 2) еволюцію в часі t ;
- 3) матричну форму щільності станів $\rho = \rho(q, p, t)$ з визначенням системи в певний момент часу, структуру взаємодії між елементами системи [8].

Для встановлення стану віртуального середовища використовується поняття ентропії у вигляді інтегрального співвідношення

$$S_\rho = - \int_{\Omega} \rho \ln \rho d\Omega, \quad (2)$$

де інтегрування виконується по всьому фазовому простору Ω .

Важливою властивістю віртуального суцільного середовища є також інформаційне поле — синхронізувальний фактор віртуального та реального середовищ, характеристика функціональності НПС.

Фундаментальна властивість віртуального суцільного середовища відповідає принципу максимуму ентропії [9]: $S_p^* = \max(S_p)$, тобто ентропія системи зберігає своє значення, що справедливо для стаціонарних режимів хаотичної динаміки.

Перетворення ентропійного виразу (2) з урахуванням принципу максимуму визначає фундаментальну властивість:

$$\int_{\Omega} \rho d\Omega = 1,$$

тобто у віртуальному суцільному середовищі, що задовольняє принцип максимуму ентропії, враховані всі можливі стани системи і жодних невизначеностей, за винятком наявних у системі, немає.

Фазовий простір вигляду $\Omega = \Omega_q \Omega_p$ характеризується ентропійною мірою:

$$S_p = S_q S_p,$$

де S_q — структурна ентропія; S_p — ентропія імпульсу (випадковому вектору відповідає своя ентропія).

Подвійність ентропійного змісту визначає дві важливі властивості ентропії:

- 1) інваріантність фізичних властивостей віртуального суцільного середовища не є фізичною характеристикою;
- 2) геометрична інтерпретація функціонально значущих систем об'єкта в обраному просторі і відображення їх геометрії зв'язків.

Таким чином, ентропійний підхід до опису структури і динаміки системних утворень потребує визначення щільності (у математичному змісті) складної системи і її елементів, еволюційний розвиток у часі яких описується оператором Гамільтона (H -гамільтоніан). Оператор визначає геометрію, структуру, внутрішні зв'язки системи і повністю описує її динаміку та функціонування. Поводження системи відображається рівнянням Ліувілля:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = [\rho, H], \quad (3)$$

де $[\rho, H] = \rho H - H\rho$ — дужки Пуассона.

Рівняння (3) є фундаментальним рівнянням для опису складних процесів і станів систем об'єкта еколого-економічного аналізу, що враховує структуру взаємодії, потоки інформації всередині систем, дисипацію, випадкову складову взаємодії. Універсальною компонентою рівняння для опису процесу є оператор H .

Урахування початкових і граничних умов, знайдене значення гамільтоніана дозволяють розв'язати рівняння (3) для визначення стаціонарної динаміки процесу. Універсальною числовою характеристикою якості або ризиків для оцінювання стану систем є величина ентропії відповідно до співвідношення (2).

Тісна взаємозалежність показників якості, ризиків і знань для складних систем реалізується за допомогою ентропії, що повністю дозволяє описати якість, знання і ризики, а, отже, більш коректно змодельовати як конкретний процес, так і систему взаємодійних процесів. Така модель ентропійних функцій стану S складається з елементів матриці щільності ρ (рис. 3).

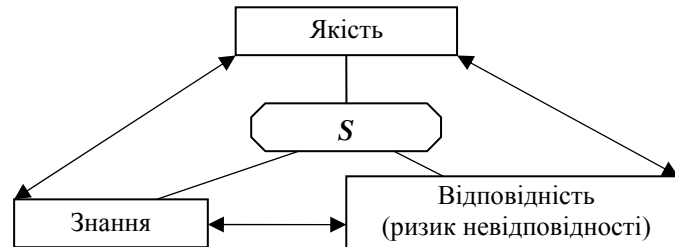


Рис. 3. Схематичне зображення співвідношення характеристик оцінювання якості

Стан системи стабілізується шляхом зменшення ентропії за допомогою інформації, що надходить ззовні. Інформація в процесі розглядається як кінетична енергія системи, що зумовлює її продуктивну дію. У випадку замкненої системи кінетична енергія швидко вичерпується, і тільки відкриті системи завдяки енергії ззовні розбудовуються і продукуються [8, 10].

За наявності еволюційного рівняння (3) стану процесу важливо знати не лише його динаміку, можливі режими існування, але і стійкість цих режимів, тобто чи будуть нехтовно малі збурювання наростати згодом, що в кінцевому підсумку призведе до збільшення ентропії та руйнування системи.

