

УДК 004.81

**КАТЕГОРНІ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СТРУКТУРИ
І ДИНАМІЧНОГО СТАНУ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ АТАК І РИЗИКІВ**

Р.Л. Ткачук¹, Л.С. Сікора², Н.К. Лиса², Ю.Г. Міюшкович²,
Р.С. Марцишин², В.І. Сабат³

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
вул. Клепарівська, 35, Львів 79000 Україна

²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

³Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

В статті на підставі системного аналізу і теорії категорій розглянуто метод виявлення факторів впливу атак на структуру і динаміку ієрархічних систем, які приводять до ризику виникнення аварійних ситуацій у виробничих та техногенних системах. Метод актуальний як для існуючих систем так і для тих які проектується, ґрунтується на виявленні змін простору станів систем за рахунок атак на ресурсні, інформаційні потоки і параметри структури.

Глобальна система на загальному рівні описується як відношення на абстрактних множинах. Поведінка таких систем з динамічними властивостями описується через абстрактні функції часу у просторі станів, з метою відслідковування зміни положення. В загальному динамічна система визначається за типом поведінки у просторі станів.

На основі поняття системи, з визначеними на її вході і виході моделями сигналів для об'єктів, агрегатів, блоків, АСУ-ТП, ІАСУ, можна прийти до різних динамічних реалізацій в просторах станів та цільовому просторі. Велике значення, при цьому має побудова простору станів системи і кожного об'єкту в її структурі на основі початкової інформації про організацію системи та моделі поведінки, якщо задано метод функціонування та стратегія поведінки.

Структури представляються у вигляді перетворення технологічних та інформаційних ресурсів, процесів відбору і оцінювання даних за умови їхнього доповнення наступними поняттями: простори цілей, керованість, спостережуваність, режими та стани.

Обґрунтовано управління ієрархічних систем з багаторівневою організацією, яке ґрунтується на аналізі потоків даних і управлінні, що прогнозують та пов'язують всі рівні ієрархії інформаційними зв'язками. Цільові функції систем реалізуються на генерації стратегій та процедурах прийняття рішень.

Розглянуто вплив скритих факторів на функціонування, як на інформаційну так і енергетичну основу системи, що приводить до неконтрольованих змін стану агрегатів і об'єктів (інформаційно-ресурсних атак).

Ключові слова: Система, структура, сигнал, контроль, ризику, інформаційні технології, динамічний стан, аварії, категорний аналіз.

Постановка проблеми. Проблема оцінки загрозливих ситуацій при функціонуванні техногенних систем у повній мірі не розв'язується як в класичній теорії управління так і у сучасних підходах на підставі системного аналізу. Атаки і загрози інформаційного і ресурсного характеру, які призводять до зміни стану системи і стратегії управління можуть привести до техногенних аварій, тому розроблення методів виявлення вузлів у структурі систем через які відбуваються атаки є актуальною проблемною задачею.

Мета статі. Розроблення методів виявлення зміни станів техногенних систем, на підставі системного аналізу і теорії категорій, що забезпечило би зменшення рівня ризиків аварій при дії атак на ресурсну, інформаційну і структурну компоненти техногенної системи.

Задачі дослідження. Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати стан проблеми структуризації складних систем;
- обґрунтувати використання системного і категорного аналізу для представлення компонент, блоків, агрегатів структури системи;
- обґрунтувати на підставі теорії категорій представлення динамічного стану системи.

Аналіз літературних джерел. У фундаментальній монографії [1] викладено методи побудови і аналізу математичних моделей, які використовуються для опису процесів прийняття рішень, планування дій та управління виробництвом. Розглянуто типи моделей, моделі, операцій, методи ідентифікації операцій, моделювання систем. В праці [2] розглянуті методи ймовірнісного моделювання систем, надійності і безпеки технічних систем, методологія дослідження ризику. В монографії [3] викладено методи дискретної математики, які використовуються при моделюванні складних систем різної природи (технічні, соціальні, екологічні). В колективній праці [4] розглянуто на підставі теоретичних основ математичного моделювання системи моделей технологічних процесів, наведені типові структурні моделі, сигнальні і інформаційні мережі. В праці [5] розглянуто методи і засоби теорії прийняття рішень та їх математичні основи. В праці [6] розглянуто сучасні технології консолідації інформаційних ресурсів, методи моделювання динаміки предметних областей у базах даних, моделі даних, програмне забезпечення для консолідації даних. В монографії [7] розглянуто теоретичні основи інженерії знань та управління процесами формування знань, онтології. У роботі [8] розглянуто теорію нечітких моделей, нечіткі ситуаційні системи, системи управління з нечіткою логікою прийняття рішень. У монографії [9] на підставі концепції штучного інтелекту розглянуто принципи і методи логічного ситуаційного управління з використанням логіко-лінгвістичних моделей. В працях [10-14] розглянуто аспекти побудови складних систем з ієрархічною структурою та енергоактивними об'єктами перетворення ресурсів, ризику, конфлікти, інфор-

маційні технології екомоніторингу. У праці [15] розглянуто основи теорії категорій, алгебраїчних систем як основи структуризації складних об'єктів. У праці [16] під редагуванням видатного математика Колмогорова А.Н. обґрунтовано використання математичних методів для теорії систем і їх динаміки. У колективній праці [17] розглянуто сучасні методи ідентифікації структури і динаміки системи, моделі управляючих об'єктів. У праці [18] розглянуто технології системного моделювання, алгоритмічні моделі складних систем, теорія моделювання, динамічні моделі, агрегатна імітаційна система. У працях [19-24] розглянуто основи теорії складних систем з ієрархічною структурою на підставі теорії категорій та концепції координації динамічних систем. Обґрунтовано теорію організаційних систем на підставі багаторівневої ієрархії та теорії конфліктів.

На підставі проведеного аналізу джерел можна зробити висновок, що для синтезу та ідентифікації просторово-розподілених енергоактивних об'єктів і систем недостатньо існуючих методів для формування та прийняття управлінських цілеорієнтованих рішень необхідних для їх безпечного функціонування.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Глобальна система, стани, реакції.

Глобальна система на загальному рівні описується як відношення на абстрактних множинах. Поведінка таких систем з динамічними властивостями описується через абстрактні функції часу [19] у просторі станів, щоби можна було відслідковувати зміни положення. В загальному динамічна система визначається по типу поведінки у просторі станів [1-14].

Теоретико-множинний опис системи.

Для представлення математичних моделей систем вводяться означення як базові компоненти понятійної структури [15-24].

Означення 1.1. Системою називається відношення на непустих абстрактних множинах виду $S \subset \bigotimes_i^n \{V_i \dots i \in I\} \equiv \{V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n\}$,

де V_i - об'єкт системи,

i - індекс.

Означення 1.2 Множина X множини I називається вхідним об'єктом, V – вихідним об'єктом, що відповідно визначає структуру (вхід – вихід) систем у вигляді: $S \subset \{X \times Y\}$, $X = \bigotimes_i \{V_i : i \in I_X\}$, $Y = \bigotimes_i \{V_i : i \in I_Y\}$

$$I_X \subset I, \quad I_Y \subset I, \quad I_X \cap I_Y = \emptyset$$

де (I_X, I_Y) - розбиття на I , X - вхідний об'єкт, Y – вихідний об'єкт.

Система буде функціональною якщо вона задається у вигляді $S : X \rightarrow Y$.

Для функціональної системи $F \subset S$ тоді маємо наступні представлення:

$F : (A) \rightarrow B$ - визначена на A ;

$D(F) \subset A$ - область визначення функції;

$R(F) \subset B$ - область значень.

Відповідно до системи $S \subset X \times Y$ маємо: $D(S) = \{x : \exists y, (x, y) \in S\}$
 $R(S) = \{y : \exists x, (x, y) \in S\}$.

