

## ВИБІР МОДЕЛЕЙ СТРАТЕГІЇ ДІЙ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ

**Сабат В.І.**

д. т. н., професор, кафедра Мультимедійних видань  
Національного університету «Львівська політехніка

**Кугот В.О.**

аспірант, кафедра Мультимедійних видань  
Національного університету «Львівська політехніка

***Анотація.** Стаття присвячена розробці моделей оперативного управління складними ієрархічно структурованими системами в умовах загроз, пов'язаних із надзвичайними ситуаціями, дотримуючись стратегій цільового методу прийняття рішень у кризових ситуаціях.*

***Ключові слова:** МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ТЕОРІЯ ГРАФІВ, ІЄРАРХІЧНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, АГРЕГОВАНІ СТРУКТУРИ, НЕЧІТКІ МНОЖИНИ.*

### **Вступ**

Сьогодні, в умовах воєнних дій, зростає актуальність управління складними ієрархічними системами та об'єктами критичної інфраструктури. Оператор, який приймає рішення керуючись вибором стратегій дій у критичних ситуаціях в більшості випадків може допустити помилкове рішення, що в совою чергу може призвести до аварійних ситуацій та зупинки технологічного процесу виробництва. Тому виникає проблема автоматизації таких процесів де функції оператора зводяться до коригування тих чи інших дій в просторі станів систему управління.

Найбільш важливим елементом керування складними інтегрованими об'єктами в умовах ієрархічної організації процесу виробництва є узгодження технічного рівня управління зі стратегічним для прийняття рішень як операційних, так і на циклі термінального часу технологічного процесу. Основною проблемою такого системного стратегічного та технічного управління інтегрованими структурами (ІС) є побудова моделей і алгоритмів інтегрованого керування та планування дій для розв'язання цільових, поточних і кризових ситуацій. [1]

### **Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є вибір та розроблення моделей управління складними інтегрованими об'єктами ієрархічної системи виробництва в умовах дії активних атак та загроз.

- Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:
- дослідити проблемно орієнтовані моделі управління складними ієрархічними структурами і області їх використання в системі управління технологічним процесом;
  - проаналізувати математичний апарат на основі теорії графів і сіток Петрі для визначення параметрів та їхніх взаємозв'язків в процесі моделювання системи управління;
  - на основі процедур агрегування критеріїв важливості при розмитих множинах параметрів співставити їх з формальними зв'язками на нечітких множинах з використанням функцій належності;
  - дослідити способи представлення задач управління в ієрархічних системах автоматизованого управління та вибору стратегій дій в кризових ситуаціях за допомогою сіток Петрі;
  - розробити інформаційну технологію стратегії прийняття рішень оператором в кризових ситуаціях на основі функціональної схеми координуючого оперативного управління.

### Основна частина

В ієрархічних системах автоматизованого управління (ІАСУ) використовуються набори проблемно-орієнтованих моделей, які служать базисом структурної організації систем, що відповідно є основою опису поведінки системи в різних умовах та ситуаціях. Основні області використання моделей при організаційному управлінні наступні [2,3]:

- диспетчерське управління на основі сіткових моделей дій з причинно-наслідковими зв'язками;
- складення розкладів функціонування агрегованих об'єктів ІАСУ на основі цільових планів;
- дослідження режимів функціонування ІАСУ та процедур прийняття цільових рішень.

Моделювання процесів в режимі діалогу на основі сіток Петрі в реальному часі є ефективним засобом відображення динамічних ситуацій. При цьому фрагменту сітки активних дій ставиться сітка Петрі:

$$S_{\Pi} = \{P, T, F, W, M_0\}, \quad (1)$$

де  $P$  – множина елементів сітки, що визначає місце дії (O);

$T$  – множина переходів при зміні стану;

$F = (P \times TUT - P)$  – відношення інциденції місць переходів  $W: F \rightarrow N \setminus \{0\}$ ;

$M_0$  – функція початкової розмітки. Тоді граф сітки Петрі, який можна представити на рис. 1, та включає в себе такі елементи:

- $P_1, P_2, P_3$  – вхідні команди/параметри;
- $P_4$  – команда/параметр обробки;
- $P_5, P_6$  – вихідні команди/параметри.

