

УДК 660:

Сікора Л. С., д.т.н., проф. кафедри АСУ НУ "Львівська політехніка"
Ткачук Р. Л., к.т.н. доцент кафедри практичної психології та педагогіки ЛДУ БЖД
Рак Т. С., к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи ЛДУ БЖД
Якимчук Б. Л. н.с. ЦСД ЕБТС, м. Львів.

ФОРМУВАННЯ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ОЦІНЦІ ДИНАМІЧНИХ ТЕРМІНАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ В ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ.

Formation of cause and effect relations at evaluation of dynamic and terminal situations at potentially dangerous objects

Анотація. Розглянуто методику визначення дії потенційно-небезпечних факторів впливу на агрегати складних систем та способи виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

Аннотация. Рассмотрено методику определения действия потенциально опасных факторов влияния на агрегаты сложных систем и способы выявления причинно-следственных связей.

Annotation. The methodology of defining the effect of potentially dangerous factors on aggregates of complex system and ways of determining cause and effect relations are outlined in the article.

Ключові слова: термінальна ситуація, причинний аналіз, потенційно-небезпечний об'єкт, нейросистема, оператор.

Ключевые слова: терминальная ситуация, причинный анализ, потенциально опасный объект, нейросистема, оператор.

Key words: terminal situation, causal analyses, potentially dangerous objects, neuron system, operator.

Актуальність. На сучасному етапі регіональних виробничих структур, які розміщені в навколишньому екологічному середовищі, важливо забезпечити їх безаварійність, так як в такі системи входять енергетично-активні потенційно-небезпечні об'єкти (ПНО). Вплив факторів інформаційного і ресурсного характерів, при прийнятті управлінських рішень особами з неадекватним рівнем підготовки і когнітивними характеристиками (нерішучість, страх, ступор) може привести до катастроф, особливо, коли діють глобальні фактори (землетруси, повені, обвали енергопостачання та телекомунікацій). Тому важливою проблемою є активізація інтелектуальних і когнітивних здібностей операторів, які б в силу свого професіоналізму змогли б відвернути аварійні ситуації. При цьому важливим для них є вміння виявляти та аналізувати причинно-наслідкові фактори загрози та атак.

Для забезпечення таких можливостей і навиків оператора (інтелектуальному агенту) необхідно пройти спеціальні навчання та тестування психічних, інтелектуальних та когнітивних здібностей; перевірку на креативність прийняття рішень; цілеспрямованість дій для досягнення мети в умовах надзвичайних ситуацій.

Такі вимоги до оперативного і управлінського персоналу повинні бути реалізовані для всіх рівнів управління в ієрархічній структурі системи. При невиконанні цих умов, в режимі надзвичайних та аварійних ситуацій, між рівнями стратегій управління можуть виникнути конфлікти технічного, інформаційного а також когнітивного характеру, а це приводить до аварій та ментального конфлікту в ієрархії «Нижній рівень може проявити ініціативу, але боїться ризику; верхній хоче, але не має достатнього рівня знань».

Вступ

Активна сенсорна система сприйняття образів профорієнтованих знань про ситуації на потенційно-небезпечному об'єкті.

При дії зовнішнього збудника, яким є фактори загроз об'єкта на сенсорні звукового і образного сприйняття формують образи ситуацій. В результаті функції сенсорних нейросистем виділяються, після первинного аналізу, окремі ознаки діючого потоку інформації. На наступному етапі проходить формування цілісного образу об'єкта знань. В процесі когнітивного опрацювання в інтелектуального агента (ІА) – за окремими фрагментами формується структурний образ об'єкта вивчення та проходить процес класифікації і запам'ятовування (Рис. 1).

Абстрактний образ об'єкта

Абстрактний образ – це вищий тип інформаційного відображення об'єкта в уяві особи-когнітивного агента внаслідок процесів мислення. Продуктування образів зовнішніх предметів, текстів, графіків, абстрактних символів, когнітивною структурою, служить передумовою виникнення в уяві людини цих образів, які в свою чергу, залежать від психофізіологічних особливостей особистості та динамічної ситуації.

Ознаки образу предмету в уяві оператора:

- суб'єктивність, так як формується когнітивною структурою в уяві ядра «Я – система»;
- ідеальність – так як в образі предмету виділяється форма, ознаки і інформація, критерії, способи кодування та інформаційний зміст, при цьому відбувається актуалізація когнітивним нейропроцесором інформації якою може оперувати «Я-система»;
- предметна належність – яка інтерпретується в певній предметно-орієнтованій області знань.

Подібність предмета і його відображення ґрунтується на тотожності структур – ізоморфізмі. При цьому предметній структурі відповідає інформаційна структура, яка описує просторову, фізичну та енергетичну організацію предмета сканування сенсором особи, класифікується на основі категорій пізнання.