Для такого представлення системи область станів визначається у вигляді

$$R : (C \times X) \rightarrow Y$$

$((x, y) \in S) \Leftrightarrow (\exists C : R(C, x) = y, y \in Y)$, тоді C є множиною глобальних станів системи, функція R - є глобальною реакцією системи, тобто $R : (C \times X) \rightarrow Y$, яка визначає характер поведінки системи.

2. Системи динамічні у часі [19,20].

Означення 1.3 Загальною часовою (термінальною) системою S над X і Y є відношення $S \subset \{X \times Y\}$, $X \subset A^T$, $Y \subset B^T$, якщо A, B - алфавіт вхідних дій та вихідних при $x : T \rightarrow A$, $y : T \rightarrow B$:

де A і B - множини, $T = \{t_i\}$ - множина моментів часу, A^T, B^T - множина відображень: $A^T : T \rightarrow A, B^T : T \rightarrow B$ - значення функцій з X і Y в момент часу T будуть $\{x(t), y(t)\}$ на інтервалі $T_i = \{t'_j, t'_j > t\}$.

Означення 1.4. Динамічна у часі система S називається системою з повним входом, якщо маємо: $S \subset \{X \times Y\} : \forall X^*, \forall t (Y, X^* \in D(S))$;

$$(t \in T) \Rightarrow (X_t, X_t^*) \in D(S),$$

$$\forall t (\{X(t) : X \in Y\} = A).$$

Означення 1.5 Нехай S - часова динаміка система на $t \in T$. Станом системи в момент $t \in T$ буде $(C_t \subset S_t)$ для якого буде визначена функція стану та реакцію у вигляді: $\rho_o : [C_o \times X] \rightarrow Y$ - початкова реакція,

$\forall (x, y) \in S \Leftrightarrow \exists C [\rho_o(C, x) = Y]$, тоді для моменту часу $t \in T$ реакція визначається у вигляді і формули зміни динамічного стану:

$$\forall t : \rho_t : \tilde{N}_t \times X_t \rightarrow Y, \text{ то якщо } [(X_t, Y_t) \in S_t] \Leftrightarrow \exists C [\rho_t(C, X_t) = Y_t],$$

де ρ_t - реакція системи у момент t на X_t .

Сімейство реакцій. На інтервалі t визначається згідно $[\hat{C}]$ - сімейство станів відносно можливих реакцій $\rho = \{\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t, t \in T\}$, де $\hat{C} = \{C_t : t \in T\}$ - сімейство можливих станів системи S на інтервалі управління T .

Означення 1.6 Для існування часової системи S (динаміки) виду $(S \subset X \times Y)$ відповідно має бути сімейство реакцій $\hat{\rho}$ для яких виконується умова:

$$\forall t \in T : (\forall C_o) (\forall X_t) \cdot (\forall X^t) \exists C_t [\rho_t(C_t, X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) T_t];$$

$$(\forall C_t) (\forall X_t) \exists C_o, \exists X^t [\rho_t(C_t, X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) T_t];$$

$$\exists C_t \in C_t : y_t = \rho_t(C_t, X_t) \text{ для якого } y_t = \rho_t(C_o, X_t) = \rho_o(C_o, X^t \cdot X_t) / T_t.$$

Означення 1.7. Часова система $S \subset (X \times Y)$ - називається динамічною якщо існують такі сімейства функціональних відображень для яких маємо:

$$\hat{\rho} = \{(\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t) \chi(t \in T)\};$$

$$\hat{\varphi} = \{(\varphi_u : C_t \times X_u \rightarrow C_t) \chi([t, t'] \in T, [t' \geq t])\},$$

де $\hat{\rho}$ - сімейство реакцій системи S ,

φ_u - функції переходу станів систем S .

Відповідно до означення одержимо вираз узагальненої реакції системи S при зміні станів відносно виходу $(Y_t, t \in T)$.

Якщо:

$$\rho = \{\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t\}, \quad \varphi = \{\varphi_{t'} : C_t \times X_{t'} \rightarrow C_{t'}\}; \text{ то}$$

$$\rho_t(C_t, X_t) / T_{t''} = \rho_{t''}(\varphi_{t''} (C_t, X_{t'}) / X_{t''})$$

- тоді $\bar{\rho}$ відповідно визначає композицію переходів при зміні станів $\hat{\varphi}$ для системи S .

Означення 1.8. Множина C є простором станів системи S тоді і тільки тоді якщо існують такі сімейства функцій, що: $\hat{\rho} = \{\rho_t : C \times X_t \rightarrow Y_t\}$

$$\hat{\varphi} = \{\varphi_t : C \times X_{t'} \rightarrow C\} \text{ для яких виконується}$$

$$\forall t, t' \in T \quad \rho_t(C, X_t) / T_t = \rho_{t'}(\varphi_{t'}(C, X_t), X_{t'})$$

$$t \in T, S_t \in S_t^{\rho} \quad \varphi_{t'}(C, X_{t'} = \varphi_{t''}(\varphi_{t''} C; X_{t''}) \cdot X_{t''})$$

$$\varphi_u(C, X_u) = C$$

$$S_o^{\rho} = \{(x, y) : \exists C : y = \rho_o(C, X)\} \subset S$$

Класичний підхід оцінки динаміки системи через реакцію та параметр стану при вході X_t і виході $Y_t, t \in T$ не охоплює динамічні процеси в енергоактивній системі, так як у ній для формування енергоактивних процесів необхідно, як мінімум два потоки активних ресурсів. Наведемо відповідно ці структури (рис. 1,2) [10-15].

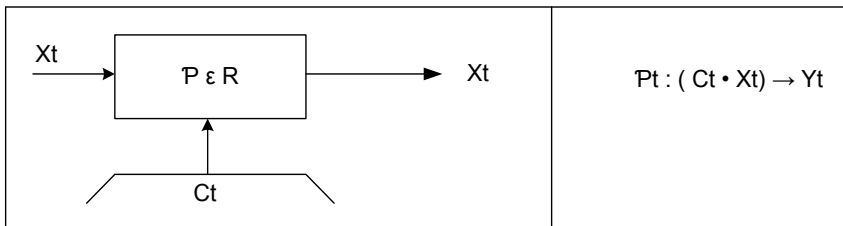


Рис.1. Класична структура представлення

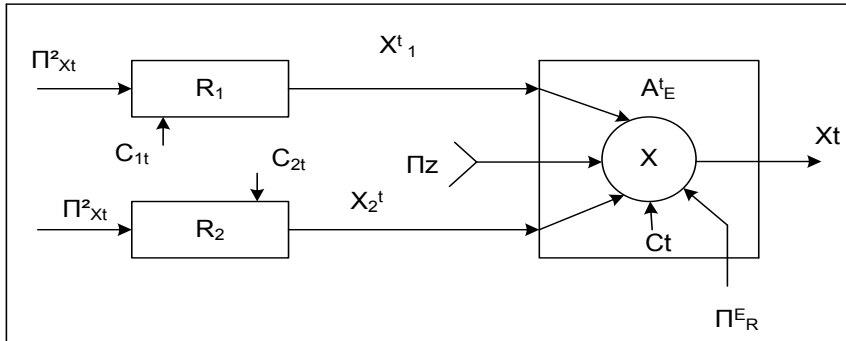


Рис. 2. Схема енергоактивного блоку з оператором енергетичних перетворень A^t_E , потоків ресурсів (P^2_{Xt}) , режимом P^E_R

3. Мінімальні реалізації систем в сенсі Месаровича М. – Арбиба Н [19,20].

На основі поняття системи, з визначеними на її вході і виході моделями сигналів для об'єктів, агрегатів, блоків, АСУ-ТП, ІАСУ, можна прийти до різних динамічних реалізацій в просторах станів та цільовому. Велике значення, при цьому має побудова простору станів системи і кожного об'єкту в її структурі на основі початкової інформації про організацію системи та моделі поведінки, якщо задано метод функціонування та стратегія поведінки.

