

ФОРМУВАННЯ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

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

Анотація. Виконано аналіз існуючих методів та моделей для об'єктів соціально-еколого-економічного змісту та формування знання-орієнтованої системи для прийняття рішень на основі ідентифікації знань. Подано інформаційно-алгоритмічне забезпечення практичного застосування керування системним об'єктом будь-якого рівня складності в умовах невизначеності інформації. Розглянуто процес обґрунтування доцільності звернення під час моделювання поведінки системного об'єкта до положень синергетики і теорії нелінійних процесів функціонування складних систем. Розроблено проект знання-орієнтованої системи інформаційно-програмного забезпечення оброблення інформації для дослідження складних систем.

Ключові слова: системний об'єкт, знання-орієнтована система, логічна мережа, складна система, ентропійна оцінка, база знань, ентропійно-компараторна оцінка, компараторна ідентифікація.

ВСТУП

Необхідність узгодження структури і характеристик процесів для керування гармонійним розвитком системних об'єктів потребує звернення до методів інтелектуального аналізу даних. Такий аналіз важливий для реєстрації послідовності ефектів чи подій та процесів, які спричиняють їх ненормалізований стан, тобто постає потреба у прийнятті рішення про порядок подальшого перебігу змін у системі чи об'єкті, виходячи з наявної локальної інформації з використанням знання-орієнтованих баз даних.

У літературі вітчизняних сучасників розглядається поняття самоорганізації як переходу від хаотичного до більш упорядкованого стану. Такі системні переходи є результатом необоротних нерівноважних процесів, які розглянуто у працях І.Р. Пригожина, А.В. Коваль, І.І. Горбань [1–3]. Для опису відношення за наявною вхідною і вихідною інформацією у вигляді знань про стан і процес, що визначають перетворення у системі, використовують логічні мережі, зазначені у працях Ю.П. Шабанова–Кушнарєнка [4, 5].

Зарубіжні науковці Wang Xinghao [6], J. Kumari [7], Jae-Yoon Jung [8], Parvathi Chundi [9] акцентують увагу на імітаційних моделях для визначення стану і прогнозування змін у складних системах з метою прийняття рішень щодо уникнення небезпек, планування заходів з усунення загроз. Особливістю вирішення завдань еколого-економічного змісту за цими працями є використання функції ентропії як індикатора стану будь-якого рівня складності об'єкта [6–9].

Мета роботи — дослідження системних об'єктів соціально-еколого-економічного змісту та формування знання-орієнтованої системи для прийняття рішень на основі ідентифікації знань і вирішення таких завдань:

– обґрунтування методичних підходів та методичних основ оцінювання стану складних систем в умовах невизначеності;

– розроблення бази знань проведення системного аналізу відповідно до сформованого інформаційно-методичного забезпечення оцінювання стану системних об'єктів;

– розроблення інформаційно-програмного забезпечення оброблення інформації з отриманням однозначного подання результатів щодо стану систем і процесів за наданої повноти знань.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Під час дослідження системних об'єктів передбачається ідентифікація змін характеристик фактичного стану складних систем еколого-соціально-економічного змісту за даними стаціонарних моніторингових досліджень.

Порушення рівноважного розвитку об'єктів і поява небезпеки в системах навколишнього середовища (НС) визначається функцією відповідності у вигляді стану складових систем і процесів. Для остаточного оцінювання якості «об'єкт – середовище» надається комплексний результат оцінювання на підставі послідовного розв'язання невизначеності із застосуванням положень синергетики, математичної логіки [4].

Динаміка змін системи визначається поступовими переходами: у початковий момент часу (стан A) усі системи об'єкта мають однаковий стабільний характер функціональності, невизначеність відсутня, ентропія дорівнює нулю. Після дії внутрішніх дестабілізуювальних факторів чи порушення гомеостазу з НС (вплив зовнішніх факторів — випадковість, стохастичність невідповідності взаємодії «об'єкт – НС») (перехід $A-B$) поступово включаються механізми самоорганізації системи і об'єкт загалом переходить у стохастичний стаціонарний стан (C , перехід $B-C$, ентропія S досягає максимуму) (рис. 1, a).

Еволюційний розвиток системи у проміжному стані B наближається до нормального розподілу (рис. 1, b).

