

## ФОРМУВАННЯ ЕНТРОПІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ СТАНУ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ І ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИХ БАЗ ДАНИХ У МЕЖАХ МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ

Т.В. КОЗУЛЯ, В.Ф. МОЇСЄЄВ, М.М. КОЗУЛЯ, А.В. САВЧЕНКО

**Анотація.** Обґрунтовано знання-орієнтований підхід до оцінювання та прогнозування стану складних систем. Розглянуто продукційні системи вигляду «0-стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримання) – *i*-стан об'єкта (системи)», а також питання формування інформаційного забезпечення реалізації методичної бази аналізу складних моніторингових систем. Визначено основи інформаційно-ентропійного підходу до формування моделей об'єктів дослідження з метою об'єктивного аналізу стану системних утворень природно-техногенного походження з використанням знання-орієнтованих даних і здобування нових знань. Надано інформаційну систему для збирання та зберігання інформації про моніторинговий стан об'єкта дослідження, передавання даних для формування моделі, аналізу отриманих результатів і прийняття зваженого рішення.

**Ключові слова:** складні системи, інформаційно-методичне забезпечення, ентропійно-інформаційна модель, моніторингова інформація, ентропійна функція стану, знання-орієнтована система.

### ВСТУП

Сучасні підходи до оцінювання стану складних систем різного походження ґрунтуються на експертних системах, що не дозволяє знизити втручання людського фактора. Для діагностики стану регіональних об'єктів в умовах наявності елементів невизначеності і багатокритеріальності в завданнях забезпечення сталого розвитку використовуються методи Ларсена, Цукамото, Мамдані та Суджено, основані на застосуванні теорії нечіткої логіки [1–3]. Основними недоліками такого методичного підходу є значні матеріально-інформаційні витрати на отримання апроксимаційних залежностей і результатів розрахунків; складність інтерпретації вхідних параметрів нечіткої моделі та пояснення логічного висновку; громіздкі бази правил; необхідність розроблення методу налаштування нечіткого регулятора [4, 5].

**Мета роботи** — обґрунтування знання-орієнтованого підходу для оцінювання на об'єктивній інформаційно-ентропійній функції відповідності стану складних систем вимогам якості, формування і реалізації інформаційно-методичного забезпечення на практичних об'єктах. Досягнення мети передбачає:

1) подолання проблемних завдань системного аналізу під час дослідження складних об'єктів різномірної природи та організації на основі створення об'єктивної ентропійно-інформаційної моделі;

2) визначення структури і функціональних властивостей знання-орієнтованих систем підтримання рішень з регулювання якості складних об'єктів;

3) надання інформаційно-програмного підтримання реалізації запропонованого методичного забезпечення для вирішення практичних завдань.

## ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Початкова інформація за моніторинговими системами (дані спостережень) регулює розмірність бази знань з обов'язковим відображенням трьох основних аспектів безпеки і якості їх стану та функціональності — соціального, екологічного і економічного.

Вихідна інформація на базі моніторинг-вимірювальних даних містить продукційні системи «0-стан об'єкта (системи як складові) — процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримання) — *i*-стан об'єкта (системи)» з позицій досягнення мети сталого розвитку складного об'єкта дослідження, зокрема соціально-еколого-економічного змісту за екологічними пріоритетами.

Продукційні правила різного ступеня невизначеності (нечіткості) початкової інформації з регулюванням розмірності бази знань для цільового управління якістю щодо стану об'єкта /системи і оптимізації дій досягнення мети враховуються у результативному розв'язку, поданому у вигляді кортежу

$$\langle i, Q, P, A \rightarrow B, N \rangle, \quad (1)$$

де *i* — мета – об'єкт стаціонарного сталого екологічного (природного) розвитку як продукція ефективного використання природних механізмів або оптимальних керувальних дій; *Q* — параметр відповідності; *P* — умови досягнення мети як можливість прийняття рішення вигляду  $A \rightarrow B$  – відповідність мети систем (*B*) меті «якщо *A*, то *B*»; *N* — дії і процеси, які виконуються після досягнення *B* [6].

Для аналізу процесів метою  $B_i$  є організація такого стану об'єкта/ систем за *N*-перетворень, які дозволяють досягти стаціонарного упорядкованого стану, визначеного отриманням максимального значення ентропії у разі дестабілізації початкового 0-стану об'єкта з  $\Delta S \rightarrow \max$  з переходом в *i*-й стан об'єкта, що відповідає мінімуму ентропійного значення для відновленої функціональності систем згідно з вимогами їх екологічності (природності за змістом) ( $x_1 = A_{i1}$ ), безпечності ( $x_2 = A_{i2}$ ).