Довільна задана система S_ρ , яка функціонує на інтервалі термінального часу описується парою (ρ, φ) , які утворюються сімейством допустимих траєкторій, при цьому подібні і еквівалентні траєкторії можуть реалізуватися різними системами. [19-22].

Процедура мінімальної реалізації формується в наступній послідовності:

- виділяється клас систем S_D ;
- визначається відношення еквівалентності;
- вводиться відношення порядку.

Для виділення класів реалізації системи введемо згідно [4] означення класів та їх еквівалентності.

Означення 2.1. Нехай S_D – клас динамічних реалізацій систем. Реалізації систем які описуються парами (ρ, φ) і $(\hat{\rho}, \hat{\varphi})$ будуть еквівалентними відповідно пар (вхід – вихід) тільки тоді, коли виконується умова: [19,20]

$$S_0^\rho \Leftrightarrow S_0^{\hat{\rho}} \left\{ \begin{array}{l} \forall c, \forall x, \exists \hat{c} \left[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x) \right] \zeta \\ \zeta \forall \hat{c}, \forall x, \exists c \left[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x) \right], \end{array} \right.$$

тобто системи характеризуються однаковою динамікою.

Означення 2.2. Нехай $S_D \subset KL_{DR}$ – деякий клас динамічних реалізацій систем, тоді (ρ, φ) і $(\hat{\rho}, \hat{\varphi})$ еквівалентні відносно своїх реакцій на вхідний сигнал тоді і тільки тоді, якщо виконується умова: [19]

$$\forall_C, \exists_{\hat{C}}, \forall_X \left[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x) \right]:$$

$$\forall_{\hat{C}}, \exists_{\hat{C}}, \forall_X \left[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x) \right],$$

тобто системи мають один тип поведінки в KL_{DR} , і для них маємо:

$$\forall_X \left[\rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, x) \right],$$

тобто це клас систем які описуються на перетворенні Лапласа

Означення 2.3. Нехай $S_D \subset S_D^E$ маємо клас еквівалентності динамічних систем, простори станів задаються $\{C, \hat{C}, ((\rho, \varphi), (\hat{\rho}, \hat{\varphi})) \in S_D^E\}$, тоді відношення порядку (\leq) на S_D^E визначається згідно потужності ($K(c)$ і $K(\hat{c})$) - просторів станів у вигляді: [19]

$$((\rho, \varphi) \leq (\hat{\rho}, \hat{\varphi})) \Leftrightarrow (K(c) \leq K(\hat{c})),$$

а простір станів буде мінімальним якщо виконується умова:

$$(S_0^{\rho} = S_0^{\hat{\rho}}) \Rightarrow (K(c) \leq K(\hat{c})).$$

Означення 2.4. В системі S_D реалізується (ρ, φ) реакції системи на вхідне збурення буде реалізацією реакції з мінімальним простором станів, тільки тоді, якщо виконується умова: [19]

$$\forall_C, \exists_{\hat{C}}, \forall_X \left\{ (\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)) \zeta (\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)) \right\} \Rightarrow$$

$$\forall_{\hat{C}}, \exists_{\hat{C}}, \forall_X \left[(K(c) \leq K(\hat{c})) \right].$$

Означення 2.5. Реалізація (ρ, φ) є реакцією на вхідну дію з мінімальним простором станів, якщо для динамічної системи S_D з еталонними станами (c_0, \hat{c}_0) виконується умова: [19]

$$\forall_X, \exists_{c_0} \in C, \exists_{\hat{c}_0} \in \hat{C} \left[(\rho_0(c_0, x_0) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, x_0)) \Rightarrow K(c) \leq K(\hat{c}) \right],$$

а реакція на вхідну дію мінімальної розмірності буде:

$$\forall_X (\rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, \hat{x}_0)) \Rightarrow (\rho, \varphi) \geq (\hat{\rho}, \hat{\varphi}).$$

Означення 2.6. Реалізація динамічної системи (ρ, φ) буде мати реакцію найменшої розмірності, тоді і тільки тоді, якщо існує морфізм з діаграмою перетворень: [19]

$$h: C \rightarrow \hat{C} \left| \begin{array}{c} C \times X_t \xrightarrow{\rho_t} Y_t \\ h \downarrow \quad \downarrow I \quad \downarrow I \\ \hat{C} \times X_t \xrightarrow{\hat{\rho}_t} Y_t \end{array} \right.$$

Яка є комутативна, звідки виникає що існує морфізм $\hat{h}: \hat{C} \rightarrow C$ який забезпечує комунікативність діаграми:

$$\exists \hat{h}: \hat{C} \rightarrow C \left| \begin{array}{ccc} \hat{C} \times X_t \xrightarrow{\hat{\rho}_t} Y_t \\ \hat{h} \downarrow \quad \downarrow I \quad \downarrow I \\ C \times X_t \xrightarrow{\rho_t} Y_t \end{array} \right.$$

що забезпечує умову існування реакції найменшої розмірності.

Для стаціонарних систем мінімальної реалізації маємо наступні характеристики поведінки динамічної структури: [1-4, 16-24]

- система керована, якщо виконується умова:

$$\exists \rho(\rho, \varphi), \exists c_0 \in C, \forall c, \exists_{X^t} (c \in C \Rightarrow c = \varphi_{0t}(c_0, x^t));$$

- система (ρ, φ) – інваріантна в часі, буде приведена до стану c' , якщо:

$$\forall (c, c'), \forall x (\rho_0(c, x) = \rho_0(c', x) \Rightarrow (c = c'));$$

- система (ρ, φ) – скінченна, якщо $(c \in C)$ – скінченна множина:

система $(\rho, \varphi) \in S_D$ з лінійним простором станів C , буде скінченномірною, якщо її базис буде скінченний:

$$\begin{aligned} \exists C, \exists k \in K, \{\hat{C}_1, \hat{C}_2, \dots, \hat{C}_k\}, \forall c \in C, \\ \exists \{\alpha = \alpha_1, \dots, \alpha_k \in A\} : C = \sum_{i=1}^k \alpha_i \hat{C}_i. \end{aligned}$$

Означення 2.7. Умова єдності мінімальних реалізацій системи та її реакції на вхідну дію ґрунтується на понятті еквівалентності реакції систем.

Наслідок. Нехай (ρ, φ) і $(\hat{\rho}, \hat{\varphi})$ – інваріантні в часі динамічні системи, які є керованими і приведеними за структурою і реакцією. Ці системи є реалізацією одного і того ж сімейства реакцій на вхідну дію, якщо виконується умова:

$$\begin{aligned} \left\{ \forall_{X^t} : \rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, \hat{x}_0) \right\} \Rightarrow \left(\exists h : C \rightarrow \hat{C} \right) \zeta \\ \left(\exists h_0 : h(c_0) = \hat{c}_0 \right), \left(\forall_{X_{t'}}, \forall_{X_t} \right) \subset [0, t'], \end{aligned}$$

і для них є комунікативна діаграма з операторами $\langle I, h, I \rangle$:

$$\begin{array}{ccccccc} & \varphi_{0t}(C_0, -) & \varphi_{t'(-, X_{t'})} & \rho_{t'(-, X_{t'})} & & & \\ X^t & \rightarrow & C & \rightarrow & C & \rightarrow & Y^t \\ \downarrow I & & \downarrow h & & \downarrow h & & \downarrow I \\ & \hat{\varphi}_{0t}(\hat{C}_0, -) & \hat{\varphi}_{t'(-, X_{t'})} & \hat{\rho}_{t'(-, X_{t'})} & & & \\ X^t & \rightarrow & \hat{C} & \rightarrow & \hat{C} & \rightarrow & Y^t \end{array}$$

обґрунтування якої базується на умові достатності та необхідності.

