

Л.С. Сікора¹, Н.К. Лиса², Б.Л. Якимчук², Р.С. Марцишин¹, Ю.Г. Міюшкович¹¹Національний університет "Львівська політехніка",²НДВ ЦСД "ЕБТЕС" (м. Львів)

ТЕРМІНАЛЬНІ ТА СИТУАЦІЙНІ ПРОБЛЕМНІ ЗАДАЧІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ОПЕРАТОРОМ ВІД ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АСУ-ТП СКЛАДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

© Сікора Л.С., Лиса Н.К., Якимчук Б.Л., Марцишин Р.С., Міюшкович Ю.Г., 2014

Розглянуто методи побудови шкал приладів для інформаційно-вимірювальних систем, необхідні для конструктивної класифікації даних і прийняття технологічних рішень.

Ключові слова: інформація, дані, вимірювання.

This paper is devoted to the methods of constructing scale devices for information systems necessary for constructive data classification and decision-making process SCADA operator depending on the cognitive characteristics.

Key words: information, the data, measurement.

Вступ

У промислових структурах (державного і приватного сектора) наявні потенційно-небезпечні енергоактивні об'єкти (ПНО-ЕА), які є компонентами технологічних систем і функціонують у режимах граничних навантажень. Неадекватні методи оцінювання ситуацій (внаслідок збоїв інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) і операторів) приводять до дезорієнтації систем управління АСУ-ТП та неправильних рішень оперативного персоналу, що є підставою для виникнення аварійних ситуацій.

Ріст продуктивності складних виробничих систем ґрунтується не тільки на модернізації агрегатів для підвищення їх потужності, але і на оптимальному управлінні, яке, крім структур АСУ-ТП і ІВС, має когнітивну компоненту в особі оперативного і адміністративного персоналу.

Низький професійний і знаннєвий рівень, когнітивні і психологічні характеристики особи оператора, ментальна і соціальна дезорієнтація призводять до того, що управлінські і оперативні команди технологічного і адміністративного управління допускають помилки при прийнятті рішень. Особливо високий рівень ризику – створення аварійної ситуації.

Важливою когнітивною компонентою інтелекту оператора є здатність сприймати в полі уваги дані від ІВС і покази аналогових і цифрових приладів та інтерпретувати їх у різних ситуаціях функціонування технологічної системи і АСУ-ТП.

Знаннєва та професійна невпевненість оператора приводить до деформації рівня сприйняття даних від показів приладів, коли системи функціонують у режимі граничного навантаження.

Для прийняття рішень у таких системах недостатньо аналізу даних про поточні режими агрегатів як в автоматичному, так і людському функціональному поданні, оскільки робота агрегатів за відсутності завад і збурень у нормальних областях інтервалів параметрів стану буде з певною мірою представлена достовірно. При роботі з максимальними навантаженнями і в граничних режимах проявляються спотворення даних про ситуацію в полі уваги оператора, що може привести до неправильних рішень і виникнення аварійних ситуацій. Тобто проблема трактування даних та їх класифікації на основі рангових шкал приладів ІВС є актуальною [1–4].

Моделі сприйняття даних оператором АСУ-ТП

Сприйняття оператором аналогових і цифрових даних від приладів контролю стану об'єкта управління має свої особливості при оцінці їх змісту в полі уваги, які полягають в тому, що (рис. 1):

- фіксуються цифрові дані в пам'яті, але їх не видно за показами попередньої історії траєкторії;
- нечітка орієнтація згідно із даними щодо віддалі до граничних ліній режимів;

- не спостерігається динаміки тенденцій зміни траєкторії при виконанні управляючих дій на короткому термінальному інтервалі часу;
- на таку ситуацію, коли є граничні навантаження технологічної системи при максимальному навантаженні, неможливо чітко за короткий інтервал часу визначити допустиму віддаль до граничного режиму і переходу в аварійний стан (t_{02} - t_{04});
- індикація максимальних значень змінює сприйняття змісту даних оператором і приводить його в стресовий стан внаслідок тривоги переходу системи в некерований аварійний стан (t_{04} , t_{05}) (рис. 2).

При сприйнятті аналогових сигналів у графічній формі деякі недоліки, можливість прогнозу траєкторії комплексуються внаслідок асоціативного образного зображення даних у полі уваги і сценарного трактування подій (Тці). Але траєкторна інтерпретація приводить до спотворення значень шкали показів у різних інтервалах числових значень вимірювання і при входженні траєкторії в граничні області режиму, спричиняючи напруження при прийнятті управлінських рішень (t_{04} , t_{05}).