За моніторинговою інформацією формуються вибірки початкових даних з урахуванням наявності відомого і достатнього обсягу значень  $\eta = y_j$  для встановлення точного значення  $\xi$ , що покладені в основу навчальної вибірки вигляду

$$(x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)}) (\eta, \xi = \overline{1, K}), \quad (2)$$

де  $x_1^{(\eta, \xi)}, x_2^{(\eta, \xi)}, y^{(\eta, \xi)}$  — відповідно значення вхідних і вихідних змінних із характеристик об'єктів досліду  $\eta = y_i$  і  $\xi$ ;  $K$  — загальна кількість експериментальних даних у навчальній вибірці [6, 7].

База правил формується за прийнятою процедурою з урахуванням складності об'єкта і отриманих за розрахунками двох показників (змінних  $x_1, x_2$ ). Установлюються мінімальні та максимальні значення моніторингових характеристик об'єктів, які за даних умов відображають можливості досягнення бажаних цілей. Подібним чином аналізуються вихідні дані — стан систем у незадовільному ( $y^{\min}$ ) і відповідному до вимог за прийнятним природним/допустимим рівнем ( $y^{\max}$ ) [6]:

$$x_1 \in [x_1^{\min}, x_1^{\max}], x_2 \in [x_2^{\min}, x_2^{\max}], y \in [y^{\min}, y^{\max}]. \quad (3)$$

Відповідним чином умовна ентропія невідповідності під час оцінювання порушень у системах за умови недостиження потрібного стану або функціональності визначається за таким виразом:

$$\begin{aligned} S(\xi(x)/\eta(x)) &= - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx = \ln \sqrt{2\pi\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx + \frac{1}{2\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^2 dx = \\ &= \ln \sigma \sqrt{2\pi} + \ln \sqrt{e} = \ln \sigma \sqrt{2\pi e}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{де } \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1, \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^2 dx = D = \sigma^2.$$

Для інформаційно-ентропійної оцінки системи використовується функціонал

$$I(x) = \log_2 n + \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i).$$

Динаміка змін визначається такими 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 або порушення гомеостазу з навколишнім середовищем (вплив зовнішніх факторів – випадковість, стохастичність невідповідності взаємодії «об'єкт – навколишнє середовище») (перехід  $A-B$ ) поступово включаються механізми самоорганізації і повільно системи та об'єкт загалом входять у стохастичний стаціонарний стан ( $C$ , перехід  $B-C$ , ентропія  $S$  досягає максимуму).

Однозначна змістовна характеристика логічного ланцюга уникнення невизначеності, можливість аналізу експериментальних даних та моніторингової інформації, яка надається у вигляді ймовірнісного оцінювання даних про об'єкт дослідження, дозволяють стверджувати про правомірність і доцільність визначення стану елементів аналітичної системи через ентропійну функцію, яка прийнятна для встановлення стану ( $\ln p$ ), та інформації про зміни ( $p \ln p$ ). З урахуванням викладеного та наявності елементів невизначеності в аналітичній системі «стан<sup>0</sup> – процес – стан<sup>0</sup> (стан<sup>1</sup>)» пропонується

ентропійне її усунення завдяки застосуванню характеристичної функції для аналізу стану залежності  $S(\xi | \eta)$  (4), зміни  $\Delta S$  та інформаційної ентропії  $S(K)$ , коли її аргумент інваріант  $K$  і є змінною [6, 7]:

$$S(K) = \chi \ln K. \quad (5)$$

Тоді стійкі процеси відповідають умові  $dS(K)|_j = 0$ , де  $j$  визначає умови екстремуму. Згідно з критеріями стійкості Ляпунова [8–10] стан системи стає стійким динамічно, якщо виробництво ентропії має максимум, що властиво для реалізованих у природі процесів і об'єктів:

$$d^2S(K)|_j > 0; \quad d^2S'(K)|_j < 0. \quad (6)$$

Статистично стан мінімуму ентропії нестійкий, оскільки є ймовірність флуктаційної появи самодовільних процесів, що зумовлює подальше зростання ентропії. Зростання ентропії у динамічних процесах як функції від  $K$  на підставі критеріїв Ляпунова відповідає мінімуму ентропії і вважається динамічно стійким. Дійсно, організація стійкого термодинамічного потоку (передавання речовини, енергії, інформації) між системами у природі та на рівні технічних, природно-технічних об'єктів [11, 12] визначає послідовність стаціонарних станів, що локально відповідає принципу мінімуму виробництва ентропії Пригожина [8, 10] за умови прояву самоорганізації і гарантує стійкість систем за Ляпуновим.