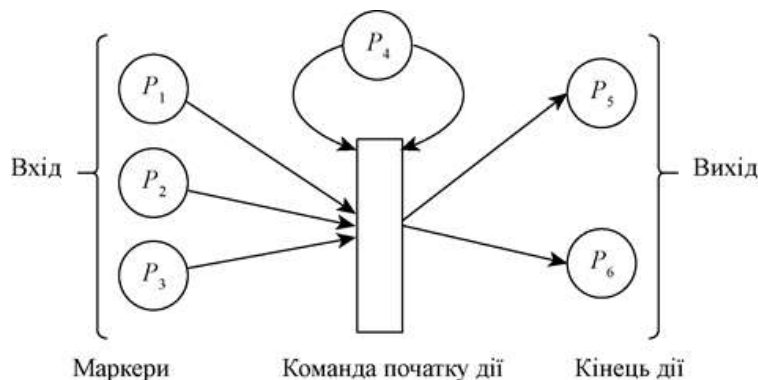


Рисунок 1 – Функціональна схема моделі графа дій, як елементарної сітки Петрі

Моделі зв'язків між рівнями ієрархії на основі процедури агрегування критеріїв важливості при розмитих множинах параметрів є визначальними для надійної комунікації та взаємодії між структурними елементами в ієрархії складної системи [4].

Представлення критеріїв різного рівня ієрархії у вигляді нечітких множин та формальні зв'язки агрегування можна співставити з формальними зв'язками на нечітких множинах на основі функцій належності у вигляді:

- $A = \{\mu_A(x) | \forall x \in X\}$  – нечітка множина;
- $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$  – функція належності.

Властивості характерні для моделей ІАСУ:

- $\forall (x_1, x_2) \in X : \mu_A(x_1) \langle \mu_A(x_2) \xrightarrow{Rang} x_2 \rangle x_1$ ;
- $\forall (x_1, x_2) \in X : \mu_A(x_1) \langle \mu_A(x_2) \xrightarrow{I_d} x_2 \rangle x_1$ ;
- $\mu : \langle X, S_1, S_2, \dots, S_n \rangle \rightarrow \langle [0, 1], T_1, \dots, T_n \rangle$ .

При цьому; *Rang* – порядок пріоритетів;  $I_d$  – оператор індиферентності (байдужості);  $S = \prod_{i=1}^n S_i \neq \emptyset$  – розбиття множини  $X$ ;  $\{T_i\}_{i=1}^n$  – розбиття інтервалу належності. В якості моделей агрегування при представленні критеріїв взаємозв'язків між рівнями ієрархії застосовують процедури з використанням нечітких множин. Правила агрегування функцій належності будуються на основі наступних моделей і процедур:

- агрегування на основі оператора мінімуму:

$$H_1 : \mu_\theta = \min(\mu_i), (A_1, \dots, A_n) \subset \theta \subset X, \quad (2)$$

де  $X$  – простір нечітких станів:

- агрегування на основі оператора максимуму:

$$H_2 : \mu_\theta = \max(\mu_i); \quad (3)$$

- агрегування на основі оператора вагового об'єднання функцій належності:

$$H_3 : \mu_\theta = (\prod_{i=1}^m \mu_i \cdot \delta_i). \quad (4)$$

Співвідношення (4) – це геометрична модель.

$$H_4 : \mu_\theta = (\prod_{i=1}^m \mu_i \cdot \delta_i)^{1-\gamma} \times (1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i) \delta_i)^\gamma. \quad (5)$$

Співвідношення (5) – це арифметична модель.

Розглянемо моделі поточних дій при умові виконання в реальному часі вимог технологічного процесу в режимі оперативного управління:

$$\forall \zeta : H_L[\varphi(\zeta_j, t) \in \Phi_j^d] \wedge \forall \zeta : H_L[\omega(\zeta_j, t) \in \Omega_d] \Rightarrow \gamma_{l,k}, \quad (6)$$

де  $\zeta$  – параметр технологічної оперативної дії;  
 $H_L[ ]$  – логічний предикат представлення ситуації;  
 $\varphi( )$  – функція параметра  $(l, k)$ ;  
 $\Phi_j^d( )$  – режим операційної дії;  
 $\omega, \Omega$  – множини параметрів попереднього стану.

Операція може виконуватись при наявності  $U_i$ , тоді дія  $L_{l,k}$  при наявних ресурсах справджується на основі виконання співвідношення:

$$\forall_n : H_L[P_{rn} \wedge 0]; H_L[\alpha_{l,k}] \wedge H_L[U_i] \Rightarrow \beta_i. \quad (7)$$

Тоді

$$\{\forall_n : H_L[P_{rn} \wedge 0], \exists U_i P_{rn}[U_i, t_i] \neq 0\} \Rightarrow \alpha_{l,k,n}. \quad (8)$$

Співвідношення (8) – це умова виконання дії з інтенсивністю  $\alpha$ .

Кінцевим результатом сітки послідовних дій є реалізація цільового завдання від початкового стану до кінця на основі відповідної інформації. В ІАСУ є три стандарти обчислювано-інформаційної компоненти: дані, знання (правила, процедури, ...) і механізми виводу [5, 6].