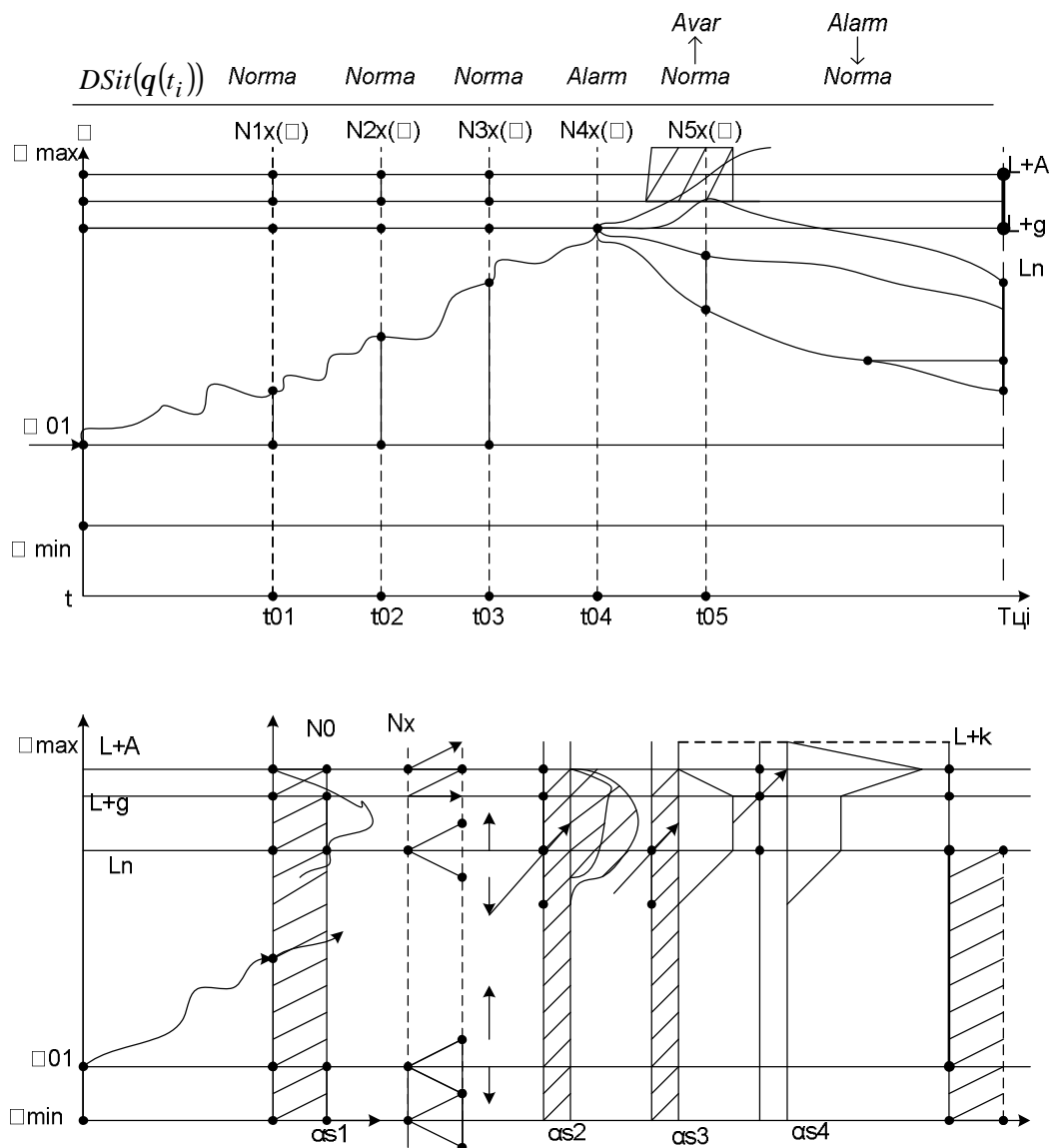


Рис. 1. Схема спотворення сприйняття даних в полі оператора АСУ-ТП

Схема (рис.1) спотворення сприйняття даних оператором АСУ-ТП відображає вплив багатьох факторів та інтерпретацію змісту ситуації залежно від невизначеності в описі динамічних об'єктів агрегатів та ступеня впевненості в показках приладів (правильному), які входять до структури ІВС-АСУ.

Причиною існування невизначеностей слід вважати неповноту і суперечливість даних від різних приладів, які контролюють агрегат об'єкта, неповноту обраного інформаційного базису IBC, старіння приладів при довгих термінах експлуатації, похибки вимірювань, тип розв'язуваної задачі контролю і управління (рис. 2).

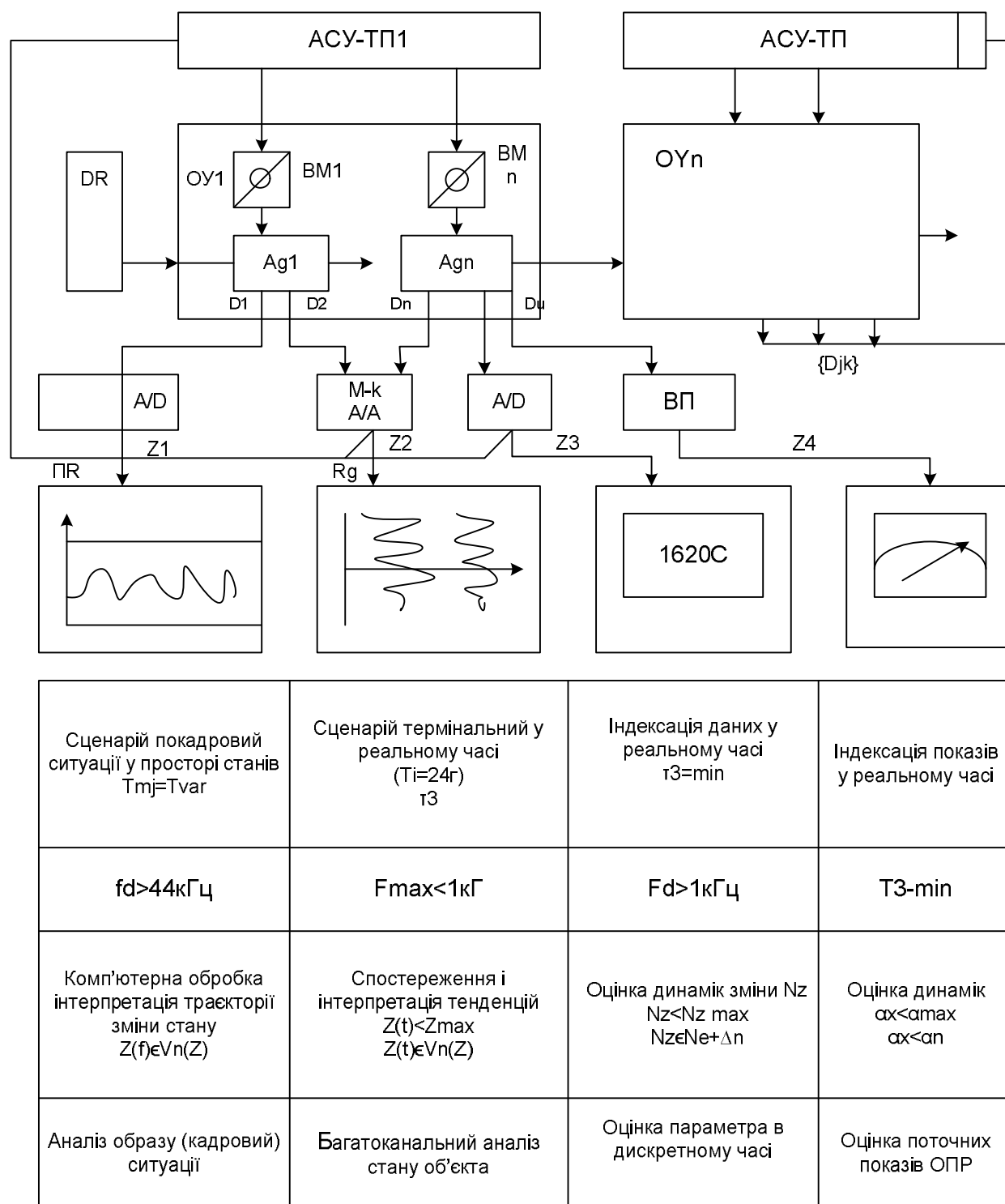


Рис. 2. Інформаційні схеми відбору даних

Відповідно до типу задач можна виділити два базові типи невизначеності:

- невизначеності внаслідок неоднозначності наявних знань про об'єкт у базі даних і базі знань та професійних знань оператора;

- невизначеність, спричинена неповнотою знань про об'єкт для різних рівнів ієрархії предметно-орієнтованої області опису агрегатів і блоків об'єкта управління, фізичного або лінгвістичного характеру.