Якщо розглядати об'єкт дослідження як матеріальну фізико-хімічну систему, то зміни в ній за положеннями статистичної фізики мають імовірнісну природу. Імовірність визначається як перехід від випадковості до необоротності [8–10]. Порушення рівноваги через прояв внутрішньої диференціації між частинами самої системи і навколишнього її середовища призводить до прояву детерміністичних і випадкових процесів. Однорідність часу і простору порушується формуванням дисипативних структур, які є джерелом диверсифікації та інновації. Наближення до рівноваги виявляється через кореляції, динамічні кореляції, що приводять до рівноважного розподілу. Неперервність часу і детерміністичний рух за передбаченими змінами  $x_n$  та  $x_{n+1}$  і зсувом Бернуллі  $x_{n+1} = 2x_n^{(\text{mod}1)}$  визначаються збільшенням відстані між траєкторіями за експоненціальною розбіжністю  $\exp(n \ln 2)$ , де  $\ln 2 = \lambda$  — показник Ляпунова [10]. Таким чином, встановлюється детерміністичний хаос, коли динамічні процеси породжуються випадковістю [6, 7].

З урахуванням системності об'єкта дослідження дещо змінюється відображення змін у системі за ентропійною ознакою. Аналіз включає розгляд довільних процесів, які приводять систему до позитивних або небажаних ефектів. Породжена внутрішніми і зовнішніми факторами негентропія дозволяє перебіг процесів саморегулювання, що приводить систему до найближчого рівноважного стану [11]. У цій точці сталого функціонування система набуває відповідного атрактора зі зниженням вільної енергії в системі з наступним виробленням ентропії:  $\Delta S \rightarrow 0$ ,  $S_1 \rightarrow \min$ , довільним процесом досягнення нового рівня стабільності системою за зміненням організаційно-структурним станом:  $\Delta S > 0$ ,  $S_2 \rightarrow \max$  (умовно мінімальне значення, еволюційний розвиток). Недосягнення системою бажаної сталості визнача-

ється динамічними змінами, які супроводжуються проявом імовірнісних, стохастичних, випадкових процесів, що відрізняються рівнем невизначеності:  $\Delta S \rightarrow \infty$ ,  $S_3 \rightarrow \infty$  (рис. 1).

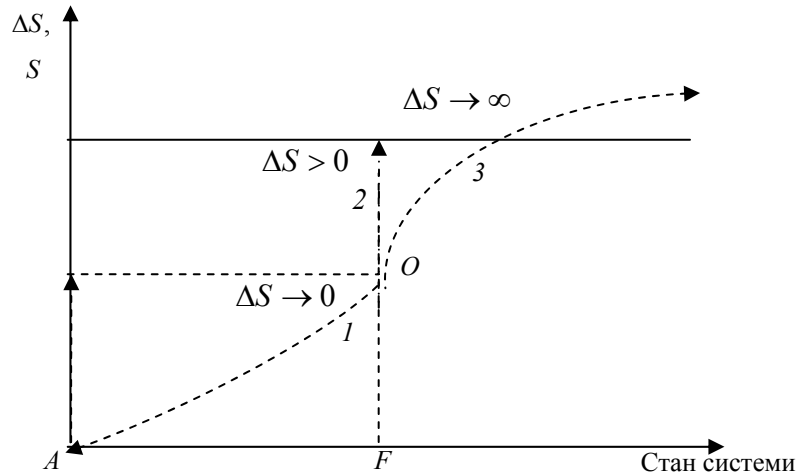


Рис. 1. Динаміка змін у стані об'єктів системних досліджень:  $A$  — початковий стан системи;  $F$  — кінцевий стан системи; 1, 2, 3 — напрямки змін;  $\Delta S, S$  — зміна і значення ентропії в системі;  $O$  — точка біфуркації

Кінцевий стан устанавлюється за структурною ентропією, відповідно до якої формується прагнення системи до рівноваги за об'єктивними вимогами другого закону термодинаміки [12]. Зовнішнє навколишнє середовище за своїм станом і дією на об'єкт і системи спричиняє суперечність у розвитку складових об'єкта або елементів системи. Усунення нестабільності пов'язано з процесами адаптації, виникнення локальних складових інформаційної ентропії (ІЕ). Сукупність локальних ІЕ визначає інтегральну складову ІЕ, яка відповідає за ступінь досягнення рівня незавершеності адаптації [6]. Моніторингові дані визначають стан об'єкта за наданою інформаційною системою відповідно до наявних знань про об'єкт дослідження у вигляді відповідності і, таким чином, відбувається ідентифікація стану системи (див. рис. 1).

Для практичної реалізації наданого підходу до оцінювання прогнозування стану складного об'єкта пропонується розроблення інформаційної системи для збирання та зберігання моніторингової інформації, передавання даних для надання прогнозу реалізованого стану та аналізу отриманих результатів [6, 7]. За необхідності регулювання/управління обґрунтовуються заходи підтримання стабілізуювальних процесів, підсилення факторів позитивних змін/впливу на систему відповідно до алгоритмічного використання ентропійного підходу встановлення на об'єктивній основі оцінювання якості дослідженого об'єкта завдяки застосуванню інформаційних знання-орієнтованих систем (рис. 2).