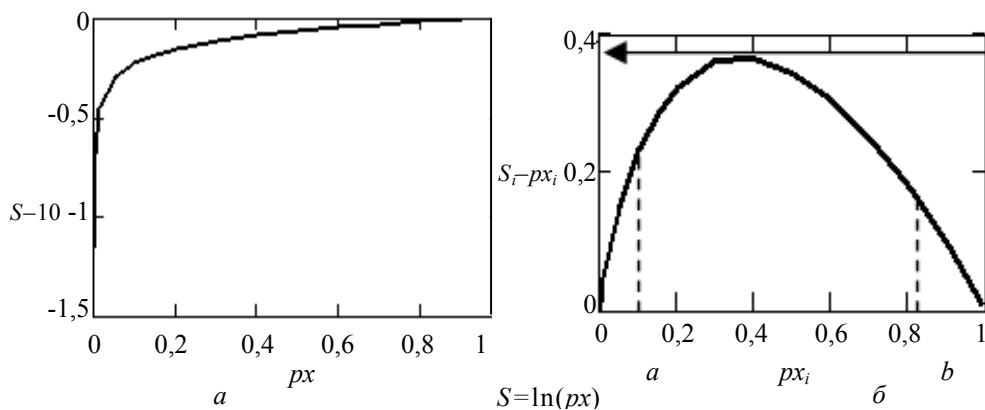


Рис. 1. Характеристика змін за траєкторією максимальної ентропії

У межах функції розподілу випадкових подій (ефектів, відгуків) системи, визначених інтервалом $[a, b]$, міститься зона невизначеності, яка ідентифікується за впровадженням в системний аналіз ентропійною функцією. Згідно з рис. 1, б подається опис об'єкта за його динамікою за хаотичності (повної невизначеності) і за значенням $\mu \cong S$ або ΔS :

$$S(x) = \begin{cases} \text{sign}[x - a] \text{ або } a \rightarrow -\infty; \\ \text{sign}[x - b] \text{ або } b \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (1)$$

Детерміновану величину a визначають як випадкову величину X , ентропійна функція якої має тут одиночний стрибок у точці a (рис. 1, б). Зміни ентропії відзначено відгуком системи на трансформацію вхідної дії з боку зовнішнього середовища на межі системи L , взаємодії отриманої інформації із внутрішніми факторами системи LM , що зумовлює прояв факторів M_2 стабілізувального або деструктивного характеру з подальшою зміною стану H відповідно $M_2H \rightarrow H'$ або H_2 . Інформативність такої системи з урахуванням початкового стану і його варіації за рахунок вивільнення зв'язаної енергії (негентропії), зважаючи на наявні процеси, відображають аналогічно до зазначеної поведінки складових (множина X змінних x — $X = \{x\}$) з поділом на відбиту і невідбиту частини, що дорівнює адитивній негентропії I_Σ і ентропії відбиття S :

$$I_A = I_\Sigma + S. \quad (2)$$

Розв'язання невизначеності в зоні $[a, b]$ завдяки ентропії стає можливим, якщо за наведеною вище логікою формування структурного упорядкування враховувати саме синергетичну теорію інформації, виходячи з вивчення перетворень при взаємодії об'єкта з НС і систем у внутрішньому просторі об'єкта. Відповідно до виразу (2) структура системи щодо її упорядкування і хаотичності розглядається за законом збереження суми хаосу і порядку. Зміна станів за результатами процесів взаємодії будь-яких факторів, дії регулювальних і керувальних механізмів визначається законом збереження інформації на міжвидовому інформаційному рівні. Звернення до ентропійних характеристик стану і процесів, статистики і змін щодо визначення поняття «кількість інформації» обґрунтовано поєднанням і нерозривністю взаємозв'язку комбінаторного, імовірнісного і синергетичного підходів.

Урахування взаємодії систем із синергетичним ефектом самоорганізаційної дії дозволяє стабілізувати стаціонарний стан «система (H^0) – НС (W)» відповідно до змін «стан⁰ – процес (зовнішній фактор – внутрішній фактор, внутрішній фактор – внутрішній фактор) – стан⁰» (рис. 2). Такий аналітичний підхід дає змогу послідовно вирішувати проблему невизначеності конкретної ситуації. Стабілізація системи за взаємодії з хаотичною дією НС визначається на феноменологічній основі про ймовірність процесів, які перебігають довільно з більшою ймовірністю при зменшенні за від'ємними значеннями ентропії взаємодії факторів (LM , HM_2). Таким чином, в області невизначеності в інтервалі $[a, b]$ між значеннями $[x_2^{\min}, x_2^{\max}]$ за ентропійною оцінкою встановлюється неідентифікована подія і фактор керувальної дії.