Лінгвістична невизначеність породжується нечіткістю та багатозначністю окремих слів граматичних конструкцій, які мають синтаксичну, семантичну і прагматичну складові.

Когнітивна невизначеність породжується особливістю сприйняття різнотипних даних приладів в полі уваги оператора та їх інтерпретації (рис.2).

Фізичну невизначеність пов'язують із стохастичністю подій, явищ, процесів, їх причинно-наслідковими зв'язками, похибкою при відборі даних у різні терміни часу та зміні динамічних режимів технологічного процесу в агрегатах і блоках об'єкта.

Аналіз впливів стохастичної невизначеності та прийняття рішень на основі відібраних даних залежить від типу завдань, необхідних для створення інформаційної моделі представлення й оцінки ситуації:

- розпізнавання і ідентифікація класів структури і динаміки об'єктів;
- побудова множини просторів станів об'єкта та цільового простору системи;
- моделювання реакції об'єкта в просторі станів при дії факторів впливу;
- прогнозування змін стану об'єкта;
- побудова оптимальних і адаптивних стратегій управління;
- побудова причинно-наслідкових діаграм впливу комплексу факторів на стан об'єкта управління.

Відповідно невизначеності можна згрупувати в класи або кластери:

- невизначеність від неповноти даних;
- невизначеність природних обставин;
- невизначеність від способу дії активного агента-оператора;
- невизначеність мети управління системою;
- багатокритеріальна невизначеність;
- невизначеність, пов'язана з фізичною складністю або ускладненнями під час вимірювань

та трактування даних.

Міри на числовій осі параметрів стану об'єкта управління

Приладами для контролю за станом агрегатів технологічних об'єктів можна здійснювати два види вимірювань:

- фізичне (аналогові перетворення);
- функціональне (алгоритмічне).

Фізичне вимірювання може бути достовірне, якщо вибраний вимірювальний перетворювач на основі фізичного ефекту є адекватний змісту цільового параметра стану при відповідно розробленій шкалі вимірювальних перетворювачів.

Функціональне вимірювання може бути достовірним, якщо відповідає вимогам метрологічного забезпечення, яке встановлює код числа, розрядність, структуру шкал, спосіб індикації результатів вимірювань.

Математично процес вимірювань трактується через алгебру подій і відношень, якщо можливе означення множини елементів параметра станів і шкали (неметричні і метричні).

Структура об'єкта. Властивості об'єкта характеризуються структурою його властивостей і відношеннями між емпіричними об'єктами. Гомоморфне відображення властивостей об'єкта, параметри якого представлені математичними просторами, характеризується вимірювальною шкалою.

Означення 1. Класична процедура вимірювання.

Задача вимірювання значення величини Q за допомогою міри m полягає в знаходженні числового множника q , при якому виконується рівність:

$$Q = mq \Rightarrow \begin{pmatrix} \exists H_1 : mq_1 \neq Q \\ \exists H_2 : mq_2 = Q \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де H_i – гіпотеза перевірки умови.

Означення 2. Шкалу Супеса, яка визначає гомоморфне зображення властивостей об'єкта через математичні структури, називають вимірювальною шкалою.

Якщо S – множина властивостей об'єктів $\langle A, B, C \rangle$ з вагами (a, b, c) , задано відношення R – між об'єктами: $\{(AR_1B), (AR_2C), (BR_3C)\}$, то система: $E = \{S, R_i\}$ буде емпіричною.

Якщо $N = \{M, P_i\}$ – абстрактна система з відношення P_i на множині дійсних чисел N , то зображення $(S \rightarrow N)$ буде гомоморфізмом. Якщо $(\Psi \subset g_N)$ – конкретний спосіб зображення однозначного $(\Psi : S \rightarrow N)$, то шкалу Супеса, Зінеса наведено у вигляді $S_{SZ} = \langle E, N, \Psi \rangle$.

Відповідно до математичної структури формуються класи шкал вимірювання:

1. $S_A = \langle j(x) = x \rangle$ – абсолютна метрична шкала для вимірювання фізичних величин.

2. $S_M = \langle j[x] = ax, a > 0 \rangle$ – шкала відношень є метричною і характерна для технічних вимірювань на основі групи перетворень;

3. $S_I = \langle j(x) = ax + b, b \in R \rangle$ – частково метрична інтервальна шкала на основі використання позитивних лінійних перетворень та зсувами початку шкали та груповими властивостями (лінійна група $(j(x) = ax + b)$ – стягнення та стиснення).

4. $S_P = \langle \exists KL \left(A_i \Big|_{i=1}^m \right) : A_1 < A_2 \mathbf{K} A_K \rangle$ – шкала порядку на системі об'єктів $\{A_i\}$;

5. $S_N = \left\langle n_1 = KLA_1, \mathbf{K} n_R = KLA_n \right\rangle$ – шкала найменувань, коли числа є умовною назвою об'єктів або класів.

6. Номінальна шкала ґрунтується на наборі мір $\{d_1, d_2 \mathbf{K} d_n | d_i < d_{i+1}\}$, для якої виміряне значення визначається на основі перевірки гіпотез $\langle H_i = (x \leq d_i) \Rightarrow x \hat{=} d_i \rangle$.