За допомогою розв'язання диференціального рівняння шляхом поелементного додавання до елементів матриці щільності ρ й оператора H (у дисипативному випадку) малих додатків $\Delta\rho$ і ΔH аналізується стійкість рівняння (3) [11]:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = [\Delta\rho H] + [\rho\Delta H]. \quad (4)$$

Рівняння (4) описує динаміку малих збурень за часом t з урахуванням поточного стану системи. У процесі дослідження стійкості системи необхідно враховувати не тільки фактичну її структуру, а і стан, використовуючи числові методи аналізу складних систем. Метод Ляпунова для розв'язання рівняння (4) передбачає надання $\Delta\rho$ і ΔH вигляду:

$$\Delta\rho \rightarrow \Delta\rho_1 e^{\lambda t}, \quad \Delta H \rightarrow \Delta H_1 e^{\lambda t}. \quad (5)$$

Підставляючи рівняння (5) у рівняння (4), отримуємо лінійне алгебричне рівняння для власних значень:

$$\lambda\Delta\rho_1 = [\Delta\rho_1 H] + [\rho\Delta H_1]. \quad (6)$$

Таким чином, якщо всі власні значення λ додатні, то малі збурення щільності не наростатимуть згодом, а, отже, стан (процес) буде стійким. У випадку наявності хоча б одного додатного власного значення система

буде демонструвати нестійке поведіння. Втрата стійкості є реакцією системи на зовнішній вплив НПС, вихід стабільного розвитку динамічного процесу за граничні умови, межі критеріїв стійкості.

На практиці в системі комплексного оцінювання стану об'єктів природно-техногенного походження як критерії стійкості розглядаються правила, що дозволяють досліджувати стійкість системи без безпосереднього знаходження коренів характеристичного рівняння. Під час розроблення методичного забезпечення в оцінюванні якості складних системних об'єктів враховано, що стійкість визначається порушеннями упорядкованості системи (1)–(6) і її кінцевим синергетичним станом, що відповідає вимогам якості (рис. 3).

Для комплексного оцінювання екологічності територіально-об'єктових систем упроваджено компараторну ідентифікацію у вигляді функції відповідності як кількісне визначення за двома параметрами — 0 і 1, що дозволяє поєднати зміни у стані систем і об'єкта та ймовірності порушення зв'язків у середовищі [12, 13]. За результатами ідентифікації стану систем і відповідності умовам стійкості процесів, що відбуваються в об'єктах дослідження, за методом компаратора екологічності надається узагальнена характеристика об'єкта на основі ризик-аналізу. На останньому етапі реалізації комплексного оцінювання визначається стан усіх трьох складових сталого розвитку, виділяються процеси стабілізації і дестабілізації в аналізованих об'єктах навколишнього середовища.

Реалізацію методики комплексного оцінювання якості НПС розглянуто на прикладі дослідження техногенно-навантажених регіональних утворень з використанням моніторингової інформації. Для отримання адекватних результатів унаслідок оброблення такої інформації важливим є усунення інформаційного шуму, що супроводжує вихідні дані розрахунку екологічності [14]. У цій роботі пропонується запровадити метод головних компонент для виокремлення потрібної для вирішення поставленого завдання інформації з усього доступного набору даних зі збереження його інформативності, подання її у більш компактній і вагомій формі для оброблення та аналізу отриманих результатів [15]. Значення головних компонент за розрахунками в Statistica 6.0 [16] дозволяє використати вагомий параметри управління для стабілізації стану в системі.

Алгоритмічне забезпечення оцінювання екологічності природно-техногенних об'єктів у зв'язку з комплексуванням методик головних компонент і компараторної ідентифікації при багатоплановій вихідній інформації визначає послідовність усунення інформаційного шуму, установлення узагальненої оцінки якості системного об'єкта (рис. 4).

Для визначення групувань для шкали сталості систем до ризику на основі невідповідності вимогам сталості, де під невідповідністю розуміється результат «0» на виході компаратора, пропонується застосувати методи статистичної теорії. Зокрема, для визначення кількості інтервалів шкали у цій роботі використано формулу Стержеса [17]:

$$n = 1 + 3,322 \lg N ,$$

де n — кількість інтервалів; N — загальна кількість досліджуваних параметрів.