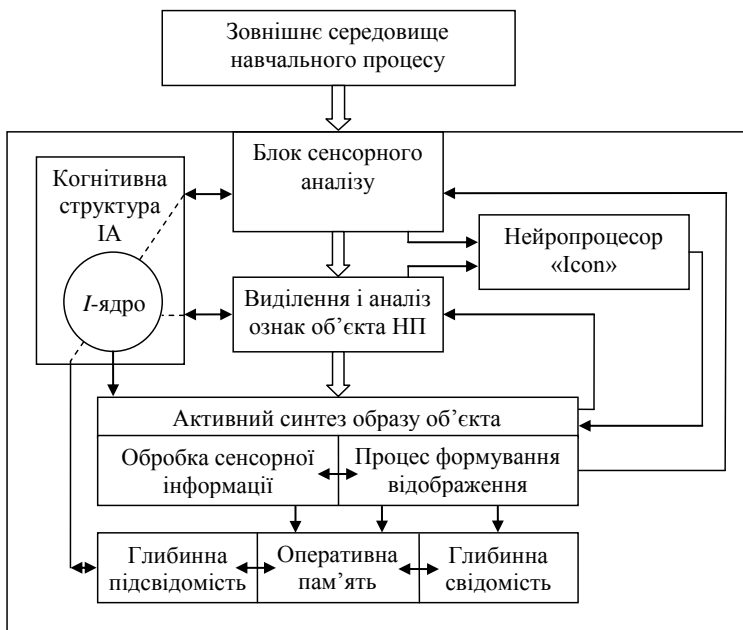


Рис. 1 Модель активізації когнітивної структури

Особа мислить категоріями, при цьому категорійна структура абстрактного мислення виступає як пізнавальна функція мозку особи [2].

Категоріальна схема мислення включає наступні поняття:

- Причина;
- Наслідок;
- Необхідність;
- Випадковість;
- Кількість;
- Якість;
- Структура, зв'язок.

Ці поняття формуються як на свідомому так і підсвідомому рівні і входять як елементи в процесі пізнання і навчання. Відповідно, мислення оператора на будь-якому етапі розвитку в процесі навчання мають повний категоріальний устрій, тобто є засобом інтелектуальної пізнавальної діяльності. Категорії входять в інструментальний склад інтелекту і є засобом генерації понять, теорій, моделей як на свідомому так і підсвідомому рівні мислення, що є підставою формування професійних знань, необхідних для виконання управляючих дій при ліквідації надзвичайних ситуацій [9] (НС).

Відповідно до типу виробничого процесу формується ієрархічний базис предметної області знань необхідних для ліквідації НС (Рис. 2).

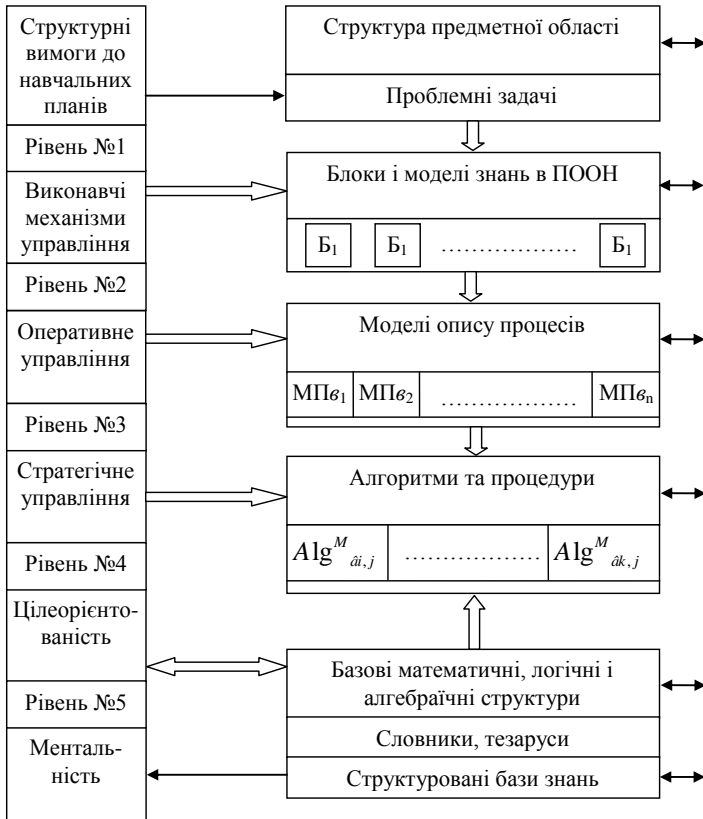


Рис. 2. Структурна ієрархія предметної області на основі структури схеми.

Прийняття рішень в умовах НС

Для прийняття рішення в умовах НС важливим моментом для розв'язання ситуації є здатність використати професійні знання та вміння [10-11] (Рис. 2):

- мобілізувати знання в предметно-орієнтованій області;
- цілеорієнтовано використовувати інтелектуальний і когнітивний ресурс кожного члена команди управління на всіх рівнях ієрархії системи;
- мобілізувати ментальний потенціал на рівні свідомої «Я-системи»;
- формувати ефективну конструктивну модель об'єкта з НС – ПНО;
- розгортати в уяві «Я-системи» сценарій розвитку подій НС та протиставляти аварії – сценарії протидії, на основі виявлення факторів впливу, причинно-наслідкових зв'язків та прогнозу ризику;

- формувати згідно сценарію стратегію та тактику дій та мобілізувати операторів на рішуче їх виконання в умовах ризику.

Моделі причинно-наслідкових зв'язків та дії факторів впливу на вузли агрегованих ПНО.

Структура окремих технологічних схем виробничих процесів характеризується виробничою та управляючою підсистемами в ієрархії її організації.

Відповідно, можна, виділити наступні схеми [4, 8]:

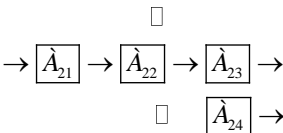
а) послідовна $\rightarrow \boxed{\hat{A}_1} \rightarrow \boxed{\hat{A}_2} \rightarrow \dots \rightarrow \boxed{\hat{A}_n} \rightarrow$

б) деревовидна

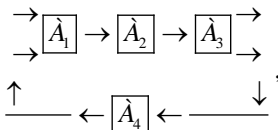
$$\begin{array}{c} \rightarrow \boxed{\hat{A}_{11}} \rightarrow \boxed{\hat{A}_2} \rightarrow \\ \rightarrow \boxed{\hat{A}_{12}} \rightarrow \boxed{\hat{A}_3} \rightarrow \boxed{\hat{A}_4} \dots \rightarrow \\ \rightarrow \boxed{\hat{A}_{13}} \longrightarrow \rightarrow \end{array}$$

$\rightarrow \boxed{\hat{A}_1} \rightarrow \boxed{\hat{A}_2} \rightarrow \boxed{\hat{A}_3} \rightarrow$

в) збірні структури



г) структури з ресурсним реверсом



де A_i – агрегати як енергетично активні так і пасивні (переміщення, транспорт, фільтрація, калібрування).