Відповідно до загальних положень методичного забезпечення встановлення оцінки відповідності стану і функціональності досліджених об'єктів за наявними відхиленнями від допустимої динаміки змін (1) – (6) визначається можливість управління якістю природно-техногенними утвореннями. Отримані результати досліджень динаміки процесів і змін станів систем дають змогу встановити нові знання про системні об'єкти. Для реалізації

завдань на практиці пропонується автоматизоване оброблення інформації з відповідним інформаційно-програмним підтриманням (рис. 2) [13].

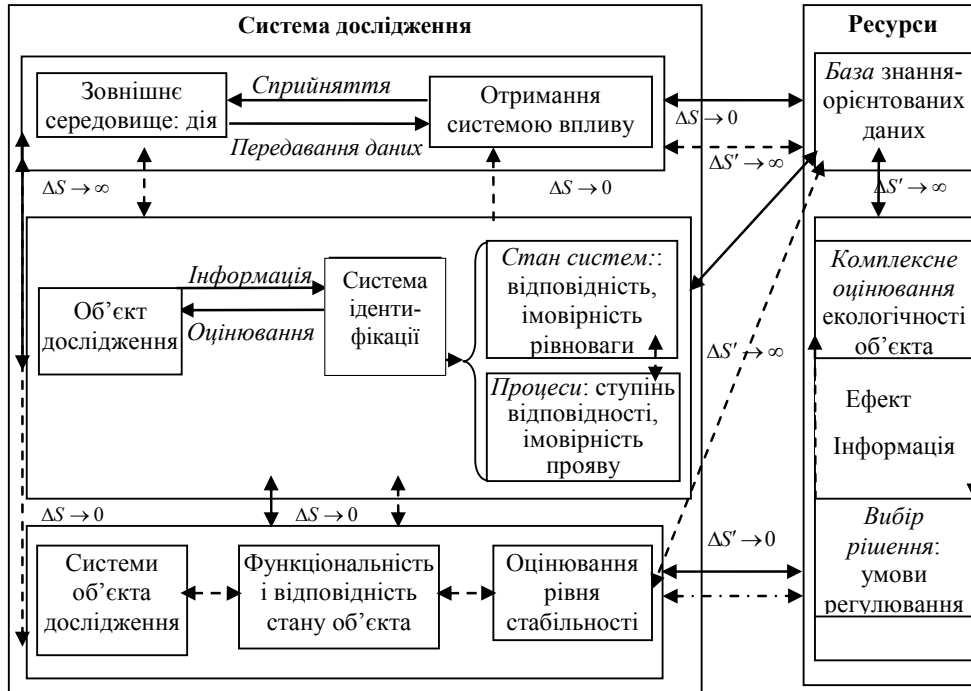


Рис. 2. Інформаційно-ентропійний підхід і знання-орієнтовані системи для оцінювання відповідності системних об'єктів:  $\Delta S$  і  $\Delta S' \rightarrow 0$  — стан рівноваги за відповідності цільовій взаємодії «система – навколишнє середовище» за умови різниці між результатами впливу і стабілізаційного стану об'єкта ( $\Delta S$ ) і вимогами відповідності ( $\Delta S'$ );  $\Delta S$  і  $\Delta S' \rightarrow \infty$  — стан стаціонарності нескінченного розвитку системи за умови відповідності цільовій рівновазі.

У практичних дослідженнях природно-техногенних комплексів використовуються моніторингова інформація і база знань (феноменологічний підхід) для системного аналізу та формування в його межах моделей і рішень з управління якістю «об'єкт – навколишнє соціально-природне середовище». Кількість інформації для встановлення точного опису  $\xi$  за наявності відомого і достатнього обсягу значень  $\eta = y_j$  визначається за функцією

$$S(\xi|\eta = y_j) = -\sum_i p_{i|j} \cdot \log_2 p_{i|j}, \quad MS(\xi|\eta) = -\sum_j P(\eta = y_j) \sum_i p_{i|j} \log_2 p_{i|j},$$

де  $S(\xi|\eta)$  — умовна ентропія  $\eta$ , якщо  $\xi = x$ ;  $MS(\xi|\eta)$  — математичне сподівання умовної ентропії за змінної  $\xi$  [14].