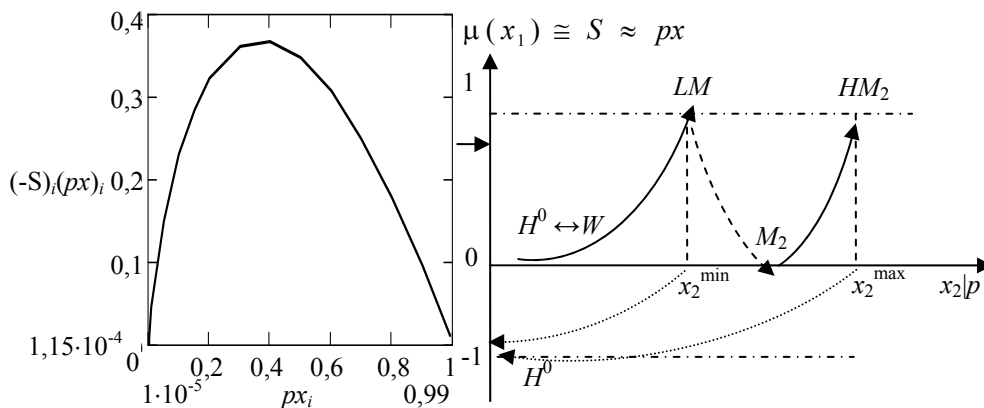


Рис. 2. Розв’язання невизначеності стану системи за траєкторією ентропії процесів самовідновлення стану (синергетичний підхід)

Відповідно до логіки ентропійного розв’язання задачі відбувається ідентифікація стану системних утворень, складові яких зазнають від НС хаотичних непередбачених впливів з невизначеними за їх проявом наслідками. Підґрунтям розпливчості знань про параметри стану і його змін під дією факторів НС є особливістю соціальної і екологічної систем та їх соціально-екологічного утворення.

Уникаючи експертних процедур, звертаються до аналізу відповідностей природному гомеостазу «об’єкт – НС» H^0 , навколо якого взаємодіють зовнішні і внутрішні фактори, що відповідно до ентропійної функції розглядається як повернення до відновлення природних зв’язків між системами $H^0 \leftrightarrow W \rightarrow LM \rightarrow H^0$ або самоорганізаційних синергетичних ефектів прагнення неупорядкованості до стійкого рівноважного стану за умови розгляду вироблення ентропії $S'(K)$, умовної ентропії $S(\xi|\eta)$ і змін ентропії $\Delta S \rightarrow 0$. Зміни внутрішнього системного простору об’єкта у вигляді M_2 дещо стабілізує стан системи на рівні стаціонарності зв’язків з НС H_1^* , що характеризується наявністю негентропійної напруги і спонукає до вивільнення енергії $H_1^*M_2$ та адаптації об’єкта до нових умов взаємодії із системами H^1 .

Таким чином, за принципом максимуму ентропії визначається не тільки фінальний стохастично-рівноважний стан системи, а й динаміка перехідних процесів. Зі сприйняттям об’єктом (системою) дії стохастичного непередбаченого (невизначеного) характеру формується відповідна траєкторія максимальної ентропії від початкового до кінцевого стаціонарного стану.

З урахуванням постановки завдань з оцінювання стану складних систем відповідно до наявної інформації про дані ξ , що містяться в отриманих результатах або визначаються характеристикою для системи η , запропоновано обґрунтувати загальну шкалу кількісних характеристик ентропійної функції ідентифікації «стан системи – процес – стан системи» з використанням логічної мережі як засобу опису будь-яких відношень; подання вхідної і вихідної інформації у вигляді знань за наявності проміжних змінних щодо

перетворень у системах для лінійних логічних переходів як основного засобу їх реалізації [4, 10, 11].