Структура кожного агрегату має інформаційну і ресурсну компоненти. Які можна подати у вигляді схеми на рис. 3 [1, 3].

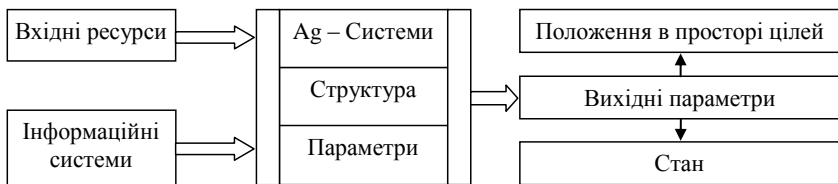


Рис. 3. Схема інформаційних і ресурсних компонентів технологічних виробничих процесів.

В процесі функціонування виробничих систем на кожний агрегат діють наступні фактори: управлінські (команди); інформаційні (відбір даних про стан агрегату та процесу); внутрішні конструктивні (руйнування через перевантаження з силовим проводом, втрати міцності деталей і корпусу); зовнішнього впливу на конструкцію, ресурси, режим, енергозабезпечення, інформаційну структуру. Відповідно важливо виявити які компоненти факторів впливу можуть привести до аварійної ситуації та визначити причинно-наслідкові зв'язки [5, 7].

Наведемо схему дії факторів на агрегат, при цьому виділимо області впливу та фактори: F_{ir} – ресурсні, IF – загрози, F_k – конструктивні, $F_{ВП}$ – вимірювальні (Рис. 4).

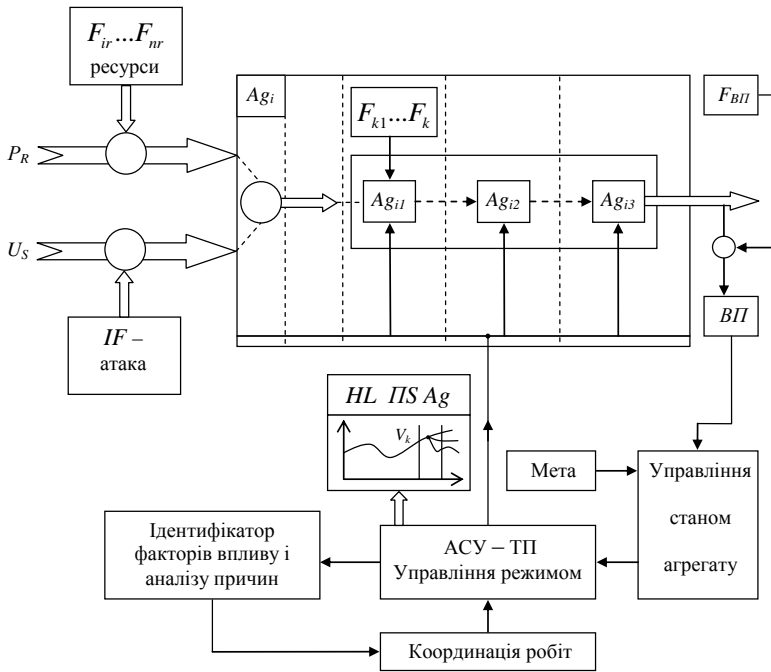


Рис 4. Схема дії факторів на агрегати виробничих систем

Логічна структура причинних зв'язків подається у вигляді:

1. (S достатня умова для B) $\equiv (\forall S \rightarrow B)$, $\exists A$ - альтернатива, $A \wedge S \rightarrow B$.
2. (S необхідна умова для B) $\equiv (\forall S \rightarrow \exists B)$, $(\exists D, D \wedge S \rightarrow B)$, $P(B|S) \in [0,1]$
3. (S необхідна і достатня умова для B) $\equiv (\forall S \leftrightarrow \exists B)$,

4. Умовна реалізація B при S -реалізованості: $P(B|S) = -P(B|S) = 1$.

5. D -додатковий фактор, що утворює необхідну і достатню умову для реалізації B , представимо графом, який описує ймовірність подій B при дії факторів (D, S) :

$$\left[\begin{array}{l} S \\ \mid \rightarrow B, P(B|S) = P(D|S) \\ D \end{array} \right] \Rightarrow \begin{array}{l} H_1 : P(D|S) > \alpha_r \rightarrow \text{About} \\ H_2 : P(D|S) \leq \alpha_r \rightarrow \text{Норма} \end{array}, \text{ де } H_i -$$

гіпотези.