Відповідно до постановки задачі для аналізу якості складних систем кількість інформації в  $\xi$ , що міститься в отриманих результатах попереднього етапу розв'язання задачі або визначається відносно характеристик системи  $\eta$ , дорівнює різниці між такими залежностями [15, 16]:

$$I(\xi|\eta) = S(\xi) - MS(\xi|\eta); \quad I(\xi|\eta) = -\sum_i p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{P\{\xi = x_i\}P\{\eta = y_j\}},$$

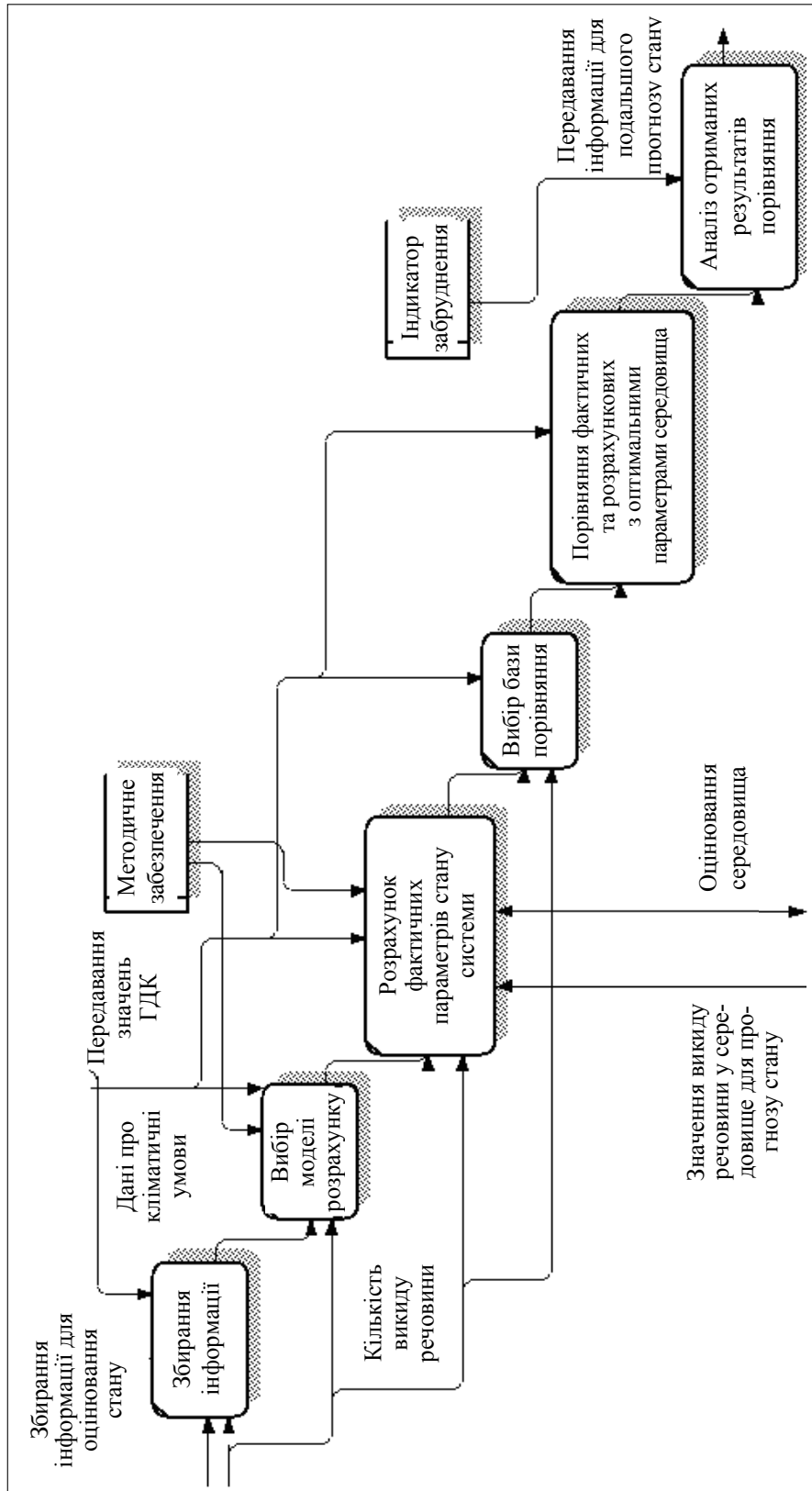


Рис. 3. Діаграма потоків даних: ГДК — граничнодопускаєма концентрація

де  $I(\xi|\eta)$  — кількість інформації в  $\xi$  відносно  $\eta$ ;  $I(\eta|\xi)$  — кількість інформації в  $\eta$  відносно  $\xi$ ;  $S(\xi)$  —  $\varepsilon$ -ентропія;  $p_{ij}$  — сумісний розподіл імовірностей.

Оскільки  $\xi$  і  $\eta$  визначають однакові співвідношення: кількість інформації в  $\eta$  відносно  $\xi$  і кількість інформації в  $\xi$  відносно  $\eta$ , то  $I(\xi|\eta) = S(\xi)$ . Ця послідовність аналізу стану елементів аналітичної системи  $N$ , що складає множину  $X$  змінних  $x_i$ , дозволяє отримати ентропійну оцінку відповідності за інформацією для певної ситуації, тобто  $S = I = \log_2 N$ .