Для переходу до функції відношень між просторами стану в початковий фіксований момент часу і простором зміни стану (за проявом відхилень від звичайного) у деякий час за наявності елементів невизначеності розглядаються лінійні логічні перетворення з метою встановлення причинно-наслідкової компоненти об'єктивним засобом. Для виконання умови лінійності функції співвідношення між наявною інформацією для ξ і результатами, отриманими чи визначеними, характеристикою для системи η вигляду $F : P_\xi \rightarrow P_\eta$, якщо $S(\xi|\eta) \rightarrow 0, \epsilon$

$$[F(P)](y) = \bigvee_{x \in \xi} (K(x, y)P(x)), \quad (3)$$

де для будь-якого $y \in \eta$ $K(x, y)$ — предикат з $P_{\xi \times \eta}$.

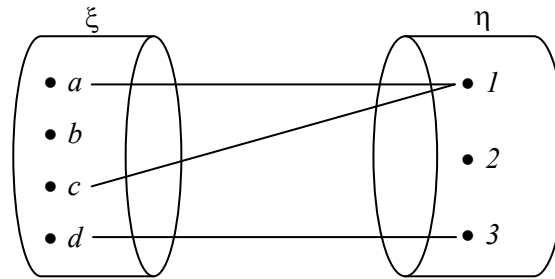


Рис. 3. Графічна інтерпретація ядра лінійного логічного перетворення $K(x, y)$

Ядро логічного перетворення задається графом відношень між складовими критеріями стану для ξ і η [4, 11]. Для виконання еколого-економічного аналізу системний об'єкт ξ у зв'язку зі складністю і наявністю множинних зв'язків з НС розглядаються в ситуації невизначеності для критеріїв оцінювання: рівень економічного розвитку (a — економічна система); індекс соціально-економічного благополуччя суспільства (b — соціально-економічна система); рівень екологічності (c — екологічна система); оцінювання здоров'я населення (d — соціальна система). Наявні (відсутні) інформаційні неточності пропонується доповнювати за допомогою функції відношень, наприклад існування загальної інформації про економічні 1, соціальні 2 та екологічні 3 показники якості (рис. 3).

Для отримання даних про надання загальної оцінки якості для ξ , що враховує усі критерії оцінювання, запроваджується ядро перетворення з отриманням лінійно логічного переходу, тобто з'єднання, а кінцевий результат з урахуванням інформації про η набуває вигляду:

$$K(x, y) = (x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3;$$

$$\begin{aligned} Q(y) &= \exists x \in \{a, b, c, d\} (((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3) \wedge P(x)) = \\ &= \exists x \in \{a, b, c, d\} (((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3) \wedge (x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d)) = y^1 \vee y^3. \end{aligned}$$

Оскільки $K_1(x, y)$, $K_2(y, z)$, $K(x, z)$ — прямокутні матриці, то з'єднання предикатів розглядається як добуток матриць:

$$K(x, z) = K_1(x, y) K_2(y, z) = \bigvee_{y \in N} (K_1(x, y) \wedge K_2(y, z))(y, z).$$

З урахуванням наявних процесів у системах здебільшого кінцевий результат являє собою перетин усіх проміжних «продуктів» перетворень за взаємодії «система – система», «система – внутрішнє середовище», «система – зовнішнє середовище», «об’єкт – зовнішнє середовище» і має вигляд n -го степеня лінійних перетворень:

$$Q^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K_i Q(y), \text{ де } K_i = K = K(x, y)K(y, z);$$

$$P^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K'_i P(x), \text{ де } K'_i = K' = K(x, y)K(y, z). \quad (4)$$

Шуканий результат отримують за збіжності вихідних даних на n -му та $(n-1)$ -му і наступних $(n+1)$ -му, $(n+2)$ -му і т.д. кроках.

Стан системного об’єкта за наявності знань з певним рівнем неточності і недостатності встановлюється за допомогою ентропійної функції і аналізу невизначеностей, а кінцевий результат оцінювання за умов істотного впливу НС визначається з урахуванням аналізу перебігу процесів. Останній фактор подолання ситуації невизначеності дозволяє, крім статичних визначень для системи при розв’язанні завдань керування і регулювання об’єкта еколого-економіко-соціального змісту, встановити стабілізуючі фактори [10].