6. Коли S і A альтернативні фактори для достатніх умов, то ситуацію можна представити у вигляді:

$$\left[\begin{array}{l} S \rightarrow \hat{A}, \quad P(B|S) = P(\hat{A}|\hat{A}) = 1 \\ \hat{A} \rightarrow \hat{A}, \quad P(S|B) = 1 - P(\hat{A}|\hat{A}) + P(\hat{A}S|\hat{A}) \\ S \cap \hat{A} = \emptyset, \quad P(B|S) = P(D|S) = 1 \\ \quad \quad \quad P(S|B) = 1 - P(\hat{A}|\hat{A}) \end{array} \right] \begin{array}{l} \hat{I}_1 : D(B|S) \Rightarrow S \cap \hat{A} = \emptyset \\ \hat{I}_2 : D(S|B) \stackrel{>}{<} \alpha_r \\ \hat{I}_3 : D(S|A) = \emptyset \\ \hat{I}_4 : D(S|B) \stackrel{>}{<} \alpha_r \end{array}$$

7. Якщо S є суттєвою компонентою причини появи B , але існує друга альтернативна компонента A (A достатня умова B) то ситуацію представимо у вигляді:

$$\left[\begin{array}{l} S \quad 1) A \wedge D = \emptyset : P(B|S) = P(D|S) + P(\hat{A}|S), P(B|S') = P(A|S') \\ \mid \rightarrow B \quad 2) A \wedge D = \emptyset : P(B|S) = P(D|S) + P(\hat{A}|S) - P(DA|S), P(B|S') = P(A|S') \\ D \quad S \square \\ A \quad D \square \quad B \rightarrow (A \cap B) \rightarrow H : A \cap B \neq \emptyset \end{array} \right]$$

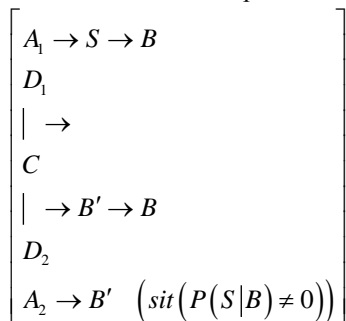
8. Нехай D необхідна умова для B , але існують дві достатні умови з факторами S_1 і S_2 , тоді граф має вигляд:

$$\left[\begin{array}{l} S_1 \\ \mid \rightarrow \\ D \\ \mid \rightarrow \\ S_2 \end{array} \right] \circ B \quad P(B|D) = P(S_1|D) + P(S_2|D) \quad \left[\begin{array}{l} S_1 \square \\ D \square \\ S_2 \square \\ D \square \end{array} \right] \begin{array}{l} (S \cup D) \square \\ (S_1 \cap S_2) = \emptyset \\ (S \cup D) \square \end{array}$$

9. Нехай для D є два різних додаткових фактори S_1 і S_2 для B , але існує альтернативна причина B для A , тоді маємо ситуацію:

Для додаткових альтернативних причин A_1 і A_2 , події S, B позитивно залежні при тестовій змінній C , що відповідно зображено на схемі:

14. Тестова модель причинних зв'язків в часі відносно A_i .



$$\exists C : P(B|S) = P(D_2) + P(A_2) - P(D_2)P(A_2);$$

$$P(B|S') = P(D_2) + P(A_2) - P(D_2)P(A_2) \quad ,$$

$$\neg(\exists C) : P(B|S) = P(A_2), P(B|S') = P(A_2).$$

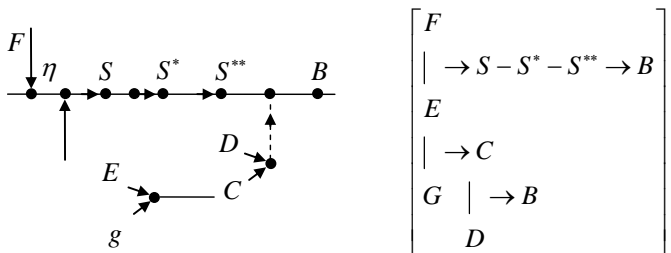
тобто маємо прив'язку часової осі та альтернатив A_1, A_2 , до причинних

$$\text{зв'язків } \left[S \xrightarrow[A_C]{A_1} B \right].$$

Ланцюги причинних кореляцій з тестовими змінними.

15. Модель причинних зв'язків з прив'язкою факторів до часу.

Нехай причина споряджує хибну кореляцію між B і S , але якщо C і S причинно незалежні, то між S і C може бути зв'язок, який приводить до хибної кореляції S і B :



де D – додатковий фактор, (F, E, G) – основні фактори зв'язку $(S, S^*, S^{**}) \rightarrow B$.

16. Функції тестової змінної.

Якщо між змінними (S, D, C, A, B), що належить до різних ланок причинного ланцюга існують ймовірнісні залежності, а M тестова перемінна (мотив, ціль) то можемо побудувати відповідно ланцюг.

Тут статистичні зв'язки між (S, B) є відповідно функціями причинних зв'язків (S, B) і статистичних зв'язків між M і альтернативою A – причиною для B .

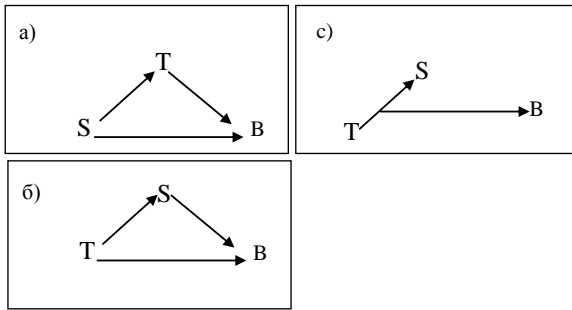
$$\left[\begin{array}{l} S \quad C \rightarrow B \\ | \quad \rightarrow | \quad \rightarrow B \\ D \quad M \\ \quad \quad A \rightarrow B \end{array} \right]$$

Моделі Лазарсфельда [3] причинних зв'язків.

Причинні зв'язки S і B та тестовою змінною T .