На практиці даний підхід об'єктивного системного дослідження складних об'єктів апробовано під час розв'язання задач екологічної безпеки функціонального модуля очищення шламових вод збагачувальної фабрики ЦОФ «Кураховська» та установки з перезбагачення шламу зі шламовозбірника. Необхідно контролювати оптимальні умови кінетики осаду завислих речовин зі шламових вод за станом кінцевих зразків очищення в разі використання мішалки та за умов природного осадження. Для визначення параметрів оптимального осадження для отриманих зразків застосовано міру невідповідності цільовим вимогам за ентропійною функцією  $n$  вимірних характеристик розрахунку  $L$ :

$$S = \frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i}.$$

Отримані результати для кожної ентропійної характеристики аналізують відповідно до пошуку відрізків, де система досягає свого максимуму та мінімуму:

$$[\min; \min + \Delta S \cdot 0,38]; [\max - \Delta S \cdot 0,38; \max], \quad (7)$$

де  $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$  — довжина відрізка аналізованого розподілу значень.

Якщо розглянута характеристика потрапляє до зазначеного інтервалу  $[a, b]$  — інтервалу для  $\max/\min$  (7), то отримують оптимальне значення, ідентифіковане за правилом:

$$K = \begin{cases} 1, & x \in [a, b]; \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases}$$

Оскільки у системі необхідно провести градування одночасно за декількома параметрами, то доцільно використати кон'юнкцію для виконання одночасно всіх обмежень:

$$t^{\min} \wedge H_0^{\max} \wedge H_3^{\min} = 1,$$

де  $t$  — час кінетики осаду, хв;  $H_0$  — висота освітленого розчину;  $H_3$  — висота згущеного осаду розчину.

Для забезпечення неперервності виробничих процесів, оперативного реагування на небезпечні ситуації на промислових об'єктах за взаємодії «система – навколишнє середовище» запропоновано програмна підтримка контролю безпеки у вигляді мобільного додатка. Програмний продукт орієнтовано на користувачів гаджетів з операційною системою Android, яка по-



ширена на багатьох електронних пристроях, що дає змогу оперативно оцінювати стан складних природно-техногенних утворень. Під час формування програмного продукту враховано різницю між версіями операційної системи з можливістю встановити додаток на різні електронні пристрої, а також можливі ситуації залучення до роботи телефонних пристроїв і планшетних комп'ютерів. Розроблення програмного продукту за операційною системою Android дозволяє отримувати кількісні розрахунки відповідності виробничих процесів цільовій функціональності, для територіальних об'єктів — оцінювати рівень безпеки (рис. 4).

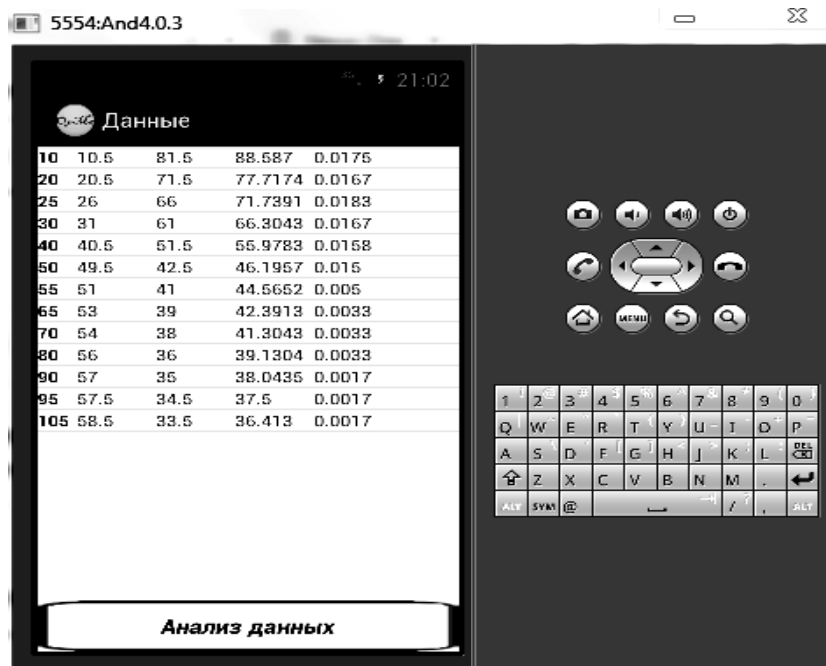


Рис. 4. Результати оперативного контролю еко-ефективності процесу осадження

Під час розроблення робочих процесів перспективних дизелів намагаються зменшити максимальну температуру з метою зниження вмісту оксидів азоту, що відповідає сучасним вимогам еко-ефективності енергетичних установок. У результаті згоряння палива можливі довільні процеси у повітряно-паливній суміші, що за рахунок вивільнення газів формують умови кінцевої стабільності з бажаним «екологічним результатом» за варіації тиску  $P$  і температури  $T$ , зумовленої попередніми їх змінами певним чином (рис. 5) [17, 18]. Ці зміни відображають перехід від хаотичності — ентропія максимальна, до стабільності — ентропія змінюється до нуля, а інформаційна ентропія зростає.