7. Порядкова шкала ґрунтується на наявності скінченного числа мір m_i з властивостями J_i для представлення числа x , тоді: $\langle H_j : (x > m_i(J) \text{ або } x < m_{i+1}(J)) \Rightarrow x \in I(m_i, m_{i+1}) \rangle$ гіпотеза визначає інтервал знаходження x .

8. Адитивна шкала будується на основі первинних мір згідно із набором еталонів $\{U_i \Big|_{i=1}^m\}$ у вигляді алгоритму $S_{AD} \rightarrow W_n = \sum_{i=1}^n I_i u_i$, де I_i – кратність мір у дійсних числах; u_i – числове значення еталонів, W_n – значення шкали.

Абстрактна модель шкали

Побудова абстрактної моделі шкали ґрунтується на теорії множин і відношень. Шкала та її структура пов'язані з певною системою – абстрактною моделлю системи і розглядаються як спосіб вимірювання властивостей конкретної системи. Основою поняття абстрактної шкали вимірювання властивостей є представлення на множині пунктів, які пов'язані між собою відношеннями між можливими градаціями вимірюваної властивості.

Для двох множин $x = \{x_i \Big|_{i=1}^n\}$ $y = \{y_j \Big|_{j=1}^m\}$ можна визначити декартовий добуток і множину пар впорядкованих відносно множини W :

$$(\forall X, \forall Y), \exists (X \times Y): \prod_{i=1, m}^{j=1, m} [X_i, Y_j] \exists (W, B(X)), \exists R \quad (2)$$

$$(X_0, Y) = \{\{X_0\}, \{X_0, Y_i\}\}, \{X_0\} \in B(X) \quad (3)$$

$$(X_0, Y) \in B(X \cup Y), (X \times Y): R \subset X \times Y, R \in B(X \times Y) \quad (4)$$

Побудова шкал. На одинарній множині X можна визначити бінарні відношення R , які є підставою для побудови системи шкал на основі властивостей:

1. $\forall x \in X, (X_i, X_j) \in R \subseteq X^2$;
2. $\forall x_1, x_2 \in X; ((X_1, X_2) \in R \rightarrow (X_2, x_1) \in R)$;
3. $\forall x_1, x_2 \in X; ((X_1, X_2) \in R) \cap ((X_2, X_1) \in R) \Rightarrow (X_1 = X_2)$;
4. $\forall x_1, x_2, x_3 \in X : (((X_1, X_2) \in R) \cap ((X_2, X_3) \in R) \Rightarrow (X_1, X_3) \in R)$;
5. $\forall x_1, x_2 \in X, ((X_1, X_2) \in R \geq) \cup ((X_2, X_1) \in R \geq)$;
6. $\exists x_1, x_2 \in X, ((X_1, X_2) \in R) \cap (X_2, X_1) \in R$.

Відповідно на основі реляційної системи $S = (X, R)$ з одним бінарним відношенням $R \subseteq X^2$ можна побудувати системи шкал:

1. Номінальна шкала $S_{\approx} = (X, R_{\approx})$, R_{\approx} – рефлексивне, симетричне, транзитивне відношення еквівалентності;
2. Шкала толерантності $S_T = (X, R_T)$, R_T – рефлексивне, симетричне відношення толерантності;
3. Ординальна шкала (порядку) $S_{\geq} = (X, R_{\geq})$, R_{\geq} – рефлексивне, антисиметричне транзитивне відношення;
4. Шкала толерантного мажорювання $S_{\neg} = (X, R_{\neg})$, де R_{\neg} – рефлексивне, антисиметричне;
5. Шкала дійсних чисел з $(R = (R^+, R^-, R_X))$ набір бінарних арифметичних операцій утворює ряд числових шкал:

- 1) натуральних чисел $SN = (X, R_{\geq}, F_+, F_X)$;
- 2) бальну шкалу $SM_n = (X', R_{\geq}, F_+, F_X)$;
- 3) шкалу цілих чисел $SQ = (X, R_{\geq}, F_+, F_-, F_X, F_{\neg})$;
- 4) шкалу дійсних чисел SRe і раціональних SRa

Для розширення можливостей відбору даних від ПНО та реалізації вимірювальних процесів, підвищення їх точності і інформативності актуальною є задача вибору класу міри для шкали вимірювального приладу, яка є основою для експертної класифікації даних, одержаних в умовах невизначеності оцінки стану складних техногенних систем (рис. 4). Щодо детермінованих мір, які використовуються в процесі вимірювання параметрів стану складних об'єктів, то вони забезпечують метрологічний базис геометричних величин, а для фізико – хімічних і оптичних аналогових і цифрових вимірювальних перетворювачів необхідна лінеаризація шкал, що і не завжди відповідає вимогам інформаційного забезпечення для прийняття управлінських рішень для процесів керування складними технологічними об'єктами. Розпізнавання траєкторних образів ситуацій за показами ІВС [5–7] забезпечує перехід до асоціативного сприйняття стану ПНО.

Стохастичні міри

Під стохастичною мірою розуміємо [1] випадковий процес, який крім числових значень, має інформаційні і сталі ймовірнісні характеристики шкали вимірювального перетворювача.

Згідно із детермінованими мірами будуються шкали однозначні і двозначні вимірювальних пристроїв, при цьому маємо відповідне розбиття:

$\{\forall_i, \Delta_i \equiv \Delta_e\}$ – однозначна шкала, Δ_e – еталонне значення інтервалу шкали;

$\{\forall_i |\Delta_i| \equiv \Delta_e\}$ – двозначна шкала для відображення диференціальних відхилень;

$\{\forall_i, \exists \Delta_i, M\Delta_i \equiv \Delta_e\}$ – стохастична міра, для якої $M\Delta_i$ – математичне сподівання.

Аналітично стохастичну шкалу S можна описати у вигляді імпульсного потоку $\{A_i |_{i=1,n}\}$, тоді розбиття шкал приладів згідно із інформаційною діаграмою.