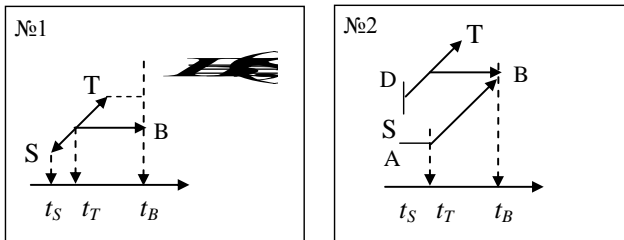
Розглянемо схеми № 1, № 2 причинно-ймовірнісних зв'язків факторів і альтернатив:

а) Причинні зв'язки з ймовірнісними залежностями факторів впливу (T_1, S_1)



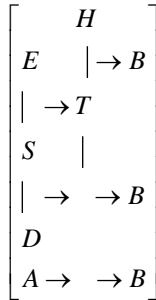
б) Статистичні зв'язки між (S, B) як функції причинних зв'язків факторів впливу, де A – альтернативна причина B .

Тоді: sit_1 – маємо, що S є непрямою для T причиною, прямою для B ; sit_2 – S породжує B через проміжний фактор T , (T, S) – альтернативи для B .



Тобто для схеми №1 маємо відповідно три схеми причинних зв'язків:

Для схеми №2 відповідно одержимо ланцюг графічних зв'язків (причинно-ймовірнісних) коли S і T альтернативи, (E, D, H) – додаткові фактори у вигляді (Схема № 2).



Методи класифікації факторів впливу.

В роботах Заде [1972] розвивається концепція розмитих множин для формалізації об'єктів в умовах невизначеності при оцінці множин їх станів. На основі використання функції належності:

$$[\forall x \in X \subset A] \rightarrow [\mu(x \in A) \equiv \mu_A(x)], \mu_A \in [0,1],$$

яка є мірою степені впевненості при віднесенні x до A , будується бінарна причинно-наслідкова схема зв'язку факторів з множинами станів.

Нехай маємо визначення просторів станів: $x_i \rightarrow x_j$, де $x_i \Rightarrow [\{x_{ki}\}, p(x_{ki})], x_j \Rightarrow [\{x_{rj}\}, p(x_{rj})], (x_i \rightarrow x_j) \Rightarrow [p(x_{ki}, x_{rj})]$.

Якщо ідентифікація станів x_{ki} і x_{rj} може бути достовірно проведена, то множини $\{x_{ki}\}_{k=1}^m$ і $\{x_{rj}\}_{r=1}^n$ будуть розмитими і для дискримінації станів необхідно ввести функції належності $(\mu(x_{ki}), \mu(x_{rj}))$ зі значеннями на інтервалі $[0,1]$ та функціонал структурної ентропії Шенона [6]:

$$\left[\begin{array}{cc} p(x_{ki}) & p(x_{rj}) \\ X_i & \xrightarrow[\mu(x_{rj}|x_{ki})]{p(x_{rj}|x_{ki})} X_j \\ \mu(x_{ki}) & \mu(x_{rj}) \end{array} \right]$$

Як характеристика невизначеності ситуації при оцінці станів x_{ki}, x_{rj} пов'язаних розмитістю множин введено функція структурної ентропії на основі функції Шенона:

$$h_i = \sum_{k=1}^m S[\mu(x_{ki})], \quad h_j = \sum_{r=1}^n S[\mu(x_{rj})], \quad h_{i|j} = \sum_{r=1}^n S[\mu(x_{rj}|x_{ki})],$$

де маємо функцію Зенона $S[x] = -x \ln x - (1-x) \ln(1-x)$.

Сумісну реалізацію (x_i, x_j) змінних $(x_i \rightarrow x_j)$ між якими встановлено причинно-наслідкові відношення, можна розглядати як складний стан x_{ij} комплексного фактора $x_{ij} = x_i \cup x_j$ на основі структурної операції, яка породжує перетворення G_{ij} початкового графу G .

Графова причинно-діагностична структура.

Розглянемо причинну структуру представлену 4-ох вершинним графом, який допускає перетворення діаграм впливу факторів.

Тоді функціонал інформації про перетворення G_{ki} можна представити у вигляді адитивної моделі з коефіцієнтами масштабу причинного впливу:

$$I(x_{34}, x_1, x_2) = \gamma_{31}H(x_1) + \gamma_{32}H(x_2) + \gamma_{42}H(x_2),$$

або в більш загальній формі $(x_j \rightarrow x_{j+1} \rightarrow \dots \rightarrow x_{j+l} \rightarrow x_i)$

$$I_{ij} = H_j \sum_{l=1}^{n-1} \gamma_{i,j,s}^l, \quad 0 \leq \sum_{l=1}^{n-1} \gamma_{i,j,s}^l \leq 1, \quad \tilde{A}_{ij} = I_{ij} / H_j = \sum_{l=1}^{n-1} \gamma_{i,j,s}^l,$$

де $\gamma_{i,j}^l = \prod_{k=1, v=j}^{k=l, \gamma-j+l-i} \gamma_{v+k,v}$ – коефіцієнти причинного впливу для l -ланцюга $(x_j \rightarrow \dots \rightarrow x_i)$.

Розглянемо системні аспекти причинних зв'язків в ланцюгах з прив'язкою до моментів часу. Модель системи представимо у вигляді агрегатної структури з об'єктом A_i , $S = (S_i)_{i=1}^m = S_i \left\{ A_i \left(a_{ij} \Big|_{j=1}^n \right) \right\}_{i=1}^m$, та набором типових дій a_{ij} в під структурі елементарного агрегату S_i [6]. Набір дій є цілеорієнтованим в ланцюгу зміни ситуацій в системі S .