Умова достатності мінімальних реалізацій:

$$\left. \begin{array}{l} \exists h: C \rightarrow \hat{C}, \\ \forall_{x'} \in X, \\ t' \geq 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \rho_0(C_0, X)|_{T_{t'}} = \rho_{t'}(\varphi_{0t'}(C_0, x'), x_{t'}) = \\ = \hat{\rho}_{t'}(h \cdot \varphi_{0t'}(C_0, x'), x_{t'}) = \\ = \hat{\rho}_{t'}(\varphi_{0t'}(C_0, x^{t'}), x_{t'}) = \\ = \rho_0(\hat{C}_0, x^{t'} \cdot x_{t'})|_{T_{t'}}. \end{array}$$

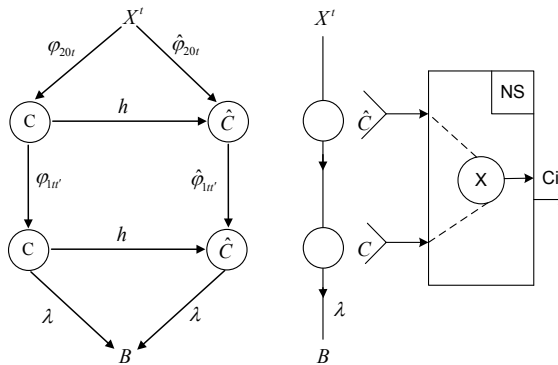
Умова необхідності реакцій виділивши відношення $h \subset C \times \hat{C}$ через $(C, \hat{C}) \in h \Leftrightarrow \exists x^t (C = \varphi_{0t}(C_0, x^t) \zeta \hat{C} = \hat{\varphi}_{0t}(\hat{C}_0, x^t))$, тоді маємо:

$$\left. \begin{array}{l} (C, \hat{C}) \in h \\ (C, \hat{C}') \in h \\ \forall_{x_t} \in X^t \end{array} \right\} \begin{array}{l} C = \varphi_{0t'}(C_0, x^t) \zeta \hat{C} = \hat{\varphi}_{0t'}(\hat{C}_0, x^t), \\ C = \varphi_{0t'}(C_0, \hat{x}^t) \zeta \hat{C}' = \varphi_{0t'}(C_0, \hat{x}^t) \\ \rho_{t'}(C, x_t) = \rho_0(\hat{C}_0, x^t \cdot x_t)|_{T_{t'}} = \\ = \rho_t(\hat{C}_0(\hat{C}_0, x^t) x^t) = \\ = \hat{\rho}_0(\hat{C}_0, x^t \cdot x_t)|_{T_t} = \\ = \rho_t(\varphi_{0t}(\hat{C}_0, x_t) x^t) = \hat{\rho}_t(\hat{C}, x_t), \end{array}$$

тобто якщо дві системи ізоморфні і керовані реалізують одно й те саме сімейство реакцій на вхідну дію то їхній ізоморфізм полягає в тому, що якщо

$\exists \varphi, \exists h: C \rightarrow \hat{C}: \rho_t(h^{-1}(\hat{C}), x_t)$, то $\varphi'_{tt'}(\hat{C}, x_{tt'}) = h\varphi_{tt'}(h^{-1}(\hat{C}), x_{tt'})$, $h(C_0) = \hat{C}_0$, відповідно діаграма станів буде комутативною відносно взаємоднозначного відображення h тобто $h(C_0) = \hat{C}_0$, $\forall x_t: \rho_{2t}(x_t) = \hat{\rho}_{2t}(x_t)$.

Згідно означення 1.7. будуємо категорні діаграми перетворень у просторі станів системи.



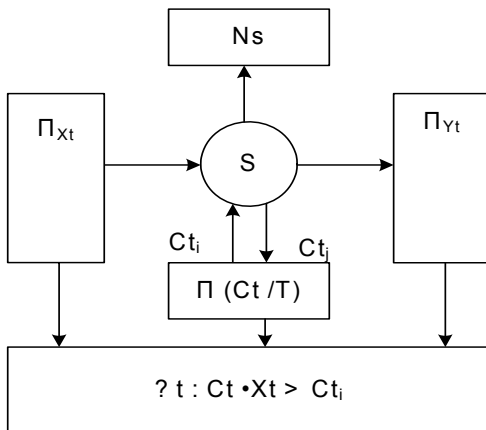
де $\lambda: C \rightarrow B$ – вихідна функція динамічної системи S_D інваріантної з \hat{S}_D для яких: $C = \cup \varphi_{0t}(x^t)$ і $\hat{C} = \cup \hat{\varphi}_{0t}(x^t)$ – визначають структуру термінального простору станів через систему спостереження стану (NS).

4. Доповнення класичних структур систем.

При класичному описі поведінки динамічної системи через реакцію та зміну стану при вхідній дії X_t , змінюється як стан системи так і вихідний параметр [19]: $\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t$;

$\varphi_t : C_t \times X_t \rightarrow C_t'$, але не вказується яким способом можна контролювати зміну стану та виходу систем.

Ввівши поняття спостережуваності як метод відбору даних про ситуацію у системі побудуємо елементарні структури прямого і непрямого спостереження.



Пряме спостереження стану системи

Позначення: NS - спостерігаюча система,

Π_{xt} - параметр потоку ресурсів,

Π_{yt} - вихідні параметри,

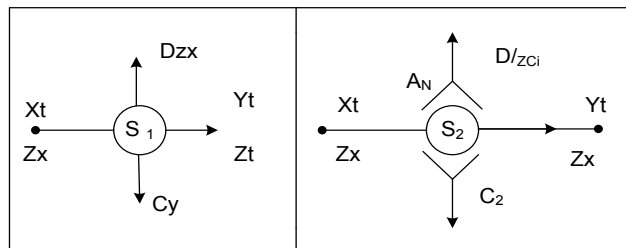
$\Pi(C_i / T)$ - простір станів.

Пряме спостереження відбувається за рахунок відбору даних при використанні енергії системи S .

Непрямий спосіб спостереження потребує для відбору даних використання енерго-інформаційних перетворень для одержання сигналів про стан об'єкту контролю (S).

Відповідно до концепції відбору даних представим діаграми перетворень сигналів

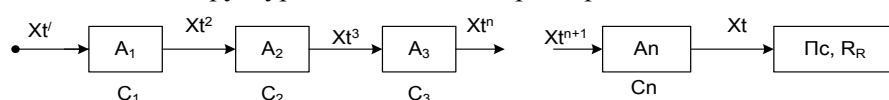
Діаграма спостережуваності систем



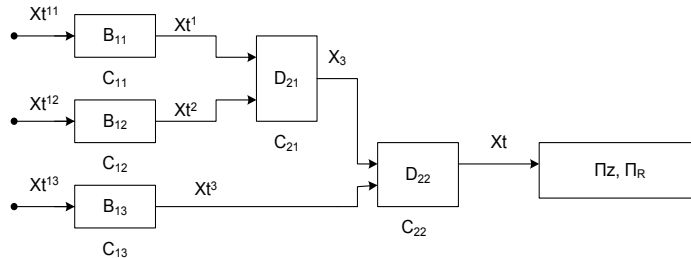
Позначення: Z_x, Z_y - сигнали вхідні і вихідні, D_{zx} - потоки даних, C_1, C_2 - стани систем.