Знання в системі групуються на понятійні та предметні. Предметні знання є об'єктно-орієнтованими та відображають структуру і характеристики блоків та елементів ІАСУ [7]. Формою накопичення предметних знань є база даних, яка відображає ситуаційну модель ІАСУ. Правила з бази знань характеризуються програмою (алгоритмом) на основі правила продукції типу оператора [8]:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Якщо} \\ \text{умова} \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{То} \\ \text{дія} \end{array} \right], \quad (9)$$

при цьому правило (9) виконується, якщо виконані всі умови для реалізації дії.

Механізмами логічного виводу в системі управління для третьої компоненти інтелектуальної діяльності зазвичай виступають інтерпретатори правил продукції. Опис операцій в цьому випадку відображається, як правила продукції, реалізацією яких є послідовні дії системи. В ці правила закладають знання про стратегії дій, умови їх можливих реалізацій та алгоритми дій [9].

Виділяють два способи представлення задач управління в ІАСУ:

- планування в просторі станів системи (система продукцій);
- планування в просторі задач (система редукцій).

В системі продукцій простір пошуку рішення представляється у вигляді направленою локально-скінченною графу  $g = (X, \Gamma)$ , де вершина  $X$  проектується в простір станів системи  $\{X_i\} \rightarrow \text{ПС}_{DS}$ , а ребра  $\{r_i\}$  відображають досягнення координат стану  $X$ . Процедура розв'язання зводиться до знаходження мінімального шляху на графі  $g$  в напрямку від початкової до цільової координати на основі побудованого маршруту в результаті виконання послідовності дій. Наведемо типи графів дій на рис. 2.

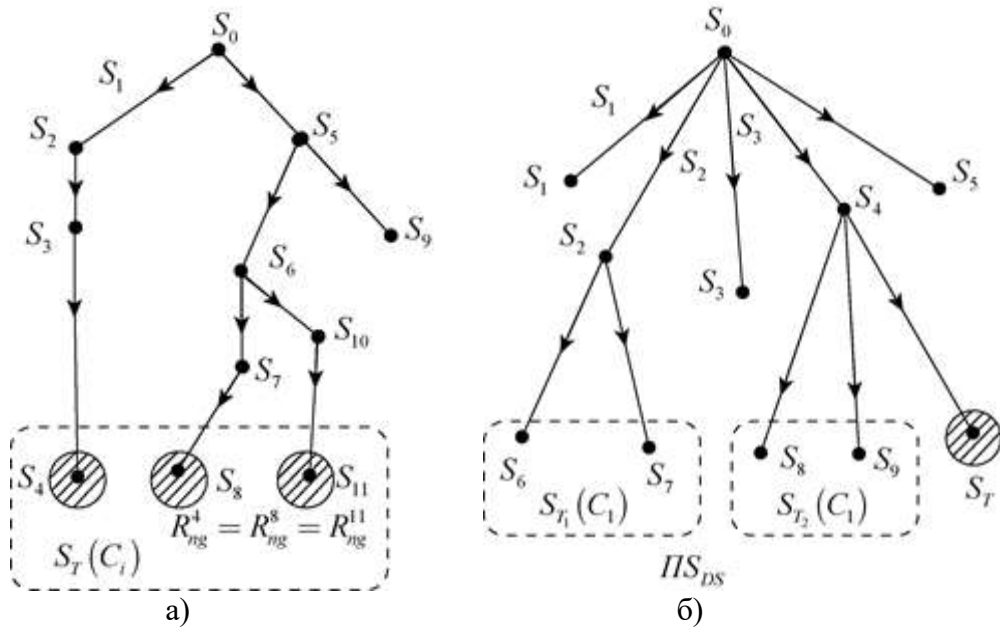


Рисунок 2 – Логічна структура графів дій: а) граф дії типу  $(\dot{U})$ ; б) Граф дії типу  $(\dot{U}/\dot{U})$

В системі редукції процес розв’язання задачі прийняття рішень полягає в декомпозиції вихідної задачі переводу системи з початкового стану в цільову систему підзадач до того рівня коли відомі аналогії їх розв’язання. Процедура декомпозиції наведена на рис. 3.