Перебіг будь-якого процесу, у тому числі і фізико-хімічної природи, забезпечується певними умовами, які залежно від напрямку процесу, його специфіки з отриманням визначених результатів характеризується змінними. Для встановлення особливостей проходження змін їх розбивають на ймовірні процеси P_1, P_2, \dots, P_n , імовірність перебігу яких зумовлюється змінними x_1, x_2, \dots, x_n , що визначаються скінченною множиною значень стану процесу: як неможливий — a ; виконується — b ; здійснений — c . Таким чином, змінні мають вигляд $x \in \{a, b, c\}$ і значення $\{0, 1\}$ (0 — подія не відбулася), а зв’язки між процесами подають через предикати x_1, x_2, \dots, x_n , L_1, L_2, \dots, L_n вигляду $l_1(x_1, x_2)$, наприклад, для процесів P_1 і P_2 .

Неявна ситуація, яка складається щодо процесів, що відбуваються у системі, характеризується існуванням декількох альтернатив і необхідністю синхронізації обраних подій в межах зафіксованих виконаних змін. Тоді неявний вибір визначається суміщенням конструкцій синхронізації і вибору [10]. Так, процеси P_1 і P_2 можуть зумовлювати зміни у функціонуванні процесів P_4 і P_5 , що в кінцевому підсумку стабілізують систему з урахуванням проміжних подій t , які сприяють довільному перебігу процесів за ентропійною оцінкою $-S \rightarrow \max$, $\Delta S_{\text{proz}} \rightarrow -\max$, $\Delta S_{\text{sys}} \rightarrow \min$.

Початкові параметри (змінні) властивостей системи дещо змінюються в неявній формі внаслідок процесів самовдосконалення P_1 і P_2 з подальшою взаємодією P_3 для підтримання системи в стабільному стані, збалансованому за логічною мережею завдяки прояву характеристик x_4, x_5 функціональності систем P_4 і P_5 (рис. 4) відповідно до запровадженої системи предика-

тів з урахуванням змінної $t \in \{0,1,2,3\}$ щодо виконання подій таких процесів P_1, P_2, P_3 і P_1, P_2, P_3 та отримання $R \approx C_1$:

$$\begin{cases} L_1(x_1, x_3), \\ L_2(x_1, t), \\ L_3(x_2, x_3), \\ L_4(x_2, t), \\ L_5(x_3, t), \\ L_6(t, x_4), \\ L_7(t, x_5). \end{cases}$$

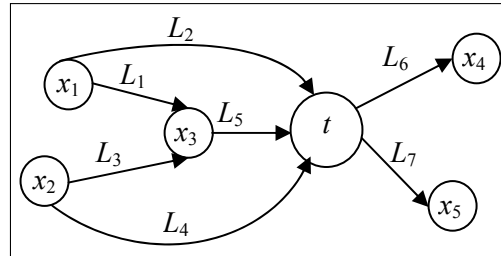


Рис. 4. Логічна мережа ситуації неясного вибору процесів змін

Таким чином, пропонується уникати невизначеності у прийнятті рішення щодо керування системними об'єктами соціально-еколого-економічного змісту з використанням конструктивних моделей математичної логіки, поєднуючи аналіз стану і процесів у системах і за їх межами, тобто у НС. При цьому всі такі моделі поєднуються в цілісний аналітичний комплекс з використанням ідеології організаційних механізмів теорії синергетики. На думку Г. Хакена [11], синергетику можна розглядати як форум, на якому вчені різних дисциплін обмінялися ідеями щодо того, як обходитися з великими системами, що і є об'єктом дослідження прийняття рішення в умовах ризик-невизначеності.

На основі наведеної вище методики оцінювання стану системних об'єктів пропонується розробити клієнт-серверну систему для підтримання прийняття рішення щодо управління якістю складними об'єктами (рис. 5).

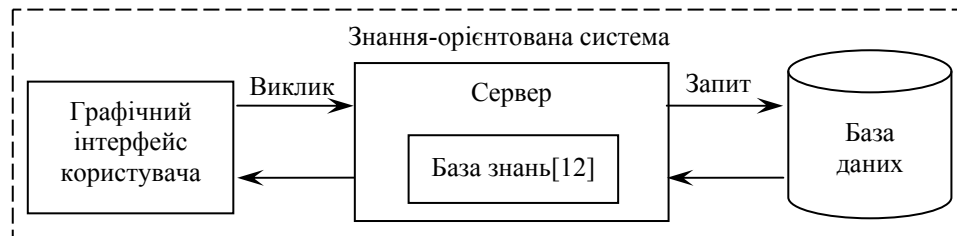


Рис. 5. Клієнт-серверна система

Основа бази знань складають інформаційні дані про властивості систем соціально-еколого-економічного змісту, вимоги безпеки до забезпечення їх функціональності та нормативна база, знання про довільні процеси, що сприяють адаптації, упорядкованості та самоорганізації об'єктів.