Відповідно до концепції простору станів розглянемо типи технологічних структур [1] і агрегатів:

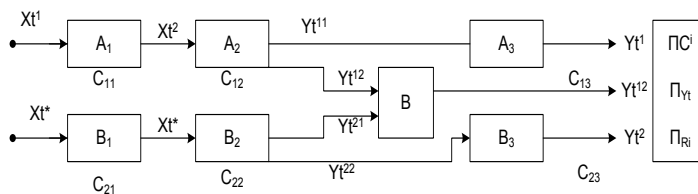
1. Послідовні структури без активних перетворень



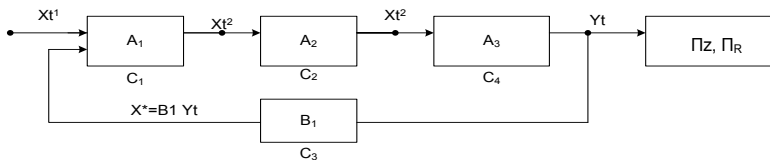
2. Сходячі структури технологічних процесів без активних перетворень ресурсів



3. Сходящо-розхідні пасивні структури



4. Структури зі зворотними зв'язками



Такі структури можуть представляти як перетворення технологічних ресурсів так і інформаційних, процеси відбору і оцінювання даних, якщо їх доповнити поняттями просторів цілей, режимів та станів, керованості, спостережуваності.

Для ієрархічних систем з багаторівневою організацією, проблема аналізу (синтезу) структури системи ускладнюється, так як у ній відбуваються енергоактивні процеси і перетворення ресурсів. Управління ними ґрунтується на аналізі потоків даних і управлінні які прогнозують та пов'язують всі рівні ієрархії інформаційними зв'язками. Цільові функції систем реалізуються на генерації стратегій та процедурах прийняття рішень.

5. Узагальнення динамічної системи та їх поведінка у часі.

Означення 3.1. Динамічною системою S_D є складний математичний об'єкт що визначається наступними аксіомами [19-20].

а) задано множину моментів часу $\left\{ t_i \left| \begin{matrix} n \\ i=1 \end{matrix} \right. \right\} \in T_m$ – дискретного або перервного $\{0 \div t_\infty\} \subset T$;

б) множину миттєвих значень вхідних управляючих дій U , та множину допустимих дій $\Omega: \{ \omega: T \rightarrow U \}$;

в) множину значень вихідних величин Y з множиною вихідних величин $\tilde{A} = \{\gamma: T \rightarrow Y\}$;

г) на множині T -часової осі задано хід часу, як впорядковану підмножину дійсних чисел;

д) множина вхідних дій Ω відповідає умовам нетривіальності ($\Omega \neq \emptyset$) – адитивність вхідних величин $\bigcup_{i=1}^n \omega(t_{ij}, t_{ik} |_{k=0}^m) \subset \Omega$;

ж) існує перехідна функція стану системи $\varphi: (T \times T \times X \times \Omega) \rightarrow X$, значеннями стану будуть $x(t) = \varphi(t, \tau, x, \omega) \in X$, для $\forall t \in T$, $x \in X$ і $\omega \in \Omega$ маємо: $\varphi(t, \tau, x, \omega) = x$, як початковий стан;

з) задано вихідне відношення зміни стану $\varphi: T \times X \rightarrow Y$, для якого $y(t) = \varphi(t, x(t))$, сегмент траєкторії формується у вигляді відображення $[\tau, t] \times x \rightarrow [x(\tau), x(t)]$, $[\tau, t] \mapsto y$ – одностачне; $\delta \mapsto y(\delta, \varphi(\delta, \tau, x, \omega))$, $\delta \in [\tau, t]$; визначає відрізок (сегмент) траєкторії на Y .

Для стаціонарної системи виконується умова:

$$\varphi(t, \tau, x, \omega) = \varphi(t + s, \tau + s, x, z'_{\omega}), t \in T;$$

та умова причинності: $\forall \tau, t \in T \zeta(\tau < t, (\omega, \omega') \in \Omega) \zeta \omega_{(\tau, t)} = \omega'_{(\tau, t)}$, то

$$f_{\alpha}(t, \omega) = f_{\alpha}(t, \omega'), \forall \alpha, \tau = I'(\alpha),$$

де $I': A \rightarrow I$ – індекс напрямку часу;

$f_{\alpha}(t, \omega)$ – визначено для $\forall t \geq I'(\alpha)$;

$f_{\alpha}: T \times \Omega \rightarrow Y, \forall \alpha \in A, f_{\alpha} \in Y$ – функція переходу з простору станів у вихідний простір системи.

Формування законів управління в системі.

Означення 3.2. Стратегія управління, в базисі законів управління, задана, якщо існує відображення:

$$\exists \text{Start } U \Rightarrow \begin{cases} \exists K: (T \times X) \rightarrow U, \forall xt, \forall t \in T, \\ U(t) = K(t, x(t)), K \rightarrow \omega: T \rightarrow U, \omega \in \Omega, \\ \omega: t \mapsto U(t) = K(t, \tau, x, \omega) \end{cases}$$

Для системи яка описується диференційним рівнянням

$$\frac{dx}{dt} = [F(t) - g(t)K(t)]x \text{ маємо якщо існує перехідна матриця}$$

$\emptyset(\cdot, \tau)x \in C^0(T \rightarrow X)$, то будемо мати $\forall \omega \in \Omega_2, \forall K; \omega: t \rightarrow u(t) = K(t)\emptyset(t, \tau)x$.

Відповідно для динамічної системи маємо:

– рівняння об'єкта $\frac{dx}{dt} = Fx + gu(t)$;

– рівняння системи оцінки стану $y(t) = Hx(t)$;

– закон управління $u(t) = -K\hat{x}(t)$;

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = F\hat{x} + L[y(t) - H\hat{x}] + gu(t) \text{ – рівняння динаміки після оцінки стану і ви-}$$

хідної величини.

6. Узагальнення представлення системи в алгебрі категорій.

Як було вище показано, структура системи з ієрархією має складну організацію, тому охопити всі аспекти її функціонування та енерго-інформаційні зв'язки представити та виявити є складною задачею. Особливо проблема ускладнюється як на її функціонування діють скриті фактори впливу як на інформаційну так і енергетичну основу, що приводить до неконтрольованих змін стану агрегатів і об'єктів (інформаційно-ресурсні атаки). Використання категорних алгебр і діаграм забезпечує виявлення атак за рахунок виявлення структури зв'язків і ядер впливу на простір станів системи.

Для позначення системи в категорій формі позначимо: [15-22]

T – множина моментів часу на Z – множині, як впорядкованій абелівій групі циклічних чисел;

$U \subset K^m$ – множина значень вхідних дій на m – мірному векторному просторі;

Y – множина значень вхідних величин на K^0 ;

X – простір станів на K^0 ;

Ω – простір вхідних дій для якого $\omega_i : T \rightarrow U$, $\omega_i \in \Omega$;

Γ – простір вихідних величин $\hat{A} : T \rightarrow Y$;

α – відображення переходу при зміні статусу системи $\alpha : (T \times T \times X \times \Omega) \rightarrow X$,

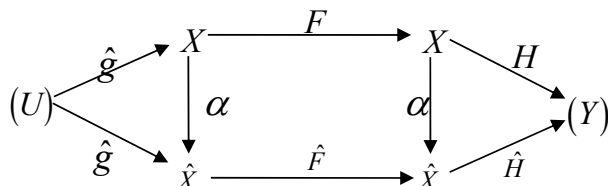
Для моменту кожного переходу маємо

$$(t+1, t, x, \omega) \mapsto \varphi(t+1, t, x, \omega) = Fx(t) + g\omega(t),$$

де F, g – матриці $(n \times n)$, $(n \times m)$ над K ; φ – вихідне відображення $T \times X \rightarrow Y$, для якого буде: $(t, x) \mapsto \varphi(t, x) = H(x)$.

Ізоморфізм динамічних систем при структурних переходах.