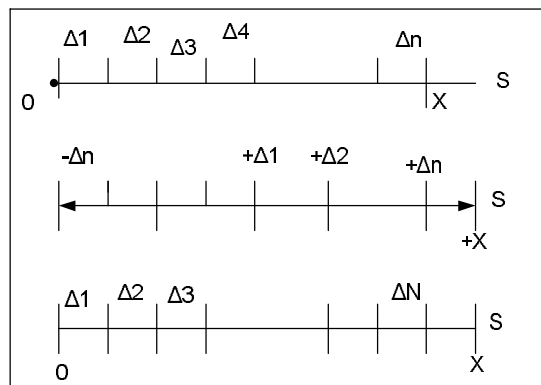


Рис. 3. Розбиття шкал приладів для оцінки параметра стану q згідно із діаграмою

$$\left(Sit \rightarrow q_t \rightarrow X_q^t \rightarrow \hat{X}_q \xrightarrow{S} \hat{q}_{Tm}^t \right).$$

На рис. 4 наведено схему вимірювання параметра стану, який формується в процесі функціонування об'єкта управління згідно із ситуацією (Sit) .

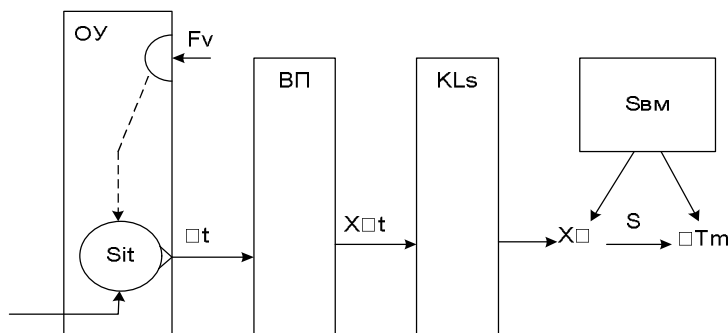


Рис. 4. Схема вимірювання одержаного в процесі вимірювального перетворення параметра стану $(S_{ВП} / q)$

Позначення на рисунку: ОУ – об'єкт управління; F_v – фактор збурення внутрішній, ВП – вимірювальний перетворювач; q_t – параметр стану; X_q – вихідний сигнал вимірювального перетворювача, $S_{ВМ}$ – шкала вимірювального перетворювача; KL_S – класифікатор шкал

Для $ПД_{ВП} = \{X_i^t |_{i=1,n}, t_i \in T_m\}$ при використанні $\left\{ \Delta_i \middle| \begin{matrix} N \\ i=1 \end{matrix} \right\}$ значень мір. При цьому, згідно із шкалою, результати вимірювань набувають вигляду:

$$N_x(\Delta_1 \mathbf{L} \Delta_N) = \int_0^x \sum_i d(S - S_i) dS \xleftarrow{A_{ВП}} \{X_i^t, t \in T_m\}, \quad (5)$$

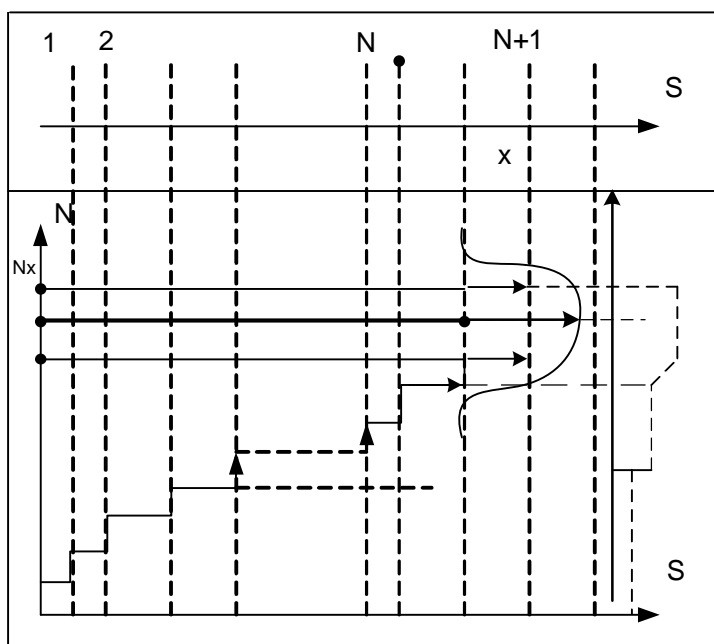
де $d(S - S_i)$ – імпульсна функція; АВП – оператор вимірювального перетворення.

```

graph LR
    Fv[Fv] --> OY[OY]
    1[1] --> Zx[Zx]
    OY --> Zx
    Zx --> сенсор[сенсор]
    сенсор --> VSx[VSx]
    VSx --> X[X]
    X --> Вимір_Перет[Вимір. Перет.]
    Вимір_Перет --> VPx[VPx]
    VPx --> X
    X --> класифікатор[класифікатор]
    класифікатор --> X
    класифікатор --> RgAD[Rg(A/D)]
    RgAD --> Авп[Авп]
    Авп --> Nx[Nx]
    Nx --> Zx2[(Zx)]
    Zx2 --> дисплей[дисплей]
    дисплей --> IconDSit[Icon DSit]
    IconDSit --> IA-E[IA-E]

```

Основні позначення: S – шкала з мірою $\{\Delta_i\}$; OY – об’єкт контролю; Z_x – параметр стану, V_{SX} , V_{PX} – вимірювальні і нормувальні перетворювачі; H_i – гіпотеза; $(Rg(A/D))$ – регістратор даних; $I_{con}(DSit)$ – образ динамічної ситуації; $IA-E$ – інтелектуальний агент – експерт, (Fv, Z_i) – фактори збурень.



Оцінка якості результату вимірювання ґрунтується на точності відтворення значення (X) фізичної величини у вигляді представлення через шкалу $\{N_X(\Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N) \equiv \hat{X}\}$. Якщо міри є [1] реалізацією випадкової величини x , то результат вимірювання розглядаємо як реалізацію випадкової величини $N(X, x)$ з розподілом ймовірностей $N(x, x) = N_x(\Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_n), N(x, \Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N)$, де маємо;

$N \in [0, 1, 2\mathbf{L} K, \infty]$ – номер позиції, при якій виконуються умови щодо перевірки гіпотез (рис. 5):

$$\begin{cases} H_1 : \sum_{i=1}^N D_i < X \Rightarrow (\text{нечітке К значення } \hat{X}_1 = N_X - D/K) \\ H_2 : \sum_{i=1}^N D_i = X \Rightarrow (\text{Точне К значення } \hat{X}_2 = N_X (M_D)) \\ H_3 : \sum_{i=1}^N D_i > X \Rightarrow (\text{Неточне К значення } \hat{X}_3 = N_X + D/l - k), \end{cases} \quad (6)$$

де M_Δ – математичне сподівання значення мір, Δ/l – частка невизначеності часток міри; \hat{X}_i – оцінка параметра X з певним рівнем невизначеності.