Істотна відмінність клієнт-серверної системи від раніше розроблених програмних продуктів [12, 13] полягає в тому, що вона орієнтована на користувачів мобільних пристроїв і уможливує доступ не лише через мобільний додаток, але й через мережу Інтернет та дозволяє зберігати дані на сервері.

На практиці моделі «об'єкт – НС» для ентропійно-інформаційного аналізу природно-техногенних систем і підходи формування знання-орієнтованих даних на базі отриманих результатів реалізуються за алгоритмом, показаним на рис. 6.

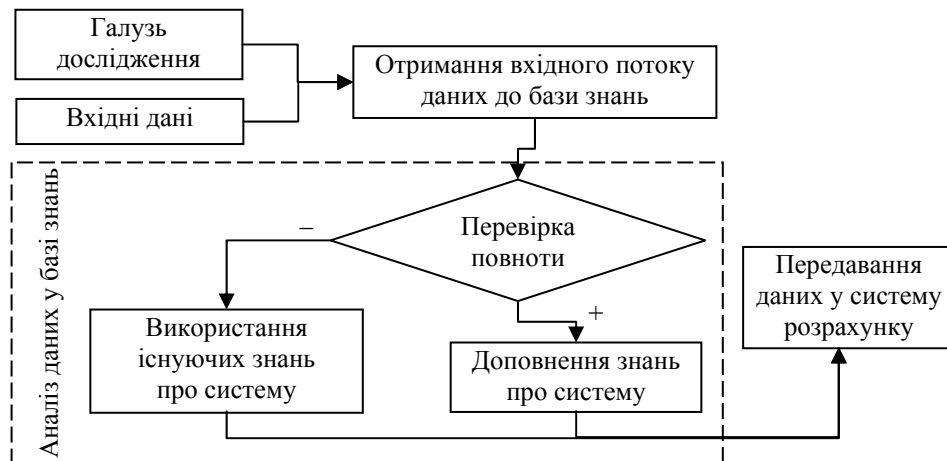


Рис. 6. Алгоритмічне забезпечення оцінки відповідностей і отримання знань

Так, для дослідження відповідностей екологічному стану розглянуто природно-техногенні комплекси території Зміївського району, які зазнають впливу промислово-енергетичного комплексу, відповідно і забруднення НПС важкими металами (ВМ).

Відповідно до положень компараторної ідентифікації визначено 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 $A_1 = A_2 = \dots = A_m = U$ [14]:

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

Для опису трансформації у міграційному потоці стан ВМ подається у вигляді двочастинного графу. Для аналізу стану фактора остаточного впливу ВМ на суміжні середовища (у тому числі і на людину) враховують зменшення рухливості за рахунок довільних процесів утворення ними нерозчинних сполук, нагромадження в ґрунті і відсутність у біоматеріалі, що задає множину можливих варіантів станів. Для оцінювання безпеки надходження ВМ в об'єкти НПС виникає необхідність характеристики відношень: $\{x_1, x_2\}$ $m = 2$, $A_1 = \{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}\}$; $A_2 = \{\text{Mo, Cr, V}\}$, тоді $S = A_1 \times A_2$ є множиною пар вигляду (x_1, x_2) , для яких відношення формуються за значенням ентропійного стану, тобто аналізу процесів змін і самоорганізаційних здатностей системи «ґрунт» загалом. Відношення, що є частинами одного й того самого простору, однотипні, реалізовані операціями: об'єднання – диз'юнкції $\vee \cup$ або; переріз – кон'юнкція $\wedge \cap$. Для аналізованого стану важких елементів з урахуванням імовірності відхилення їх кількості від нормативно встановленого обмеження малого ризику 20% беруть таке відношення [14]:

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

Ентропія при довільних процесах має збільшуватися і відповідно ідентифікується стан безпеки елемента у ґрунті [14].