Означення 3.3. Дві лінійні динамічні системи $S_a = (F, g, H)$ і $\hat{S}_a = (\hat{F}, \hat{g}, \hat{H})$ – називаються ізоморфними згідно їхньої поведінки в просторі станів та еквівалентних управляючих дій тоді і тільки тоді, якщо існує ізоморфне перетворення: K – ізоморфізм $\alpha : X \rightarrow \hat{x}$, для якого діаграма K -гоморфізмів комутативна:

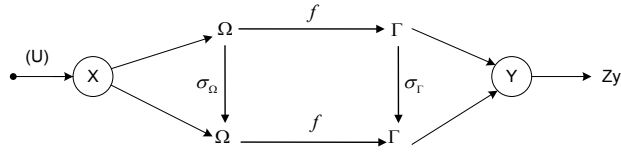


для якої маємо матричні значення:

$$\hat{F} = AFA^{-1}, \hat{g} = Ag, \hat{H} = HA^{-1}$$

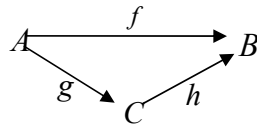
Лінійне відображення «вхід – вихід» в такій системі задається у вигляді:

$f : \Omega \rightarrow \Gamma$, $\Omega \in K^m$, $\Gamma = \{\gamma : z \rightarrow K^0\}$ яке відображає f інваріантне в часі у вигляді категорної діаграми:

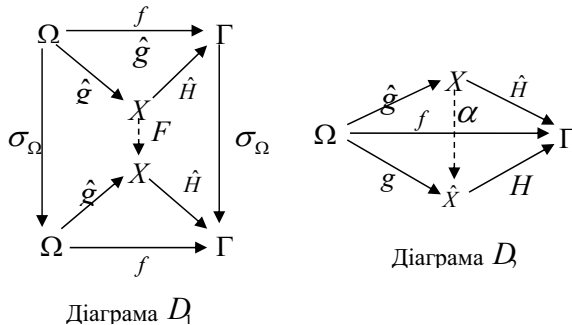


де Ω, Γ – K -векторні простори.

Означення 3.4. Реалізація S_d відображення f – буде канонічною тільки коли система спостережувана і досяжна в просторі станів та для неї справедлива умова факторизації $f: A \rightarrow B$ згідно комутативності діаграми: $\exists g, h: f = goh$. [19]



Якщо виконується умова факторизації для реалізації структури системи маємо: $|D_1|, (g(\omega) = g(\hat{\omega})) \Rightarrow (g(\omega\sigma_\Omega) = \bar{g}(\sigma_\Omega\hat{\omega}))$ то умова комунікативності також виконується для канонічної реалізації $f: (D2)$.

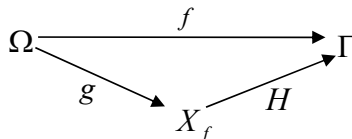


7. Передавальна функція системи, категорна модель.

В класичній теорії лінійних систем функція відображення «вхід – вихід» f пов'язана з поняттям передавальної функції [1-4].

Так для $f \in$ деякий гомоморфізм на структурі S_d то справедливим є факт що $f(\omega) = \sum_{k=1}^m \omega_k f(l_k), E_i = f(l_i)$ – відображає степеневий ряд [19].

Якщо для f існує факторизація, яка описується комутативною діаграмою $K[2]$ – гомоморфізмів, то система $S_d(f, \Omega, \Gamma)$ буде мати реалізовану структуру в просторі $X, X_f \subset X$, тобто $f(\psi_f \cdot l_k) = (H_f o g_f)(\psi_f \cdot l_k)$.



Відповідно, до вище наведеного, реалізація матричної передавальної функ-

ції має вигляд [19,20] для об'єкта з взаємопов'язаними технологічними агрегатами, які мають спільний простір станів $\langle C_s = \alpha C_{11}, C_{12} \dots C_{pm} \rangle$ у динамічній системі $Y = / A_s \times \{U_i\}$, $y(t) = \varphi(t, x(t))$, $\varphi : (T \times T \times X \times \Omega)$, $\Omega : \{\omega : T \rightarrow U\}$.

Відповідно до вище наведеного побудуємо (Рис.3) матрицю для енергоактивного об'єкта.

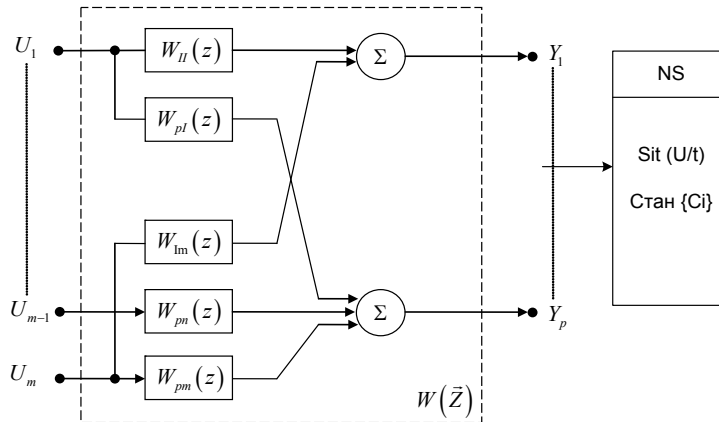


Рис.3. Матриця передавальної функції складного агрегату у структурі системи

Для побудови категорних діаграм складної системи з ієрархічною структурою необхідно провести процедуру декомпозицію на підсистеми, блоки, агрегати: $\langle IIS \rangle \rightarrow \{A_{ij} / i=1, j=1, n, m\} \rightarrow \{B_{ks} / k=1, l=m, n\} \rightarrow \{D_{rd} / r=1, d=1, c, z\} \rightarrow \{AgStruktIB\}$

Відповідно одержимо схему агрегатних та ієрархічних зв'язків підсистем з внутрішніми і зовнішніми звуками при перетворенні ресурсних та інформаційних потоків (Рис.4) та на підставі концепції системології будуємо процедури формування структури об'єкта (Рис.5) з використанням процесів опрацювання даних і знань згідно проблемної задачі.

Для чого необхідно виділити з структури техногенної системи базові структури, які описують та відображають функції, цілі і динаміку об'єкта, який є технологічно і функціонально закінченими і виконану певну цільову задачу $\{Ci\}$. $\{IIS\} \rightarrow \{S_{i+3}, C_{i+3}\}$.

Відповідно до цільової задачі виділяється базова функціональна структура об'єкта, який забезпечує на своєму рівні досягнення мети на підставі агрегації: $\{S_{i+3}\} \xrightarrow{Pd} \{S_{i+2} / C_{i+2} / \{A_{ij} / i=1, n\}\}$; за рахунок процедури декомпозиції системи на агрегати $\{S_{i+2} \xrightarrow{Pd} \{A_{ij}\}\}$.

Для одержання подальшої інформації про технологічний об'єкт і процес (функціональну структуру) необхідно провести декомпозицію агрегатів на компоненти: $\{S_{i+1}\} \xrightarrow{Pd} \{S_{i+1} / C_{i+1} / \{A_{ij} \xrightarrow{Pd} \{B_{ij}\}\}\}$, які забезпечують досягнення локальної мети.

На нижньому рівні страти з набору систем $\langle S_{i+3}, S_{i+2}, S_{i+1}, S_i \rangle$ - виконується процес ідентифікації елементарних структур та знань, які відображають особливості функціонування комплексу $\{D_{ij} / i=1, k\}$.

При такому підході до аналізу стану системи не можливо представити інформаційну сутність ситуації, яка склалась у системі (Рис.4).

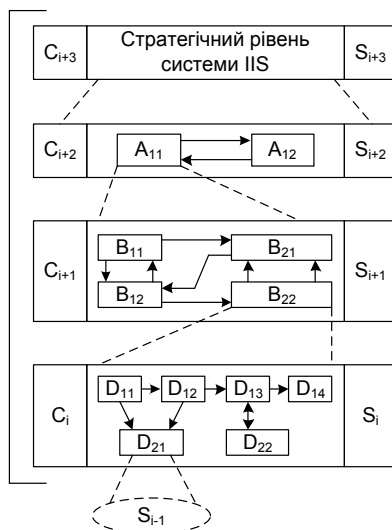


Рис. 4. Агрегатна схема ієрархічної підсистеми з внутрішніми зв'язками

Процедури структуризації системи та оцінки стану об'єктів і агрегатів [1-4, 23, 24] ґотуються на системології та інформаційних технологіях [10-14] та інтелектуальних процедурах і правилах прийняття рішень [8-14] на управління, які забезпечують досягнення мети в режимі поточної оцінки ситуації.