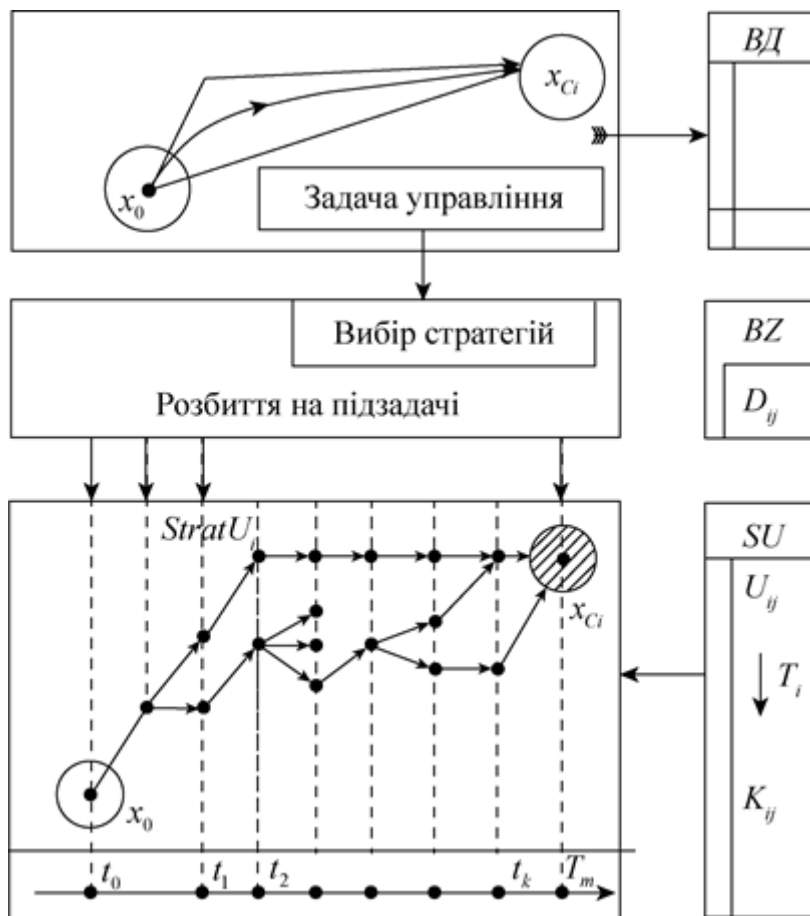


Рисунок 3 – Процедура декомпозиції вихідної задачі на акти дій

Для розв'язання задачі пошуку шляху на графі можна використати методи:

– метод прямої хвилі:

$$\exists g_i, \exists A \lg U_r^g (X_0 \rightarrow X_{ci});$$

де  $U_r^g$  – управління на графі  $g$ ;

$Strat U_n(g_i)$  – стратегія пошуку на графі;

– метод зворотної хвилі:  $\exists Strat U_n(g_i) : (X_{ci} \rightarrow X_0)$ .

Система управління побудови сітки дій на  $g$  повинна перевіряти при цьому умови виконання (операція  $\leftrightarrow$  дія) на ресурсне і інформаційне забезпечення:

$$\left\{ \exists \Omega_i = (\Omega_i^1 \wedge \Omega_i^2 \dots \Omega_i^4), \left| \hat{\Omega}_i \right| > 0 \right\} \Rightarrow \left( \exists Strat U (C_i / \Omega_i) : X_i \xrightarrow{\rho_{ij}} X_i \right). \quad (10)$$

Ланцюги прийняття рішень формуються відповідно на пріоритетних правилах з адитивною і мультиплікативною структурою:

$$PR_A = \sum_{i=1}^n W_i PR_i \quad (11)$$

$$PR_M = \prod_{i=1}^n (W_i PR_i) \equiv \left\{ PR_1 \xrightarrow{W_1} PR_2 \xrightarrow{W_2} \dots \xrightarrow{W_{n-1}} PR_n \right\}, \quad (12)$$

де  $W_i$  – вагова функція.

Вибір комбінацій пріоритетних правил формування ланцюга рішень і відповідних йому дій будується на основі схеми поданої на рис. 4.