Ця ситуація приводить до невизначеності стану при оцінці тенденцій зміни процесу та його сприйняття оператором і має когнітивний характер.

Ймовірність події перевірки гіпотез при порівнянні X з S – шкалою міри $\{\Delta_i\}$ визначається [1] на основі процедури впорядкування:

$$P\left(\sum_{i=1}^N \Delta_i \leq X \leq \sum_{i=1}^{N+1} \Delta_i\right) = P\left(\sum_{i=1}^N \Delta_i \leq X\right) - P\left(\sum_{i=1}^{N+1} \Delta_i < X\right), \quad (7)$$

де $P\left(\sum_{i=1}^N \Delta_i \leq X\right) = F_N(X)$ – інтегральна функція розподілу ймовірностей. Тоді закон розподілу можливих значень реалізації результату вимірювання можна подати у вигляді ймовірного значення величини $P_{N=N_X}(X, \Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N) = F_N(X) - F_{N+1}(X)$ з характеристиками математичного сподівання і дисперсією відносно шкали S для X :

$$M[N(x, \Delta_0)] = \sum_{N=0}^{\infty} N P_{N=N_X}(x, \Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N), \quad (8)$$

де $\Delta_0 = \int_0^{\infty} \Delta p(x = \Delta) d\Delta$ – міра. Тоді дисперсія буде:

$$D_N = \sum_{N=0}^{\infty} N^2 P_{N=N_X}(x, \Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N) - M[N(x, \Delta_0)]^2. \quad (9)$$

Статистична відносна помилка задається у вигляді $d_N = \sqrt{D_N} \cdot M[N(x, \Delta_0)]^{-1}$, що є оцінкою якості вимірювання на виході класифікатора; якщо $(d_{VP} \ll d_N)$, похибка вимірювального перетворювача (VP_x) із сенсором VS_v мінімальна.

Оцінка якості результатів вимірювання

Оцінка якості результату вимірювання [8–10] параметра стану об'єкта управління при нормальному розподілі мір визначається [1] з виразу:

$$P(x = \Delta) = \frac{1}{S\sqrt{2u}} \exp\left(-\frac{(\Delta - \Delta_0)^2}{2S^2}\right) \quad (10)$$

де $(\Delta_1, \Delta_2 \mathbf{L} \Delta_N)$ – однорідні міри. при цьому результат вимірювання буде представлений у вигляді

адитивної моделі $r_x = \sum_{i=1}^1 \Delta_i$ при $p\left(\sum_{i=1}^N \Delta_i = r_x\right)$ – ймовірне значення оцінки.

Закон розподілу для вимірювальної величини визначається

$$p\left(\sum_{i=1}^N \Delta_i = r_x\right) = \frac{1}{S\sqrt{2uN}} \exp\left(-\frac{(r_x - N_x \Delta_0)^2}{2N_x S^2}\right) \quad (11)$$

співмірно з рівнем достовірності при сприйнятті оператором показів, а математичне сподівання результату визначатиметься згідно із:

$$M[N_x] = \frac{1}{2} \sum_{N=0}^{\infty} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x - N\Delta_0}{S\sqrt{2N}} \right) \right] = \left[\frac{x}{\Delta_0} \right] + \frac{(S^2 - \Delta_0^2)}{2\Delta_0^2} \mathbf{a} \left\{ X = \arg \max_{\hat{X}} P_X(\Delta/S) \right\} \quad (12)$$

для шкали SN з мірою Δ_0 , що сумарно з когнітивною оцінкою достовірності ризику при прийнятті рішень.

Відповідно дисперсія і похибка визначаються

$$D_N = \left[\frac{xS^2}{\Delta_0^3} + \frac{1}{12} + \frac{5S^4}{4\Delta_0^4} \right]; \quad (13)$$

$$d_N \approx \left[\frac{S^2}{\Delta_0 x} + \frac{\Delta_0^2}{12x^2} + \frac{5S^4}{4\Delta_0^2 x^2} \right]^{1/2}, \quad (14)$$

які є основним критеріями інформаційної надійності оцінки параметрів стану ОУ, при сприйнятті їх оператором.

Експоненційний розподіл мір

Нехай значення міри розподілені за експоненційними законами [1–5]. Міри $\{\Delta_1, \Delta_2 \mathbf{K} \Delta_N\}$ є реалізаціями випадкових процесів $\left\{ z_i \middle|_{i=1}^N, z_i = m_i \pm \Delta z \right\}$ з однаковими параметрами

$$(\Delta_0, S_z^2), p(z = \Delta) = \frac{1}{\Delta_0} \exp \left\{ -\frac{\Delta}{\Delta_0} \right\}.$$

Згортка розподілів ймовірностей здійснюється на обмежених інтервалах $\{0, r_i \}_{i=1}^n$ і ймовірність того, що сума набуде певного значення r [1], буде визначатись за процедурою обчислень даних:

$$P \left(\sum_{i=1}^N \Delta_i = r \right) = \left| \begin{array}{l} \int_0^{rN} \frac{1}{\Delta_0} \exp \left(-\frac{1}{\Delta_0} (r_N - r_{N-1}) \right) dx \\ \int_0^{r^2} \frac{1}{\Delta_0} \exp \left(-\frac{1}{\Delta_0} (r_2 - r_1) \right) dx \\ x \frac{1}{\Delta_0} \exp \left(-\frac{r_0}{\Delta_0} \right) d_{r_{N-1}} \mathbf{K} d_{r_1} \end{array} \right| \quad (15)$$