Схема представлена на рисунку 5 включає наступні інформаційно-ресурсні компоненти та процедури:

- процес ідентифікації проблемної ситуації в об'єкті при дії цільового і збурюючого фактору на управлінську структуру [1-4];
- процедуру формування цільової задачі відповідно до способу розв'язання ситуації [10-14];
- формування методу ідентифікації ситуації і стану та вибір математичного і системного апарату дослідження об'єкта [1-4, 9-24] для формування бази даних і знань [5-7];
- розробка системної моделі процесу розв'язання задачі ідентифікації і структури задачі з використанням інтелектуального процесора (ІЛСП) згідно [4-14];
- управління процесом ідентифікації та структуризації об'єкта та оцінки динаміки зміни стану інтелектуальним агентом – дослідником для виявлення факторів ризику.

Системологія як теоретична підстава формування структури об'єкта, визначення простору можливих станів їх зміни при дії факторів загроз і цільового управління. Використавши концепцію викладену в [10-14] розглянемо компонентну структуру техногенної системи та взаємодію інформаційних, ресурс-

них і енергетичних потоків, яка визначає стан системи в цілому.

Компоненти системи з ієрархічною структурою (Рис.5):

- ресурсне перетворення в енергію (агрегати, блоки, енергоактивні об'єкти) характеризуються режимом та динамікою;
- динаміка технологічних процесів (потужність, режим: граничний – нормальний);
- інформаційно-управляючі (процедури, алгоритми, потоки даних, ситуації).

Класична технологія синтезу і аналізу систем не виділяє в окремі компоненти ресурсні, інформаційні, управляючі, динамічні процеси, канали передачі і обміну потоками, що не може забезпечити ефективний спосіб виявлення кризових вузлів і каналів по яких відбувається перерозподіл ресурсів, енергії, потоків даних та управляючих команд. Тобто він не дозволяє виділити у структурі техногенної системи агенти впливу на спосіб функціонування системи та виділити найбільш вразливі координати зони атак на функції і цілі системи – тобто ігрову сутність процесу управління.



Рис. 5. Схема системології формування структури об'єкта та оцінки динамічного стану, де IA – інтелектуальний агент; F_{ci} – цілезадаючий фактор активізації; $СУБДЗ$ – система управління бази даних і знань; $ІЛСП$ – інтелектуальний логічний системний процесор синтезу структури; $БОО$ ($Sit(OV/t)\tau$) – блок обробки системної ситуації в об'єкті управління в момент t на інтервалі часу τ ; I_k – критерій системних вимог до якості; \hat{I}_k – оціночна якість; I_e – еталонна якість; $H_i: (\hat{I}_k \geq I_k) \Rightarrow [Strukt(OV) \leftrightarrow R(F_{ci})]$ – перевірка на відповідність продукту синтезу цільовому завданню; I_d – критерій якості динаміки поведінки системи; F_A^* – фактор активізації впливу на систему.

Висновок. В статті розглянуто можливість побудови процедур структуризації техногенних систем (діючих і на стадії проектування) на підставі використання

системного аналізу та теорії категорій. Також структуризація техногенних систем була розглянута за допомогою методів оцінки динаміки зміни станів агрегатів і об'єктів як інформаційних індикаторів для виявлення вторгнень активних факторів збурень в управління та структурну організацію техногенних систем. Отже ризику аварій визначаються на основі оцінки зміни станів об'єктів відносно еталонів, заданих граничних і нормативних режимів функціонування системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Первозванский А. А. Математические методы в управлении производством. М.: Наука, 1972. – 616 с.
2. Хейли Э. Дж., Кумamoto Х. Надежность технических систем и оценка риска (Reliability engineering and risk assessment) М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
3. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным биологическим и экологическим задачам. Под ред. А. И. Гейман М.: Наука, 1986. – 496 с.
4. Скурихин В. И., Шифрин В. Б. Дубровский В. В. Математическое моделирование. К.: Техника, 1983. – 270 с.
5. Верес О. М. Технології підтримання прийняття рішень. За заг. ред. В. В. Пасічника. Львів: Львівська Політехніка, 2013. – 251 с.
6. Жежнич П. І. Консолідовані інформаційні ресурси баз даних та знань. За заг. ред. В. В. Пасічника. Львів: Львівська Політехніка, 2010. – 210 с.
7. Литвин В. В. Технології менеджменту знань. За заг. ред. В. В. Пасічника. Львів: Львівська Політехніка, 2013. – 258 с.
8. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. – 272 с.
9. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
10. Ткачук Р. Л., Сікора Л. С. Логіко-когнітивні моделі формування управлінських рішень інтегрованими системами в екстремальних умовах. Львів: Ліга-Прес, 2010. – 404 с.
11. Дурняк Б. В., Сікора Л. С., Антоник М. С., Ткачук Р. Л. Когнітивні моделі формування стратегій оперативного управління інтегрованими ієрархічними структурами в умовах ризиків і конфліктів. Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 449 с.
12. Дурняк Б. В., Сікора Л. С., Антоник М. С., Ткачук Р. Л. Автоматизовані людино-машинні системи управління інтегрованими ієрархічними організаційними та виробничими структурами в умовах ризику та конфліктів. Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 514 с.
13. Дурняк Б. В., Сікора Л. С., Лиса Н. К., Ткачук Р. Л., Яворський Б. І. Інформаційні та лазерні технології відбору потоків даних та їх когнітивна інтерпретація в автоматизованих системах управління. Львів: Українська академія друкарства, 2017. – 644 с.
14. Сікора Л. С., Дурняк Б. В., Лиса Н. К., Ткачук Р. Л. Логічні і інформаційні фактори формування причинно-наслідкових зв'язків при оцінці динамічних термінальних ситуацій в потенційно-небезпечних енергоактивних об'єктах. Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. К.: ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України, 2016. Вип. 77. С. 153-164.
15. Цаленко М. Ш., Шульгейфер Е. Г. Основы теории категорий М.: Наука, 1974. – 256 с.

16. Математические методы в теории систем. Под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Мир, 1979. – 326 с.
17. Эйкхофф П., Ванечев А., Саварати Е., Созда Т., Накамизе Т. Современные методы идентификации систем. Под ред. П. Эйкхоффа. М.: Мир, 1983. – 400 с.
18. Аврамчук Е. Ф., Вавилов А. А., Емельянов С. В. и др. Под общ. ред. С. В. Емельянова и др. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.
19. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. Под ред. С. В. Емельянова. М.: Мир, 1978. – 312 с.
20. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. – 344 с.
21. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. Под ред. Я. З. Цыпкина. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
22. Теория систем. Математические методы и моделирование: Сб. ст. подред. А. Н. Колмогорова, С. П. Новикова. М.: Мир, 1989. – 382 с.
23. Павлов А. А., Гриша С. Н., Томашевский В. Н., Синявский Е. П., и др. Основы системного анализа и проектирования АСУ. Под общ. ред. А. А. Павлова. К.: Выща шк., 1991. – 367 с.
24. Анкудинов Г. И. Синтез структуры сложных объектов: (Логико-комбинаторный подход). Ленинград: ЛГУ, 1986. – 258 с.