Як і у випадку контролю якості технологічного процесу згоряння палива необхідно регулювати за параметрами і величиною змін для отримання цільового результату – зменшення вмісту оксидів азоту на викиді. Для цього також використано інформаційно-ентропійну функцію відповідності вимогам еко-ефективності (рис. 6).

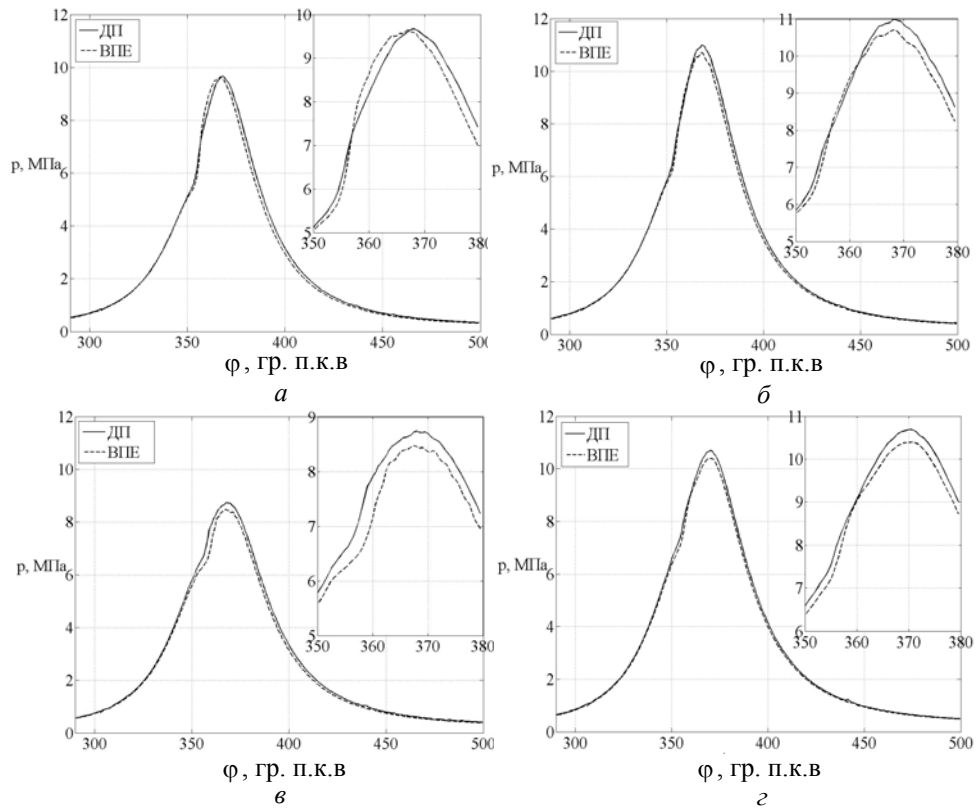


Рис. 5. Індикаторні діаграми у разі роботи на ДП та ВПЕ: а —  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $N_e = 64 \text{ кВт}$ ; б —  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $N_e = 85 \text{ кВт}$ ; в —  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $N_e = 73,6 \text{ кВт}$ ; г —  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $N_e = 100 \text{ кВт}$ ;  $\varphi$ , гр. п.к.в — градуси повороту колінчастого вала;  $p$  — тиск, МПа; ДП — дизельне паливо; ВПЕ — водопаливна емульсія;  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$  — частота обертів колінчастого вала, об/хв;  $N_e$  — ефективна потужність, кВт

```

Values of input data:
min = -0,0492757478344676;
max = 9,67559316354393
Entropy interval for max P is: [0,0238442422135027; 0,0384544600251837]
    
```

Рис. 6. Результати програмного розрахунку параметрів згоряння повітряно-паливної суміші в дизелях

Запропонований інформаційно-експериментальний підхід до розв'язання задач дослідження особливостей екоефективного спалювання палива в дизелях дозволив підтвердити твердження, що зниження максимальної температури в циліндрі та зменшення тривалості процесу згоряння сприяють досягненню максимуму в стабілізації газової суміші на додатній точці зниження вмісту оксидів азоту в складі відпрацьованих газів дизеля, що відповідає стану екорівноваги «дизель – навколишнє середовище», тобто відповідно до вимог (6) мають остаточно  $\Delta S$  і  $\Delta S' \rightarrow 0$ .