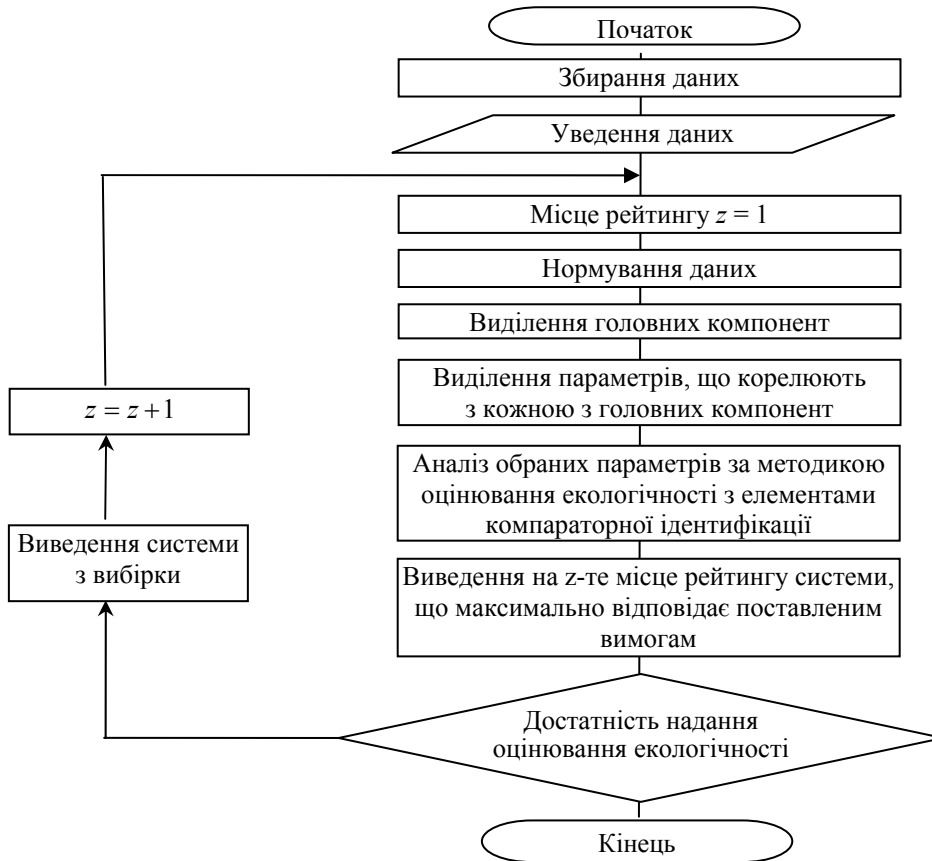


Рис. 4. Схема алгоритму комплексного оцінювання екологічності об'єкта

Оскільки для кожного розрізу дослідження згідно з поставленим завданням встановлено, що достатньою є загальна кількість $N = 20$, то $n = 5,32$, тобто кількість інтервалів дорівнює 5. Пропонується виокремити такі інтервали: дуже високий, високий, середній, низький, дуже низький.

Для визначення межі кожного інтервалу було взято за основу емпіричну шкалу ризиків [18], у якій виділено 6 інтервалів:

- 0–0,1 — дуже високий рівень якості сфери;
- 0,1–0,3 — високий рівень якості сфери;
- 0,3–0,4 — середній рівень якості сфери;
- 0,4–0,6 — низький рівень якості сфери;
- 0,6–1 — дуже низький рівень якості сфери.

Таке групування визначається як первинне, однак воно не задовольняє мету дослідження щодо кількості груп [19]. Для усунення цього недоліку проводиться вторинне групування, що полягає в зміні інтервалів первинного групування для багатоаспектного аналізу статичних даних [19].

Запропоновану методику протестовано для оцінювання стану 25 регіонів України (ураховуючи АР Крим) за 60 параметрами, де параметри 1–20 характеризують екологічний, 21–40 — економічний, 41–60 — соціальний стани регіону. У результаті використання методу головних компонент (рис. 5 і 6) виділено 20 головних компонент, які корелюють з 53 параметрами сукупності вхідних даних, які і було долучено до подальшого аналізу.

Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (Spread Active variables only)				
Value number	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	31,56848	52,61414	31,56848	52,6141
2	4,70684	7,84473	36,27532	60,4589
3	3,63972	6,06620	39,91504	66,5251
4	3,10532	5,17554	43,02036	71,7006
5	2,86223	4,77038	45,88259	76,4710
6	2,58079	4,30132	48,46338	80,7723
7	2,14451	3,57418	50,60789	84,3465
8	1,48396	2,47327	52,09185	86,8198
9	1,41375	2,35625	53,50560	89,1760
10	1,15326	1,92210	54,65886	91,0981
11	0,98343	1,63904	55,64229	92,7371
12	0,88394	1,47324	56,52623	94,2104

Рис. 5. Фрагмент визначення головних компонент параметрів оцінювання сталості

Factor coordinates of the variables, based on correlations (Spreadsheet1 in Workbook1)										
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Fact.10
Var1	-0,899538	0,346580	-0,225284	0,070310	-0,091003	0,033836	-0,016440	0,010395	-0,017917	-0,003672
Var2	-0,907985	-0,111004	0,096439	-0,210526	0,232340	-0,009412	0,031555	-0,081403	0,062914	-0,010977
Var3	-0,837347	-0,257297	-0,136669	-0,129717	-0,022259	-0,197771	0,100043	-0,163093	-0,122736	0,143272
Var4	-0,945125	0,213439	-0,067415	0,135365	-0,101076	0,113203	-0,009159	0,032692	-0,009189	-0,037359
Var5	-0,910935	0,307364	-0,061504	0,033724	-0,028569	-0,113126	-0,098291	-0,008902	0,097352	-0,018685
Var6	-0,928166	0,163922	-0,058919	-0,267603	-0,055321	-0,008186	0,076299	-0,006991	-0,013665	-0,051599
Var7	-0,807929	0,145329	0,204660	-0,306518	-0,254749	-0,196944	0,081128	-0,102629	0,132969	0,004313
Var8	-0,425450	-0,163575	0,364817	0,105000	-0,288104	-0,194810	-0,181143	-0,196281	-0,286282	0,196898
Var9	-0,642228	0,198467	-0,127898	-0,223395	0,168285	-0,426895	-0,368351	0,289235	0,057795	0,005231
Var10	-0,472613	0,212883	0,233900	-0,006940	-0,433273	0,125307	0,337732	0,014783	-0,178205	-0,462314
Var11	-0,694143	0,232723	-0,124342	-0,190986	0,132078	-0,365320	-0,391350	0,292503	0,047465	0,003094
Var12	-0,569182	-0,061060	0,268887	-0,591539	-0,226030	-0,191840	0,254141	0,041052	-0,047391	-0,080681
Var13	-0,938963	-0,136434	0,044933	0,016221	0,141637	-0,120834	-0,099871	-0,090121	0,082277	-0,096850
Var14	-0,917282	0,277037	-0,222322	0,074009	-0,061971	0,044881	-0,036343	0,008624	-0,022440	0,066273

Рис. 6. Фрагмент таблиці факторних координат параметрів відповідно до кореляції

Для прийняття рішень щодо підвищення екологічної якості та загальної сталості функціонування природно-техногенних систем пропонується аналізувати вихідні характеристики об'єкта за трьома напрямками: екологічним, економічним та соціальним, тобто поділити параметри на три групи (див. таблицю).

Рейтинг регіонів з екологічної якості порівняно з результатами оцінювання стану екологічної безпеки областей України (АР Крим) за значенням інтегрального показника ризику і відповідністю їх трьом класам небезпеки [20]. Аналіз показав, що на перші 11 місць отриманого рейтингу припадає низький рівень небезпеки, на місця 12–20 — низький та середній рівні небезпеки, на місця 21–25 — високий рівень небезпеки. Отже, практичну здатність такого підходу підтверджено відповідністю отриманих даних результатам досліджень за іншими методиками визначення рівня екологічної якості територіальних об'єктів.