Після інтегрування розподілів ймовірностей переходимо до розподілу Ерланга $(N-1)$ порядку з характеристиками

$$P \left(\sum_{i=1}^N \Delta_i = r \right) = \frac{1}{\Delta_0} \left(\frac{r}{\Delta_0} \right)^{N-1} \times \frac{1}{(N-1)!} \exp \left(-\frac{r}{\Delta_0} \right); \quad (16)$$

$$F_{N-n}(x) = \int_0^x p \left(\sum_{i=1}^N \Delta_i = r \right) dr = \int_0^x \frac{1}{\Delta_0} \left(\frac{r}{\Delta_0} \right)^{N-1} \cdot \frac{1}{(N-1)!} \exp \left(-\frac{r}{\Delta_0} \right) dr; \quad (17)$$

$$F_{N+1}(x) = \int_0^x p \left(\sum_{i=1}^{N+1} \Delta_i = r \right) dr = \int_0^x \frac{1}{\Delta_0} \left(\frac{r}{\Delta_0} \right)^N \cdot \frac{1}{N!} \exp \left(-\frac{r}{\Delta_0} \right) dr; \quad (18)$$

а для одержаного результату вимірювання величини x одержимо ймовірність

$$P_{N=N_x}(x) = F_N(x) - F_{N+1}(x) = \frac{1}{N!} \left(\frac{x}{\Delta_0} \right)^N \exp \left(-\frac{x}{\Delta_0} \right), \quad (19)$$

яка відповідає закону розподілу Пуассона з математичним сподіванням

$$M \left[N(x) = \frac{1}{\Delta_0} x \cdot \exp \left(-\frac{x}{\Delta_0} \right) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{x}{\Delta_0} \right)^{N-1} \cdot \frac{1}{(N-1)!} \rightarrow \frac{x}{\Delta_0} \right] \quad (20)$$

та дисперсією $D_N = \sum_{N=1}^{\infty} N^2 \frac{1}{N!} \left(\frac{x}{\Delta_0} \right)^N \exp \left(-\frac{x}{\Delta_0} \right) - \left(\frac{x}{\Delta_0} \right)^2$, тоді аналіз логічної структури процедури оцінки потоків даних для визначення реального значення параметра стану при дії збурювальних факторів.

Для приладів з цифровою обробкою даних маємо:

$$M[N(x)] = \frac{x}{\Delta_0}; \quad D_N = M[N(x)] = \frac{x}{\Delta_0}, \quad (21)$$

відносна помилка вимірювань буде $d_N = \left(\frac{\Delta_0}{x} \right)^{1/2}$, які відображають метрологічну структуру процесу вимірювання, а не сприйняття їх оператором – особливо значення D_N .

При аналогово-дискретному перетворенні результат вимірювання представлений через крок дискретизації, який збігається з мірою

$$N_x = \text{ent} \left\lfloor \frac{x}{\Delta_d} \right\rfloor; \quad (22)$$

де Δ_d – крок дискретизації при рівномірній однозначній шкалі приладу для вимірювання.

При невідповідності значень міри і кроку дискретизації результат вимірювання представляється з певним рівнем невизначеності: при виконанні процедури обчислення параметра стану:

$$N_x(\Delta_1, \Delta_2) = \text{ent} \left\lfloor \frac{x}{\Delta_1 - \Delta_2} \right\rfloor = \text{ent} \left\lfloor \frac{x}{\Delta_d} \right\rfloor, \quad (23)$$

де (Δ_1, Δ_2) – значення міри.

Інформаційні характеристики процесу вимірювання електричних величин і експертна оцінка

Вимірювання значень електричних величин здійснюється (А/Д) аналогово-дискретним перетворювачем (рис. 7), який містить вхідний сенсор, НВПа – нормуючий аналоговий перетворювач, цифровий АЦПд дискримінатор, кодовий перетворювач (КП), СУ – систему управління, вхідний комутатор сенсорів, Ш(ДІА) – шини даних, управління, адресу, ІА0 – інтелектуальний агент – оператор.

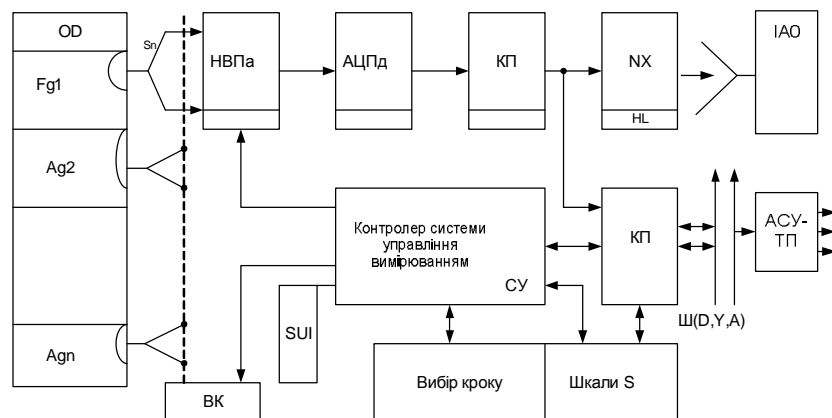


Рис. 7. Схема аналогово-дискретного перетворювача з дискретним цифровим індикатором

Прилади такої структури здійснюють вимірювання в режимі мультиметру, тобто вимірюють значення струму, напруги, опору (I_S, U_S, Ω_S) , які відображають через сенсори $(S n_i |_{i=1}^m)$ – фізико-хімічні параметри стану об'єкта у вигляді

$$N_x^{Si}(\Delta_d) = \text{ent} \left| \frac{x}{\Delta_d} \right|, \quad (24)$$

де N_x^{Si} – значення параметра $x : [\theta \rightarrow K_{Sn}^\theta \rightarrow N_x(Si)] \rightarrow N_x^{Si}(\theta)$, відповідно розмір шкали $N(S)$ відповідає $\max N_x = \text{ent} \left| \frac{X_{\max}}{\Delta_d} \right| = \max N_x^{Si}(\theta) \equiv N(S)$,

де $\max N_x^{Si}(q)$ – максимальне значення параметра q у шкалі Si .

Для вольтметрів і амперметрів шкали будуються так (залежно від фірми виробника) і мають однозначну характеристику:

$$\{Si\}_4 \equiv \{0,02;0,2;2B,20,0,200,0,1000.0\} - \text{мира}S(\Delta_i = 0,001);$$

$$\{Si\}_I \equiv \{500mA,50mA,500mA,1A,20A - \text{мира}S(\Delta_i = 0,001)\}$$

Для амперметрів шкала має вигляд (залежить від А/Д):

$$\{Si\}_\Omega \equiv \{200OM,2kOM,20kOM,200kOM,200MOM\}$$

Тобто мультиметри забезпечують широкий діапазон вимірювання фізико-хімічних параметрів стану об'єктів за наявності відповідних сенсорів, чутливих до них, з відповідними

алгоритмами обробки даних – $\text{Alg} \left(X \rightarrow X = \hat{N}_X \right)$, $\text{Alg} \left(X \rightarrow N_X \rightarrow \text{Alg} S \rightarrow \hat{X} \right)$.