## ВИСНОВКИ

За результатами теоретичного аналізу моніторингових систем із застосуванням інформаційно-ентропійного підходу для оцінювання їх якості на основі використання знання-орієнтованих баз отримано такі висновки:

1. Необхідно оцінювати та прогнозувати стан системних об'єктів в умовах моніторингу з урахуванням динаміки продукційних систем вигляду «0-стан об'єкта (системи як складові) – процес (система процесів, оператор змін стану або його підтримання) – *i*-стан об'єкта (системи)» на основі інформаційної ентропії, яка відповідає за ступінь досягнення рівня адаптації у взаємодійних системах у межах складного об'єкта дослідження: це дозволяє отримати інформацію про можливості керування позитивними впливами на досліджувані системи (алгоритмічне забезпечення (1) – (6)).

2. Пропонується комплексне поєднання інформаційно-ентропійного та феноменологічного підходів до розв'язання проблемних завдань, що сприяє визначенню основи з прийняття рішень на об'єктивній основі та обґрунтованості отриманих даних з виявленням нових знань про реальні функціонуючі системи ( див. рис. 2, 3).

3. Запроваджено практичну реалізацію автоматизації оброблення інформації за моніторинговими даними відповідно до рекомендацій використання знання-орієнтованих систем і ентропійного оцінювання відповідності стану об'єктів вимогам якості (див. рис. 2) і наданої послідовності оброблення потоку даних (див. рис. 3) на прикладі контролю безпеки технологічних операцій (див. рис. 4) та стабілізації окремих процесів відповідно до встановлених вимог ефективності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М.: Мир, 1976. — 225 с.
2. Задачи нечеткого математического программирования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://iasa.org.ua/iso?lang=eng&ch=9&sub=3>.
3. Сорокіна Л.В. Моделі і технології управління ринковою вартістю будівельних підприємств / Л.В. Сорокіна. — К.: Лазурит - поліграф, 2011. — 541 с.
4. Караєва Н.В. Діагностика стану регіональних систем за рівнем сталого розвитку в умовах невизначеності / Н.В. Караєва, Л.О. Левченко, А.С. Панасюк, Т.О. Дерипаско // Управління розвитком складних систем. — 2013. — 14(31). — С. 158–163.
5. Бухкало С.І. Екологічна безпека як складова концепції утилізації відходів для комплексних підприємств енергетичного міксу / С.І. Бухкало // Вісник НТУ «ХП». — Х.: НТУ «ХП», 2014. — № 49. — С. 42–56.
6. Козуля Т.В. Формування знань-орієнтованих баз даних для визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем / Т.В. Козуля, Н. В. Шаронова, Я.В. Святкин, М.М. Козуля // Восточноевропейский журнал передовых технологий. — Харьков, 2016. — 1/2 (79). — С. 13–21.
7. Козуля Т.В. Информационно программное обеспечение оценки качества и безопасности объектов исследования мониторинговых систем / Т. В. Козуля, Н.В. Шаронова, Я.В. Святкин, М.М. Козуля // International Periodical Scientific Journal "Intelecti". — Tbilisi, 2015. — 3(53). — Р. 67–72.
8. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
9. Климентович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем / Ю.Л. Климентович. — М.: Янус, 2001. — 305 с.

10. Пригожин И.Р. Конец неопределенности / И.Р.Пригожин. — Ижевск: НИЦ, 2000. — 208 с.
11. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн: пер. с англ. А.А. Харкевича. — М.: Гос. изд-во физико-математ. лит-ры, 1960. — 390 с.
12. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили. — М.: Наука, 2003. — 428 с.
13. Шаронова Н.В. Знання-орієнтоване інформаційне забезпечення досліджень складних систем / Н.В. Шаронова, М.М. Козуля // Системний аналіз і інформаційні технології: матеріали 18-й Міжнарод. науково-техн. конф. SAIT 2016, Київ, 2016 / УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ». — К.: УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2016. — С. 178–179.
14. Моклячук Т.О. Методи оцінки екологічного ризику від забруднення стійкими пестицидами / Т.О. Моклячук // Збалансоване природокористування. — 2014. — № 2. — С.135–142.
15. Козуля М.М. Знання-орієнтована комплексна методика оцінки стану складних систем / М.М. Козуля // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. — Х.: НТУ «ХПІ», 2016. — № 19 (1191). — С. 39–44.
16. Петров В.В. Энтропийные методы проектирования сложных информационных систем / В.В. Петров, В.М. Агеев, Н.В. Павлова // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. — М., 1985. — Т. 18. — С. 78–123.
17. Савченко А.В. Дослідження фізико-механічних процесів в ДВЗ для розробки моделі екоєфективного згорання палива / А.В. Савченко // Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. — Х.: НТУ «ХПІ», 2017. — № 18 (1240). — С. 53–57.
18. Мешков Д.В. Метод расчёта термодинамической погрешности при индцировании ДВС / Д.В. Мешков, А.В. Савченко // Двигатели внутреннего сгорания. — 2014. — № 1. — С. 22–26.

*Надійшла 30.01.2018*