Аналогічно оцінюється стан здоров'я населення, що є відображенням екологічності дослідженої території.

```
private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv)
{
    Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
    Pen myPen = new Pen(Color.DeepPink);
    Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
    Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
    float sw = (float)((this.pictureBox1.Width - 20) /
(m));
    double cvmax = cv[0];
    double cvmin = cv[0];
    for (int i = 0; i < m; i++)
    {
        if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
    }
}
```

Таким чином, у роботі вперше запропоновано послідовне розв'язання завдань невизначеностей для слабоструктурованих ієрархічно організованих складних систем на основі запровадженого інформаційно-методичного забезпечення ентропійно-компараторної оцінки станів об'єктів дослідження завдяки створенню знання-орієнтованої клієнт-серверної системи.

ВИСНОВКИ

У роботі подано методику оцінювання стану складних систем, інформаційно-програмного підтримання та її реалізації, що дозволило отримати такі науково-практичні результати:

1) визначено основні елементи інформаційно-методичного забезпечення аналізу й оцінювання стану складних систем на рівні дослідження «стан – процес – стан», що становить основу послідовного розв'язання невизначеностей для оцінювання стану «об'єкт – НС» (див. рівняння (1)–(4));

2) обґрунтовано необхідність і доцільність застосування бази знань для проведення аналізу систем з метою підтримання прийняття рішень в умовах невизначеності, що дозволяє комплексно вирішувати питання результату аналізу станів і змін у складних системах;

3) подано інформаційно-програмне забезпечення оброблення інформації з однозначним поданням результатів щодо стану систем і процесів за визначеної повноти знань (див. рис. 5).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні інформаційно-методичної системи з комплексного оцінювання якості системних об'єктів вигляду «стан системи – процес – рівень безпеки» на основі розроблення інформаційно-інтелектуальних знання-орієнтованих систем підтримання прийняття рішень, де вперше сформовано практичну методику оцінювання відповідності стану і функціональних можливостей системних об'єктів та запропоновано аналітичну систему дослідження різномірних об'єктів вигляду «(система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище) $\xleftrightarrow{\text{стан}}$ система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зміни системи – процес – (стан системи)' – (система' $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище)» для підтримання управлінського рішення щодо сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса / И.Р. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
2. Коваль А.В. Модель сценарно-целевого подхода при построении информационно-аналитической системы / А.В. Коваль, Ю.Д. Бойко, Е.А. Зайцева // Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й Междунар. научно-техн. конф. SAIT-14. — К.: УНК «ИПСА» НУТУ «КПИ», 2014. — С. 105–106.
3. Горбань И.И. Энтропия неопределенности / И.И. Горбань // Математичні машини і системи. — 2013. — № 2. — С. 105–117.
4. Вечірська І.Д. Про дослідження властивостей лінійних логічних перетворень / І.Д. Вечірська, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Системи обробки інформації. — 2007. — Вип. 8 (66). — С. 130–133.
5. Голян Н.В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес-процессах / Н.В. Голян, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Системи обробки інформації. — 2011. — Вип. 8 (98). — С. 275–278.
6. Xinghao Wang. Editorial: environmental informatics for environmental planning and management / Wang Xinghao // Journal of Environmental Informatics. — 2007. — N 9 (1). — P. 1–3.
7. Kumari J. Entropy change as influenced by anthropogenic impact on a boreal land cover – a case study / J. Kumari, A. Govind, A. Govind. // Journal of Environmental Informatics. — 2006. — N 7 (2). — P. 75–83.
8. Jae-Yoon Jung. An entropy-based uncertainty measure of process models / Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin, Jorge Cardoso // Information Processing Letters. — 2011. — N 111. — P. 135–141.
9. Parvathi Chundi Rui Zhang. Entropy Based Measure Functions for Analyzing Time Stamped Documents, Proceedings of the Fourth Workshop on Text Mining / Parvathi Chundi Rui Zhang // Sixth SIAM International Conference on Data Mining, Hyatt Regency Bethesda, Bethesda, Maryland. — 2006.
10. Голян Н.В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес процессах / Н.В. Голян, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Системи обробки інформації. — 2011. — Вип. 8 (98). — С. 275–278.
11. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. — М.: Мир, 1985. — 423 с.
12. 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.
13. Козуля Т.В. Формування знань-орієнтованих баз даних для визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкін // Восточноєвропейський журнал передових технологій. — Харьков, 2016. — 1/2 (79). — С. 13–21.
14. Козуля Т.В. Впровадження компараторної ідентифікації для комплексної оцінки рівня безпеки об'єктів / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.О. Білова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 4. — С. 63–73.

Надійшла 09.11.2016