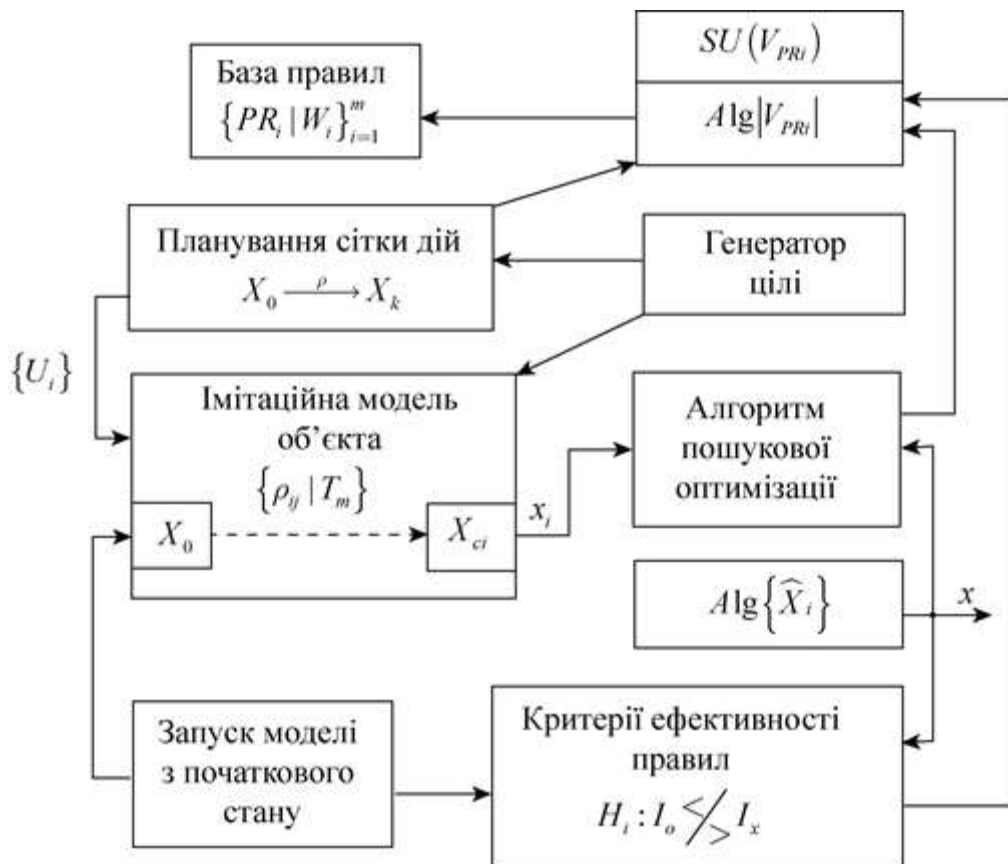


Рисунок 4 – Схема перевірки ефективності вибору правил пріоритетів при прийнятті рішень

Автоматизовані людино-машинні системи вимагають для свого функціонування додаткових координуючих структур в ієрархії управління диспетчерської служби оперативного управління ходом технологічних процесів в умовах нормального і аварійного режимів [10].

Функціональна схема такої інтегрованої системи наведена на рис. 5.

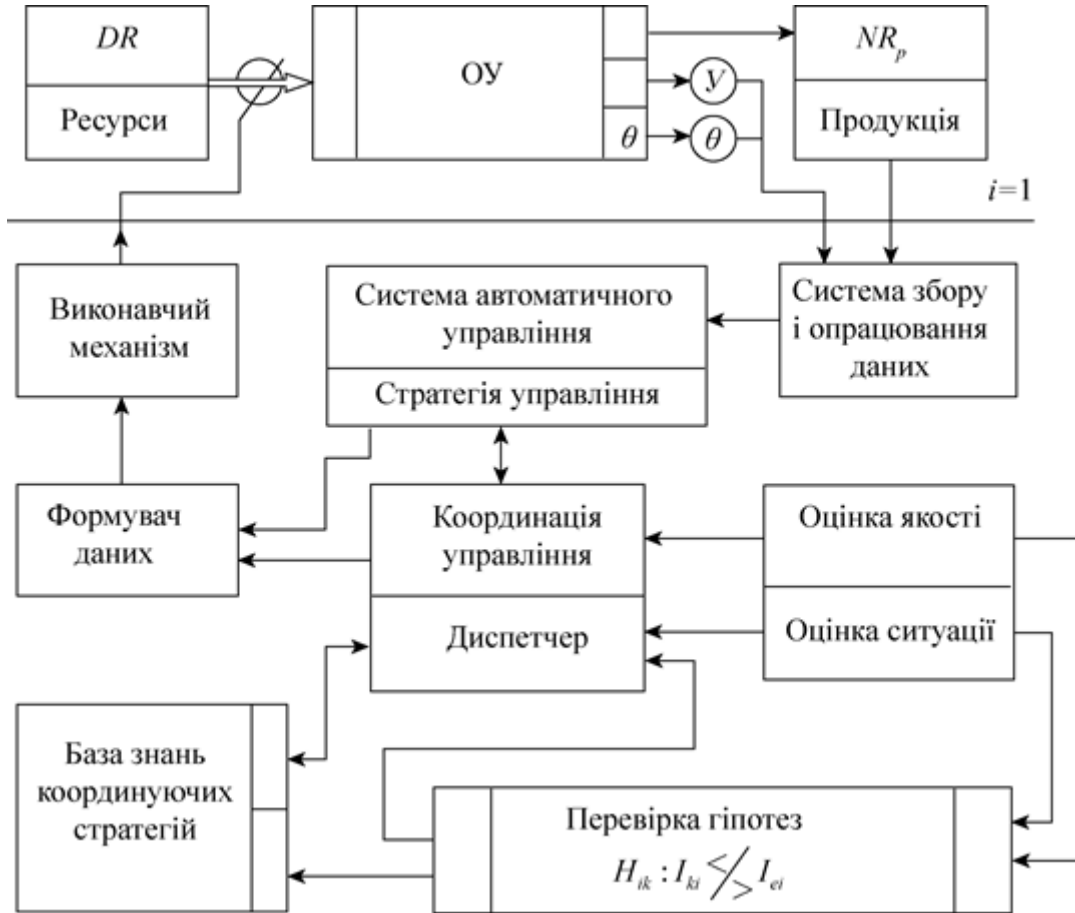


Рисунок 5 – Структурна схема координуючого управління з диспетчером

Інформаційна модель оперативного управління ІАСУ ґрунтується:

– на основі вхідного потоку даних одержаних ІВС і оператора формується представлення поточного стану системи в момент часу  $t + \Delta t_1$  :  $S(t + \Delta t_1) = W[S(t), \vec{X}, \vec{U}, \Delta t]$  та вихідного сигналу про динаміку процесу  $Y_1(t + \Delta t_1) = \Psi(\vec{X}, \vec{U}(t, \theta, \zeta), \Delta t)$ ;

– на основі потоку даних  $D_i(s(t_i + \tau), Y_i(t + \tau))$  в ІВС формується образ траєкторії поведінки системи згідно стратегії управління і плану  $PL$

$$\begin{aligned}
 \{D_{i,i-1}^k(\vec{X}, \vec{Y}, \hat{S})\} &\rightarrow \text{Alg } FO_{\bullet} \rightarrow \{\Pi_j(S_{it}Y/C_i)\}_{i=1}^m \\
 \{Strat^{T_k}(U_j/C_k)\}_{\tau} &\rightarrow \text{Alg } FO_{\bullet} \rightarrow \{\zeta(t_i) | P_{\zeta} \geq 0\} \\
 \{PL^{T_k}(Z_i/C_k)\} &\rightarrow \text{Alg } FO_{\bullet}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

згідно календарного часу  $T_k$  і термінального часу ( $T$ ) управління.

Потік даних про ситуацію на вхід управляючого процесора для перевірки гіпотез про траєкторію руху системи згідно цільового плану:

$$H_{i1} : \left\{ trend \left| \hat{Z}_s(t_j, \tau) \right| \subset V_{ci}(trend Z_s^E(T_m)) \right\} \Rightarrow (U_1, K_{1i}); \quad (14)$$

$$H_{i2} : \left\{ trend \left| \hat{Z}_s(t_j, \tau) \right| \not\subset V_{ci}(trend Z_s^E(T_m)) \right\} \Rightarrow (U_2, K_{2i}); \quad (15)$$

де  $V_{ci}()$  – цільова область руху системи.

Образна інформація про динамічну ситуацію передається за рахунок зорових сенсорів оператору, який згідно цільових завдань і плану професійної предметно-орієнтованої діяльності формує координацію управління [11]:

$$\begin{array}{l}
 \text{Alg}\{Strat(K_u|C_i, PL^n)\} \\
 \left\{ \begin{array}{l} gStrat(U/C_i) \\ LStrat(U/C_i) \\ LTakt(U_k/C_i) \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} H_{1i} : SitD_s^{Tm}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[E\,sit]; \\ H_{2i} : SitD_s^{Tm}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[K_\Delta\,sit]; \\ H_{3i} : SitD_s^{Tm}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[A\,sit]; \end{array} \right. \quad (17) \\
 \left. \text{Alg}_{Syn} K_u \{H_{1i}, H_{2i}, H_{3i}\} \rightarrow Koor(Strat(U/C_i)) \right.
 \end{array}$$

де  $Sit D_s^{Tm}(\vec{X}, \vec{Y}|t)$  – динамічна ситуація в системі по оцінках вхідних і вихідних сигналів в момент часу  $t \in T_m$  відносно терміну функціонування;

$K_u$  – координаційне управління оператора;

$KL[E\,sit]$  – клас еталонних ситуацій;

$KL[K_\Delta\,sit]$  – клас ситуацій, що вимагає командної корекції;

$KL[A\,sit]$  – клас передаварійних і аварійних ситуацій;

$Alg_{Syn} K_u \{ \}$  – алгоритм синтезу координаційної стратегії управління  $Koor(Strat(U/C_i))$ .

Виконавчий орган згідно управлінь сформованих на основі процедури перевірки гіпотез  $\{H_{1i}, H_{2i}, H_{3i}\}$  виконує керуючу дію на режим і потік об'єкта. Оператор вносить корективи в блок процесора координації планів, а також може виконати ручне управління виконавчим механізмом.

В оперативному управлінні можливі два режими (стратегії) управління функціями ІАСУ [12] (рис. 6):

– слідкуючий режим за рухом системи по заданій траєкторії згідно календарного плану і цілеорієнтації;

– адаптивно-оптимізаційне коригування планів у випадку загроз і протидій, що викликають необхідність зміни поведінки для забезпечення гарантованого досягнення цільової області.

При цьому достатність оперативного диспетчерського управління визначається рівнем інтелектуальних рішень і ресурсами, які забезпечують координаційні дії на компенсацію збурень і загроз в ІАСУ.