Для комплексу агрегованих систем (S_1, S_2, \dots, S_n) , S_i залежить від S_j , $(i, j) \in [1, n]$, якщо є спільні фактори і причини генерації дій системою S_i . Система S_i домінує над S_j якщо виконується умова $S_i \rightarrow S_j$.

Нормована міра залежності систем визначається на основі моделі взаємодії:

$$D_n(S_2 \rightarrow S_1) = \frac{D(S_2 \rightarrow S_1)}{E(S_2)}, \quad D_n \in [0, 1],$$

де $D(S_2 \rightarrow S_1) = E(S_2) - E(S_2 | S_1)$ – ймовірнісні міри настання події S_1 , S_2 .

Основні властивості нормованої міри, як онови побудови факторного класифікатора:

1. $\{(S_2 - S_1) - \text{незалежні}\} \Rightarrow (D_n = 0)$;
2. $\{(S_2 \Rightarrow S_1) - \text{залежна}\} \Rightarrow (D_n = 1, a_1)(a_2, t), p(a_{1k}) = p(a_{1k} | a_{2n})$;
3. $D_n(S_2 \rightarrow S_1) \in [0, 1]$.

Основні властивості відношення залежності між системами, як методична основа виявлення розбіжності траєкторій стану в цільовому просторі системи, згідно, еталонної моделі поведінки:

1. $(D(S_2 \rightarrow S_1) = 0) \Leftrightarrow (S_2 \neq S_1)$;
2. $(D(S_2 \rightarrow S_1) = 1) \Leftrightarrow (S_2 = S_1)$;
3. $D(S_2 \rightarrow S_1) = D(S_2 \rightarrow S_1) \Leftrightarrow (S_1 \Leftrightarrow S_2)$;
4. $D(S_1 \rightarrow S_3) \leq D(S_1 \rightarrow S_2) + D(S_2 \rightarrow S_3)$.

Якщо ввести метрику залежності між системами $S_1, S_2 - \rho(S_1, S_2)$, то вона буде мати такі властивості:

$$\begin{aligned} \rho(S_1, S_2) &= 0 \Leftrightarrow (S_1 = S_2), \\ \rho(S_1, S_2) &= \rho(S_2, S_1), \\ \rho(S_1, S_2) + \rho(S_2, S_3) &\geq \rho(S_1, S_3). \end{aligned}$$

Дальшою модифікацією моделей причинних зв'язків є шляхові моделі причинності і прогнозу Г. Вальда [6, с. 241], який виділив три базові структури інформаційного спостереження стану агрегату (Рис. 5-7).

1. Модель L – всі змінні явно спостережуються.
2. Модель L^* – наявне непряме спостереження змінних (латентні змінні);
3. Модель L^{**} – кожна латентна змінна описується декількома явними змінними, які називаються індикаторами.

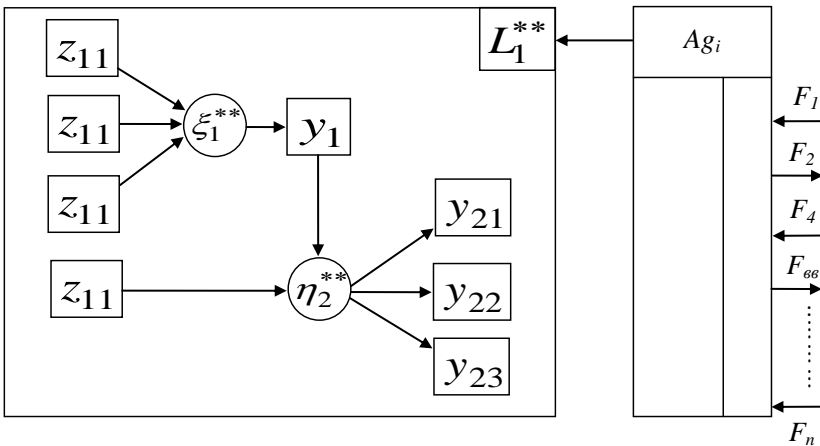


Рис. 5. Шляхова модель причинних зв'язків типу L^{**}

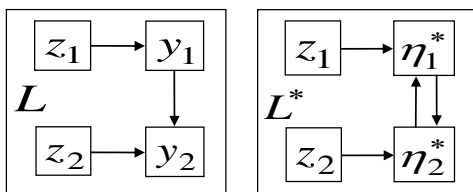


Рис. 6. Причинні ланцюгові взаємно-залежні системи на основі шляхових моделей графів

Розглянемо структуру моделей L, L^* для причинного або прогнозного виводу (Рис. 7).