Кінцеві рейтинги регіонів

Рейтинг регіонів за станом екологічної сфери		Рейтинг регіонів за станом економічної сфери		Рейтинг регіонів за станом соціальної сфери	
№ з/п	Назва	№ з/п	Назва	№ з/п	Назва
1	Чернівецька	1	Донецька	1	Закарпатська
2	Волинська	2	Дніпропетровська	2	Харківська
3	Тернопільська	3	Харківська	3	Волинська
4	Закарпатська	4	Одеська	4	Івано-Франківська
5	Рівненська	5	Київська	5	Кіровоградська
6	Сумська	6	Луганська	6	Одеська
7	Чернігівська	7	Полтавська	7	Донецька
8	Житомирська	8	Львівська	8	Дніпропетровська
9	Хмельницька	9	Запорізька	9	Львівська
10	Кіровоградська	10	АР Крим	10	АР Крим
11	Миколаївська	11	Вінницька	11	Київська
12	Івано-Франківська	12	Черкаська	12	Луганська
13	Вінницька	13	Миколаївська	13	Рівненська
14	Черкаська	14	Хмельницька	14	Запорізька
15	Херсонська	15	Івано-Франківська	15	Полтавська
16	Львівська	16	Житомирська	16	Чернівецька
17	АР Крим	17	Сумська	17	Вінницька
18	Полтавська	18	Кіровоградська	18	Миколаївська
19	Одеська	19	Рівненська	19	Хмельницька
20	Харківська	20	Чернігівська	20	Черкаська
21	Запорізька	21	Херсонська	21	Сумська
22	Луганська	22	Закарпатська	22	Тернопільська
23	Київська	23	Волинська	23	Чернігівська
24	Дніпропетровська	24	Тернопільська	24	Херсонська
25	Донецька	25	Чернівецька	25	Житомирська

Для автоматизації проведеного оцінювання та виділення природно-техногенних комплексів, що відповідають певному рівню стану досліджуваної сфери розроблено програмний комплекс для операційної системи Android (рис. 7).

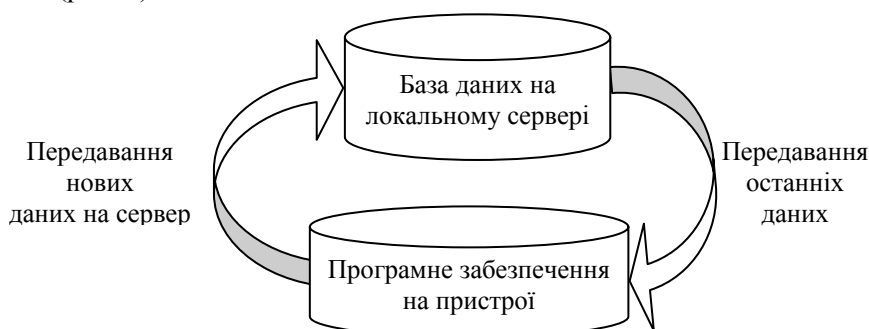


Рис. 7. Принцип роботи програмного продукту

Вибір системи програмування зумовлено потребою в оперативному управлінні для середнього та нижнього організаційних рівнів системи. Автоматизована система реагування на зміни дає змогу швидко обробляти дані і відповідно регулювати ситуацію (рис. 8).

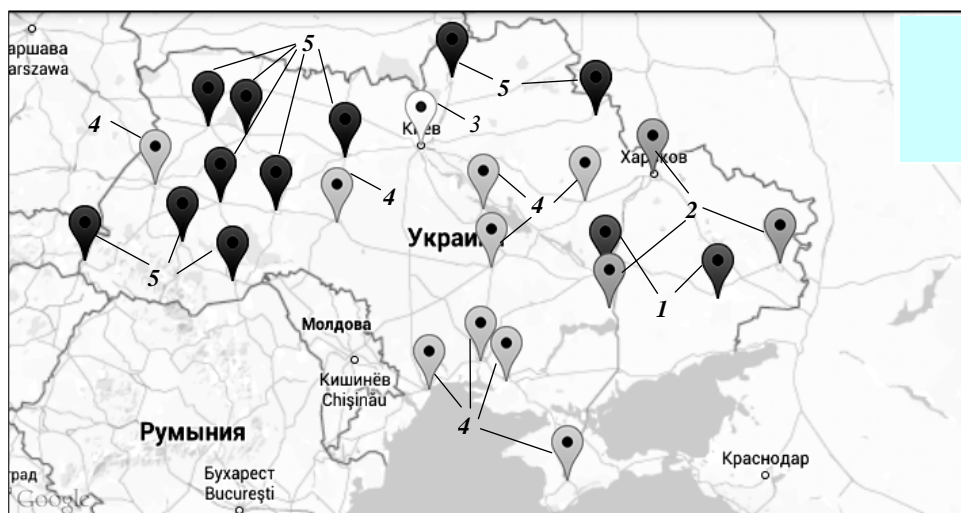


Рис. 8. Результати роботи програми для аналізу екологічності регіонів України; рівні небезпеки: 1 — дуже низький, 2 — низький, 3 — середній, 4 — високий, 5 — дуже високий

Таким чином, у роботі обґрунтовано доцільність комплексного оцінювання рівня екологічності природно-техногенних об'єктів за характеристикою їх стану і процесів у них для виявлення факторів дестабілізації систем і визначення ризик-ситуації з метою подальшого прийняття рішень щодо її стабілізації. Запропоновано програмну реалізацію застосовуваного підходу до дослідження складних об'єктів з метою автоматизації комплексного оброблення вхідної інформації та отримання знань про стан системи і її складових, основні фактори стабільного розвитку або дестабілізації системи.