Алгоритмічність управління означає можливість (здатність інтелекту) побудови оператором алгоритмів і процедур вибору адекватної стратегії дій на основі достатньої інформації одержаної з допомогою ІВС від об'єкта її опрацювання у вигляді образної моделі динамічної ситуації в системі.

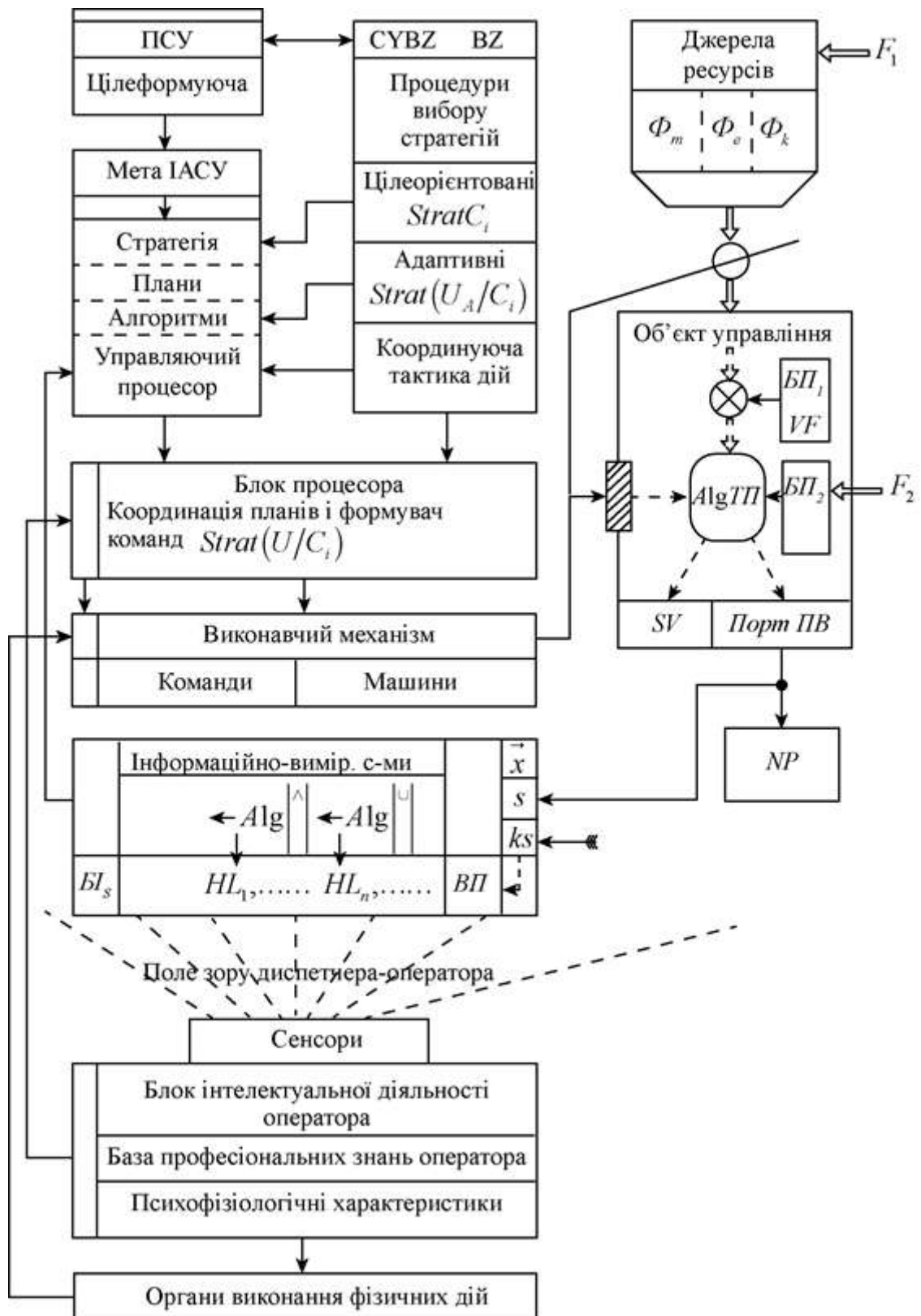


Рисунок 6 – Функціональна схема координуючого оперативного управління

Алгоритмізація управління включає [13]:

- відбір даних різного роду;
- виявлення і оцінка параметрів  $T, P$ ;
- ідентифікація траєкторій стану;
- верифікація і розпізнавання класу загроз;
- формування, розпізнавання, класифікація образів динамічних ситуацій;
- побудова процедур вибору алгоритмів формування управляючих дій і команд;

команд;

- оцінка руху системи відносно планових завдань на термінальному і календарному інтервалах часу;
- оцінка втрат при ризикованих рішеннях.
- Вибір траєкторій руху до цілі системи ґрунтується на:
  - наявності схеми, карти технологічного руху;
  - процедури і моделі прийняття цільових рішень;
  - забезпечення конструктивної інформації;
  - забезпечення засобами аналізу і опрацювання ситуаційних даних.