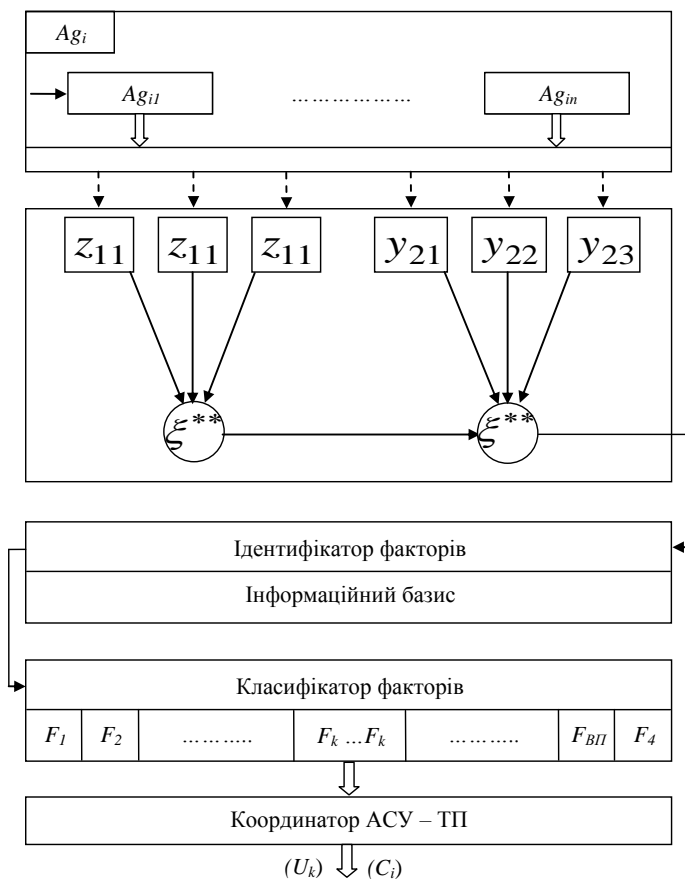


Рис. 7. Модель L^{**} канонічних кореляцій

Позначення змінних.

\boxed{y} – явні ендогенні в L, L^* .

x, z $\boxed{\otimes}$ – попередньо означені в L, L^* .

η^* \boxed{O} – включені в ендогенну змінну.

$\eta^{**} \otimes$ – латентні змінні з попередньо означених індикатором.

$\xi^{**} O$ – ендогенним індикатором.

Відповідно будуються діаграми прогнозованого виводу, які зображені на рис. 8:

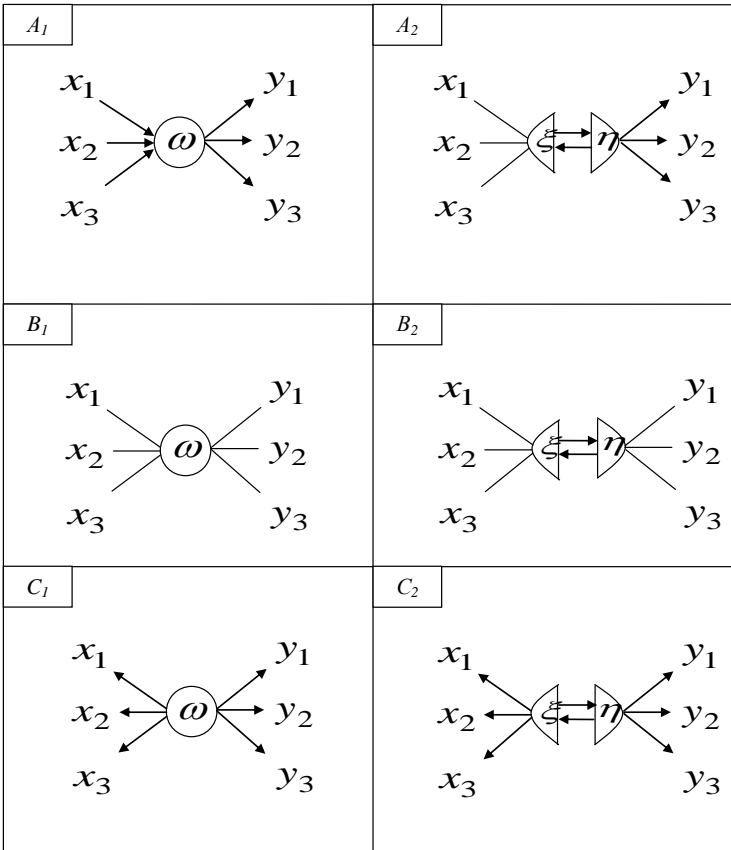


Рис. 8. Модель A_1 причинних зв'язків Маузера і п'ять її модифікацій

На рисунку в моделях Хаузера [6] стрілками на графах відображені залежності, прийняті в моделі за основу причинного або прогнозного виводу. Вони направлені від причини до наслідку або від предиктора до прогнозованої величини. Пучок стрілок відповідає множині причин, які діють в даній ситуації і відображені в шляхових моделях розвитку динамічної ситуації в системі.

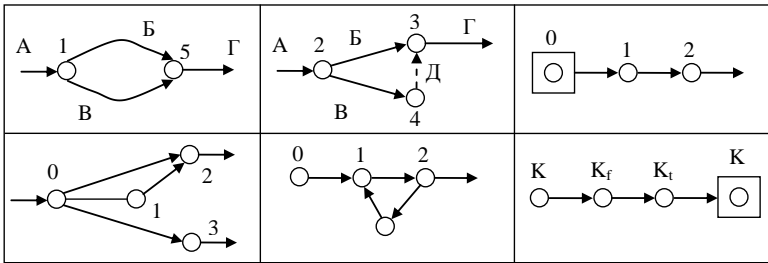
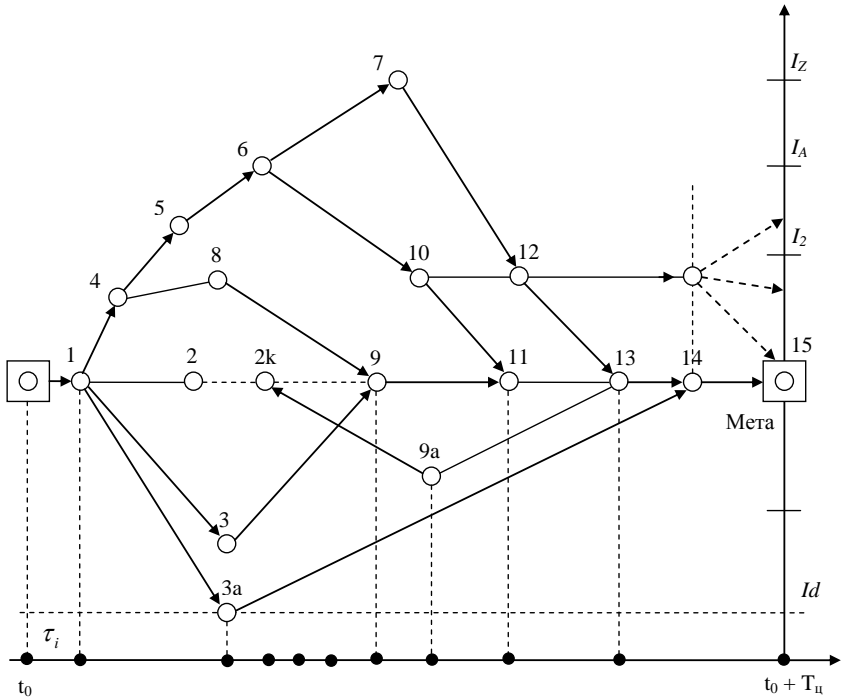