ВИСНОВКИ

Надано алгоритмічне забезпечення запропонованої методики для кінцевого оцінювання з відокремленням характеристик, що становлять інформаційний шум. Розроблена методика оцінювання стану природно-техногенних об'єктів (див. рис. 4) дозволила отримати такі науково-практичні результати:

1) упровадження елементів синергетичного аналізу в систему оцінювання стану складних об'єктів техногенно-природного походження (див. рис. 1, рівняння (1) – (6));

2) визначення основних елементів методичного забезпечення комплексного оцінювання відповідності рівню екологічної безпеки природно-техногенних систем на основі компараторної ідентифікації (див. рис. 4) ;

3) розроблення алгоритмічно-програмного комплексу розв'язання різнопланових задач оцінювання якості складних регіональних утворень (див. рис. 7 і 8).

Запропонована методика дозволила отримати порівнянні результати на регіональному рівні досліджень при багатоаспектному аналізі визначеного об'єкта дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козуля Т.В. Моделирование структуры и идентификация состояния корпоративной экологической системы (КЭС) / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // Проблемы інформаційних технологій. — 2007. — № 01 (001). — С. 178–187.
2. Sharonova N.V. Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition / N.V. Sharonova, T.V. Kozulia // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. — 2008. — № 2 (31). — С. 518–527.
3. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: моногр. / Т.В. Козуля. — Х.: НТУ «ХПИ», 2010. — 588 с.
4. Козуля Т.В. Методичне забезпечення комплексної оцінки екологічності системних об'єктів методом компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова // Системний аналіз і інформаційні технології: матеріали 16-й Міжнарод. науч.-техн. конф. SAIT 2014 (Київ, 2014) / УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ». — К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ», 2014. — С. 107–108.
5. Kozulia T.V. Teoretiko-prakticheskie osnovy metodologii kompleksnoj ocenki jekologichnosti territorial'nyh i ob'ektovyh sistem. Monografija / T.V. Kozulia. — Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 298 s.
6. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен; пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 423 с.
7. Levich A.P. Category-functor modelling of natural systems / A.P. Levich, A.V. Solov'yov // Cybernetics and Systems. — 1999. — № 30 (6). — P. 571–585.
8. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
9. Панченков А.Н. Энтропия / А.Н. Панченков. — Н.Новгород: Интерсервис, 1999. — 592 с.
10. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса / И.Р. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
11. Климентович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем / Ю.Л. Климентович. — М.: Янус, 2001. — 305 с.
12. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: моногр. / Т.В. Козуля. — Х.: НТУ «ХПИ», 2010. — 588 с.
13. Козуля Т.В. Информационно программное обеспечение оценки качества и безопасности объектов исследования мониторинговых систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // International Periodical Scientific Journal "Intelecti" – Tbilisi, 2015. – 3(53). – P.67–72.
14. Козуля Т.В. Обоснование методики компараторной идентификации для системы экологического мониторинга на региональном уровне исследования / Т.В. Козуля, М.О. Білова // Проблемы інформаційних технологій. — №02(014). — 2013. — С. 45–49.
15. Российское хемометрическое общество. Метод главных компонент [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://chemometrics.ru/materials/text-books/pca.htm>
16. STATISTICA. Версия 6.1. Системный подход к анализу данных [Электронный ресурс]. — StatSoft Russia. — Режим доступа: <http://www.statsoft.ru>.
17. Sturges H. The choice of a class-interval / H. Sturges // Journal of the American Statistical Association. — 1926. — N 153. — P. 65–66.
18. Машина Н.І. Економічний ризик і методи його вимірювання / Н.І. Машина. — К.: Центр навч. літ-ри, 2003. — 188 с.
19. Аладьев В.З. Курс общей теории статистики / В.З. Аладьев, В.Н. Харитонов. — М.: Fultrus Book, 2006. — 250 с.
20. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / А.Б. Качинський. — К.: Екологічна безпека, 2001. — 251 с.

Надійшла 02.07.2015