При високій точності приладів чутливості і лінійності шкали для АСУ-ТП в режимі управління значення параметра мають однаковий рівень достовірності їх оцінки, але для оператора, в полі уваги якого знаходяться десятки шкал приладів з різними шкалами при наближенні навантаження до граничних значень їх значимість і інформативність змінюються. Стабільний нормальний режим при всій сукупності даних не викликає в нього тривоги, але зміна траєкторій параметрів стану, яка наближається до граничних значень у процесі функціонування агрегату внаслідок управляючих або збурюючих факторів викликає тривогу, невпевненість у нормальній ситуації, хоча прилади фіксують сигнали на одному рівні їхньої достовірності.

Тому важливо в системі IBC і АСУ окремо ідентифікувати причинно-наслідкові діаграми факторів впливу, структурні граfi зв'язків агрегатів і відповідно їх відображати на інформативному табло та в базі даних.

Інформаційні діаграми перетворень фізичних параметрів на сигнали

Основою формування процедур контролю об'єктів є методи побудови моделей діаграм інформаційних перетворень, які описують перехід від фізичних до інформаційних сигналів.

На основі інформаційної діаграми перетворень (параметр – сигнал – оцінка) одержимо:

$$(D_{YnOY}\{q_p|t\}) \xrightarrow{K_{Si}} \left\{ \begin{matrix} U(q,t) \\ I(q,t) \\ \Omega(q,t) \end{matrix} \right\} \rightarrow N_x(q,t) \xrightarrow{S} \hat{q}_t, \quad (25)$$

де $D_{YnOY}\{q_p|t\}$ – динаміка об'єкта управління з параметром стану $q_p(t)$ у моменти часу $t \in T_m$.

Дискримінація параметра $X \xleftarrow{K_q} q$, пов'язаного з фізико-хімічним параметром стану q , відбувається згідно із перевіркою гіпотез на шкалі $(S/N_X, X)$

$$H_1 \left(\mathbf{M} \sum_{i=1}^N \Delta d \leq X \right) \Rightarrow (K_d = N)_S \text{ а } (\hat{X} - \Delta d / l) \equiv N_{\Delta d}; \quad (25)$$

$$H_2 \mathbf{M} \left(\sum_{i=1}^{N+1} \Delta d > X \right) \Rightarrow (K_d = N+1)_S \mathbf{a} \left(\hat{X} + \Delta d / (l-k) \right) \equiv (N+1) \Delta d, \quad (27)$$

де Δd – крок дискретизації, $\Delta d / l, \Delta d / (l-k)$ – похибки вимірювань X при кроку Δd .

Ймовірність події, за якої буде зафіксовано результат, визначається згідно із [1]:

$$P \left(\sum_{i=1}^N \Delta d \leq X < \sum_{i=1}^{N+1} \Delta d \right) \equiv P_N(X, \Delta d) \equiv P \left(\sum_{i=1}^N \Delta d \leq X \right) - P \left(\sum_{i=1}^{N+1} \Delta d < X \right), \quad (28)$$

відповідно характеристиками точності будуть математичне сподівання:

$$M[N_x(\Delta d, X)] = \sum_{N=0}^{\infty} N P_{N=N_x}(X, \Delta d \mathbf{K} \Delta d_n), \quad (29)$$

де N_x – цифровий відлік.

Відповідно похибка оцінювання параметра \hat{N}_x :

$$d_N = D_N^{1/2} \cdot M[N(X, \Delta d)]^{-1}, D_N(X) = \sum_{N=0}^{\infty} N^2 P_{N=N_x}(X, \Delta d) \quad (30)$$

із дисперсією $D_N(x)$.

При формуванні структури дисплейного комплексу і щитів управління АСУ-ТП необхідно враховувати особливості когнітивного сприйняття оператором потоків даних у полі уяви і концентрації уваги на центрі відеостіни.

Для аналогових приладів шкала наноситься на стрілочний вказівник, а процес дискримінації для визначення $N_x(\hat{q})$ здійснює оператор або ранговий дискримінатор рівня зміни параметра стану.

Висновок

Розглянуто моделі і схеми побудови шкал приладів ІВС для АСУ-ТП, які забезпечують відповідне трактування змісту ситуації в об'єкті в когнітивні системи оператора для конструктивної оцінки динаміки процесів у складних об'єктах в граничних режимах, що приводить до росту рівня тривожності при формуванні і прийнятті управляючих рішень.

1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 955 с. 2. Исаев А.А. Статистика в метрологии и климатологии / А.А.Исаев. – М.: МГУ, 1988. – 248 с. 3. Тарасов В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / В.А. Тарасов, Б.М. Герасимов, И.А. Левин. – К.: МАКНС, 2007. – 336 с. 4. Тьюни Дж. Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюни. – М.: Мир, 1981. – 693 с. 5. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скиткин. – М.: Высш. шк., 1984. – 208 с. 6. Себастиан Г.С. Процессы принятия решений при распознавании образов / Г. С. Себастиан. – К.: Техника, 1965. – 148 с. 7. Васильев В.И. Распознающие системы. Справочник / В.И. Васильев. – К.: Наук. дум., 1983. – 421 с. 8. Михок Г. Выборочный метод и статистическое оценивание / Г. Михок, В. Урсяну. – М.: Фин. и стат., 1982. – 245 с. 9. Костылев А.А. Статистическая обработка результатов экспериментов на микро – ЭВМ и программируемых калькуляторах / ред.А.А. Костылев. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с. 10. Лукянова В.В. Компьютерный анализ данных. / В.В. Лукянова. – К.: Академія, 2003. – 341 с. 11. Кватер Т. Нейромережні інформаційні технології контролю і діагностики динамічних об'єктів в умовах невизначеності. / Т. Кватер. – Львів: ДНДТ, 2005. – 267 с. 12. Артюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений. / П.А. Арутюнов. – М. Энергоатомиздат. 2003. – 155с.