REFERENCES

1. Pervozvanskiy A. A. (1972). Matematycheskie metody v upravlenii proizvodstvom. M.: Nauka, – 616 s. (in Russian).
2. Kheily É Dzh., Kumamoto KH. (1984). Nadiynist tekhnichnykh system i otsinky ryzyku M.: Mashynostroenye, – 528 s. (in Russian).
3. Roberts F. S. (1986). Dyskretnye matematychni modeli z dodatkamy do sotsial'noho biolohichnoho i ekolohichnoho zavdannya. Pod red. A. I. Heyman M.: Nauka, – 496 s. (in Russian).
4. Skurykhyn V. I., Shyfrin V. B. Dubrovskyy V. V. (1983). Matematychno mo-delyrovanye. K.: Tekhnyka, – 270 s. (in Russian).
5. Veres O. M. (2013). Tekhnolohiyi pidtrymky pryynyattya rishen. Za zah. red. V. V. Pasichnyka. L'viv: L'vivs'ka Politekhnik, – 251 s. (in Ukrainian).
6. Zhezhnych P. I. (2010). Konsolidovani informatsiyni resursy baz danykh ta znan. Za zah. red. V. V. Pasichnyka. Lviv: Lvivska Politekhnik, – 210 s. (in Ukrainian).
7. Lytvyn V. V. (2013). Tekhnolohiyi menedzhmentu znan. Za zah. red. V. V. Pasichnyka. Lviv: Lvivska Politekhnik, – 258 s. (in Ukrainian).
8. Melykhov A. N., Bernshteyn L. S., Korovin S. Ya. (1990). Sytuatsyonnye sove-tuyshchye systemy s nechetkoy lohykoy. M.: Nauka, – 272 s. (in Russian).
9. Pospelov D. A. (1986). Sytuatsyonnoe upravlenye: teoryya y praktyka. M.: Nauka, – 288 s. (in Russian).
10. Tkachuk R. L., Sikora L. S. (2010). Lohiko-kohnityvni modeli formuvannya upravlinnskykh rishen intehrovanykh systemamy v ekstremalnykh umovakh. Lviv: Li-ha-Pres, – 404 s. (in Ukrainian).
11. Durnyak B. V., Sikora L. S., Antonyk M. S., Tkachuk R. L. (2013). Kohnityvni modeli formuvannya stratehiyi operatyvnoho upravlinnya intehrovanykh ierarkhichnykh strukturamy v ryzykakh i konfliktakh. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva, – 449 s. (in Ukrainian).

12. Duryak B. V., Sikora L. S., Antonyk M. S., Tkachuk R. L. (2013). Avtomatyzovana systema upravlinnya systemoyu upravlinnya intehral'nymy ierarkhichnymy orhanizatsiyamy ta vyrobnychymy strukturamy v ryzkyk ta konfliktakh. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva, – 514 s. (in Ukrainian).
13. Durnyak B. V., Sikora L. S., Lysa N. K., Tkachuk R. L., Yavors'kyy B. I. (2017). Informatsiyeni ta lazerni tekhnolohiyi vidboru potokiv danykh ta yikh kohnityvna interpretatsiya v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnya. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva, – 644 s. (in Ukrainian).
14. Sikora L. S., Durnyak B. V., Lysa N. K., Tkachuk R. L. (2016). Formuvannya lohichnykh ta inzhenernykh faktory prychnynno-naslidkovykh zlochyniv za otsinkoyu dynamichnykh terminovykh sytuatsiy v potentsiyno-nebezpechnykh enerhoaktyvnykh obyektakh. Modelyuvannya ta informatsiyeni tekhnolohiyi: Zb. nauk. pr. K.: IPME im. H.YE. Pukhova NAN Ukrayiny, Vyp. 77. S. 153-164. (in Ukrainian).
15. Tsalenko M. SH., Shul'heyfer E. H. (1974). Osnovy teoryy katehoryy M. : Nauka, – 256 s. (in Russian).
16. Matematychni metody v teoriiy system. (1979). Pod. red. A. N. Kolmohorova. M. : Myr, – 326 s. (in Russian).
17. Eykhhoff P., Vanechev A., Savaraty E., Sozda T., Nakamyze T. (1983). Sovre-mennye metody identyfikatsiyi system. Pod red. P. Eykhhoffa. M.: Myr, – 400 s. (in Russian).
18. Avramchuk E. F., Vavylov A. A., Emelyanov S. V. y dr. (1988). Pod obshch. red. S. V. Emelyanova y dr. M.: Mashynostroenye; Berlin: Tekhnyk, – 520 s. (in Russian).
19. Mesarovych M., Takakhara YA. (1978). Obshchaya teoryya system: matematychni osnovy. Pod red. S. V. Emelyanova. M.: Myr, – 312 s. (in Russian).
20. Mesarovych M., Mako D., Takakhara I. (1973). Teoryya yerarkhycheskykh mnoho-urovnevykh system. M.: Myr, – 344 s. (in Russian).
21. Kalman R., Falb P., Arbyb M. (2004). Ocherky po matematychniy teoriiy system. Pod red. YA. Z. Tsyapkyna. M.: Edytoryal URSS, – 400 s. (in Russian).
22. Teoryya system. Matematychni metody i modeli: (1989). Sb. st. podred. A. N. Kolmohorova, S. P. Novykova. M. : Myr, – 382 s. (in Russian).
23. Pavlov A. A., Hrysha S. N., Tomashevs'kyy V. N., Synyavskyy E. P., ta in. (1991). Osnovy systemnoho analizu ta proektuvannya ASU. Pod obshch. red. A. A. Pavlova. K. : Vyshchashk., – 367 s. (in Russian).
24. Ankudynov H. I. (1986). Syntez strukturnykh obyektiv: (Lohiko-kombinatornyy pidkhid). Lenynhrad: LHM, – 258 s. (in Russian).

**CAREGORICAL MODELS OF REPRESENTING
THE STRUCTURE AND DYNAMICAL STATE
OF HIERARCHICAL SYSTEMS TO IDENTIFY THE FACRORS
OF ATTACKS AND RISK**

R.L. Tkachuk¹, L.S. Sikora², N.K. Lysa², Y. G. Miyushkovych²,
R.S. Martsyshyn², V.I. Sabat³

¹Lviv State University of Life Safety 35, Kleparivska St., Lviv, 79000, Ukraine

²Lviv Polytechnic National University 12, S.Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine

³Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St.,Lviv, 79020, Ukraine

The article considers the method of revealing the factors of the attacks impact on the structure and dynamics of the hierarchical systems based on the system analysis and category theory that lead to the risk of emergencies in industrial and technological systems.

This method is actual for both systems: existing ones and those that are projected. This method is based on the detecting changes in the system state space at the expense of the attacks on the resource and information flows as well as on the parameters structures.

The global system is described as the relation on abstract sets at general level. The behavior of such systems with dynamic properties is described through the abstract time functions in the state space, in order to track the change of position. In general, the dynamic system is determined by the type of behavior in the space of states.

On the basis of the notion of system, with the signals and models determined at its input and output for the objects, aggregates, blocks, automated control systems – technological process, intelligent automated control systems, it is possible to come to various dynamic implementations in the space of states and the target space. Of great significance is the construction of the space of states of the system and of each object in its structure on the basis of the initial information about the organization of the system and behavior patterns, if the method of functioning and behavior strategy is given.

Structures are presented in the form of transformation of technological and informational resources, processes of selection and evaluation of data provided that they are supplemented by the following concepts: objectives, manageability, observation, regimes and conditions.

The article also substantiates the management of hierarchical systems with a multilevel organization, which is based on the analysis of data flows and management, which predict and relate all levels of hierarchy to information links. The target functions of the systems are implemented in generating strategies and decision-making procedures.

Also, the influence of hidden factors on functioning, both on the informational and energy basis of the system, is considered, which leads to uncontrolled changes in the state of aggregates and objects (information and resource attacks).

Keywords: *system, structure, signal, control, risks, information technology, dynamic state, accidents, categorical analysis.*

Стаття надійшла до редакції 5.06.2018

Received 5.06.2018