Рис. 9. Сіткові графіки розвитку подій при формуванні процесу управління потенційно-небезпечним об'єктом

Функціонально-причинні зв'язки будуються на основі *OLS* – регресії [6]

для L, L^* моделей: $y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i z_i + \varepsilon$ – визначає структуру;

$y_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} y_j + \sum_{k=1}^q \gamma_{ik} z_k + \delta_i$, $\beta_{ij} = 0$ – визначають i -ту залежність в L .

Відповідно до них будуються ПЕРТ – діаграми розвитку подій за рахунок дії факторів техногенного та інформаційного впливу (Рис. 9).

В термінах спостережуваних змінних маємо структурне рівняння у

вигляді: $y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_{ij} y_{jt} + \sum_{k=1}^q \gamma_{ik} z_{kt} + \delta_{jt}$ або у векторній формі:

$$\mathbf{y}_t = \alpha + \mathbf{B}\mathbf{y}_t + \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z}_t + \delta_t.$$

Причинні ланки в моделях L можуть бути представлені через структурні залежності у вигляді предикатів (прогноз):

$$\mathbf{E}(\mathbf{y} | \mathbf{y}, \mathbf{z}) = \mathbf{B}\mathbf{y} + \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z}.$$

Моделі типу L^* представимо [6] через ID-системи модифіковані в REID-системи у вигляді структурних векторних рівнянь, які пов'язують прогнозні параметри стану:

$$\mathbf{y}^* = \mathbf{B}\mathbf{y}^* + \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z}$$

$$\mathbf{y}^* = [\mathbf{I} - \mathbf{B}]^{-1} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z} = \mathbf{\Omega}\mathbf{z}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{y} | \mathbf{y}^*, \mathbf{z}) = \mathbf{B}\mathbf{y}^* + \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z}$$

тобто \mathbf{y}^* – дозволяє інтерпретувати любую ендогенну змінну y_i в термінах спостережуваної величини z_k і очікуваних значень \mathbf{y}_j^* – ендогенної змінної.

Для L^{**} моделей Маузера [6] одержимо рівняння зв'язків змінних:

$$\forall (x_1 \dots x_p), \exists (y_1 \dots y_n) \neq 0, \quad \omega = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^p \alpha_i x_i + \sum_{k=1}^q \beta_k y_k \right),$$

$$\xi = \gamma_1 \sum_{i=1}^p \alpha_i x_i, \quad \eta = \gamma_2 \sum_{k=1}^q \beta_k y_k, \quad E(\omega | x_1 \dots x_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i.$$

Висновок. Аналіз та інтерпретація результатів конкретних досліджень динаміки складних людино-машинних систем в більшості випадків має своєю ціллю встановлення якісних та кількісних відношень між елементами складних структур та причинно-наслідкових зв'язків груп факторів. Тому розглянуті моделі причинного аналізу є актуальним інструментом дослідження поведінки людино-машинних структур в САУ-ТП, особливо адекватності поведінки людини-оператора в складних ситуаціях, який в короткий час повинен збудувати ланцюг причин і факторів збурень системи та своєчасно реалізувати стратегію цілеспрямованої протидії.

Література

1. Зайцев В. С. Системный анализ операторской деятельности / В. С. Зайцев – М.: Сов. Радио, 1990. – 120 с.
2. Кабикин В. Е. Диагностика оперативного мышления / В. Е. Кабикин – К.: Наук. дум., 1977. – 110 с.
3. Кафаров В. В. Анализ и синтез / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин – Химко – технологических систем – М.: Химия, 1991. – 432 с.
4. Келебел Д. Модели экспериментов в социальной психологии и прикладных исследованиях / Д. Келебел – М.: Прогресс, 1980. – 389 с.
5. Клебельсберг Д. Транспортная психология / Д. Клебельсберг – М.: Транспорт, 1989. – 367 с.
6. Математика в социологии. Моделирование и обработка информации. – М.: Мир, 1977. – 543 с.
7. Основы инженерной психологии /ред. Ломов Б. Ф. – М.: Высш. шк., 1977. – 335 с.
8. Первозванский А. А. Математические методы в управлении производством / А. А. Первозванский – М.: Наука, 1972. – 616 с.
9. Психология экстремальных ситуаций / Хрестоматия ред. Тарас А. – М.: Харвест, 2002. – 480 с.
10. Сікора Л. С. Когнітивні моделі та логіка оперативного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику / Л. С. Сікора. – Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009. – 432 с.: схеми, табл.
11. Ткачук Р. Л. Логіко-когнітивні моделі формування управлінських рішень інтегрованими системами в екстремальних умовах: [посібник] / Р. Л. Ткачук, Л. С. Сікора. – Львів: Ліга-Прес, 2010. – 404 с.: схеми, табл., іл.