Вимога несуперечності прийняття рішень оператором ґрунтується на [14]:

- рівні профорієнтації і знань;
- відповідному до задач рівні інтелекту;
- здатності забезпечити нейрофізіологічну і психологічну стійкість;
- швидка орієнтація в ситуації і побудова адекватних її моделей прийняття рішень і поведінкових дій;
- аналізі причинно-наслідкових зв'язків, що провокуються змінами в системі дії збурень і загроз;
- динамічному прогнозі змін ситуації.

Для формування вимог до оператора відносно інтелекту і психофізіологічних властивостей необхідно сформулювати класи цільових функцій, як по управлінню траєкторним рухом системи, так і функціоналом якості управління.

$$1. P_{ij}^A \left( H_i: trend \mid \hat{Z}_s(t \in T_m) \subset V_c(Z_s^E(T_k)) \right) \leq 1; \quad (18)$$

$$2. F_j(C_s/U_{Ti}) = \sum_{s=1}^m E_i - \sum_{r=1}^m W_i R(\zeta, U/t \in T_m); \quad (19)$$

$$3. I_i (Strat U_i/C_s) \geq I(PL_u(T_k)), \quad (20)$$

де  $I()$  – функціонали якості;

$F_j()$  – цільова функція реалізована  $i$ -м оператором;

$P_{ij}^A$  – імовірність реалізації оператором  $A$  цільової задачі управління.

## Висновки

В результаті виконаних в роботі досліджень, які базуються на математичних моделях використання сіток Петрі, як складових компонентів процедур при формуванні стратегій на основі інформаційних концепцій прийняття цільових рішень, є ефективним методом забезпечення стійкості та стабільності роботи системи в умовах потенційних ризиків та загроз. Практична реалізація та використання таких моделей, при побудові структури прийняття рішень для ієрархічних автоматизованих систем управління, забезпечує можливість аналізу, класифікації та опрацювання вхідних та вихідних задач в реальному часі, вирішуючи їх автономно або звертаючи на них увагу оператора, який наглядає за процесом роботи системи.

Запропонована в роботі концепція вибору моделей стратегій дій для оператора, який приймає рішення в кризових ситуаціях добре себе зарекомендувала для проблемно-орієнтованих систем, ієрархічних техногенних структур в умовах дії загроз та негативних факторів на систему управління. Розроблена інформаційна технологія на основі наведеної функціональної схеми координуючого оперативного управління також може бути використана для поліграфічних підприємств зі складною ієрархічною структурою і організацією управління.

### Список літератури.

1. Сікора, Л. С. (1998). Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах. Каменяр.
2. Бобало, Ю. Я., Горбатий, І.В., & Бондарев, А. П. (2019). Інформаційна безпека. Львівський політехнічний університет.
3. Хорошко, В. О., Брайловський, М. М., & Капустян, М. М. (2023). Багатокритеріальна оцінка правильності прийняття рішень у задачах інформаційної безпеки. Міжнародний науковий журнал "Комп'ютерні системи та інформаційні технології".
4. Sabat, V., Durnyak, B., Kulylnych, M., Lozynskyi, Yu., & Hibey, P. (2024). Decision-making support of emergency risk identification in complex hierarchical control systems. ICyberPhyS-2024. (p. 223–238). <https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper17.pdf>. ISSN 16130073.
5. Kobozeva, A. A., Machalin, A. A., & Khoroshko, V. O. (2010). Security analysis of information systems. DUIKT.
6. Vasylenko, V. O., & Shostka, V.T. (2003). Situational management. KTSUL.
7. Vertuzaeв, M. S., & Yurchenko, O.M. (2001). Protection of information in computer systems against unauthorized access. European university.
8. Boolos, J., & Jeffrey, R. (1994). Computability and logic. Mir.
9. Hrytsunov, O. V. (2010). Information systems and technologies: teaching manual for students studying "Transport technology". KhNAMG.
10. Sergienko, I. V. (1985). Mathematical models and methods of solving discrete optimization problems. Naukova dumka.
11. Androshchuk, G. A., & Krainev, P. P. (2000). Economic security of the enterprise: protection of trade secrets. In Yure.
12. Tymchenko, A. A. (2000). Fundamentals of system design and system analysis of complex objects. Lybid.
13. Ushakova, I. O., Plekhanova, G.O. (2009). Information systems and technologies at the enterprise. Ed. Khneu.
14. Durnyak, B. V., Sikora, L.S., Sabat, V. I., & Kuhot, V. O. (2023). Analysis of authority management systems in automated document management systems. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія. (с. 5-20). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».