

Динамічне оперативне керування гнучкою виробничою системою в умовах невизначеності



Дьяков Сергій Олександрович

Науковий керівник:

Ямпольський Леонід Стефанович

Ієрархія рівнів та задач керування ГВС



Гнучка виробнича система – це система, що являє собою сукупність різних комбінацій обладнання з числовим програмним керуванням (роботизованих технологічних комплексів, виробничих модулів або іншого технологічного устаткування) і систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, що має здатність автоматизовано переналагоджуватися на виробництво виробів довільної номенклатури у заданих межах значень їх характеристик.

Структурно-функціональний аналіз системи оперативного управління ГВС

Основні функції системи оперативного управління ГВС в умовах невизначеності:

$$\Phi_{\text{COY}} \rightarrow \{\Phi_{\text{OP}}, \Phi_{\text{OKOH}}, \Phi_{\text{OKOP}}, \Phi_{\text{OD}}\}, \quad \text{де:}$$

- Φ_{OP} – функція оперативного планування;
- Φ_{OKOH} – функція оперативного контролю;
- Φ_{OKOP} – функція оперативної корекції;
- Φ_{OD} – функція оперативної диспетчеризації.

Узагальнюючі показники системи оперативного управління в умовах невизначеності:

$$R_{\text{ВДП}} = \{R_{\text{OP}}, R_{\text{OKOH}}, R_{\text{OKOP}}, R_{\text{OD}}\}, \quad \text{де:}$$

- R_{OP} – *показник оперативного планування* передбачає визначення ступеня повноти оперативного плану, основних критеріїв його ефективності та механізмів їх досягнення;
- R_{OKOH} – *показник оперативного контролю* передбачає визначення моменту здійснення процесу контролю та прийняття рішення про необхідність перепланування оперативної роботи виробничої системи;
- R_{OKOP} – *показник оперативної корекції* передбачає визначення обсягу змін, що вносяться до початкового або попередньо визначеного плану;
- R_{OD} – *показник оперативної диспетчеризації* передбачає визначення основних алгоритмів утворення керуючого впливу для своєчасного обслуговування транспортними модулями задач транспортування від оброблювальних ресурсів.

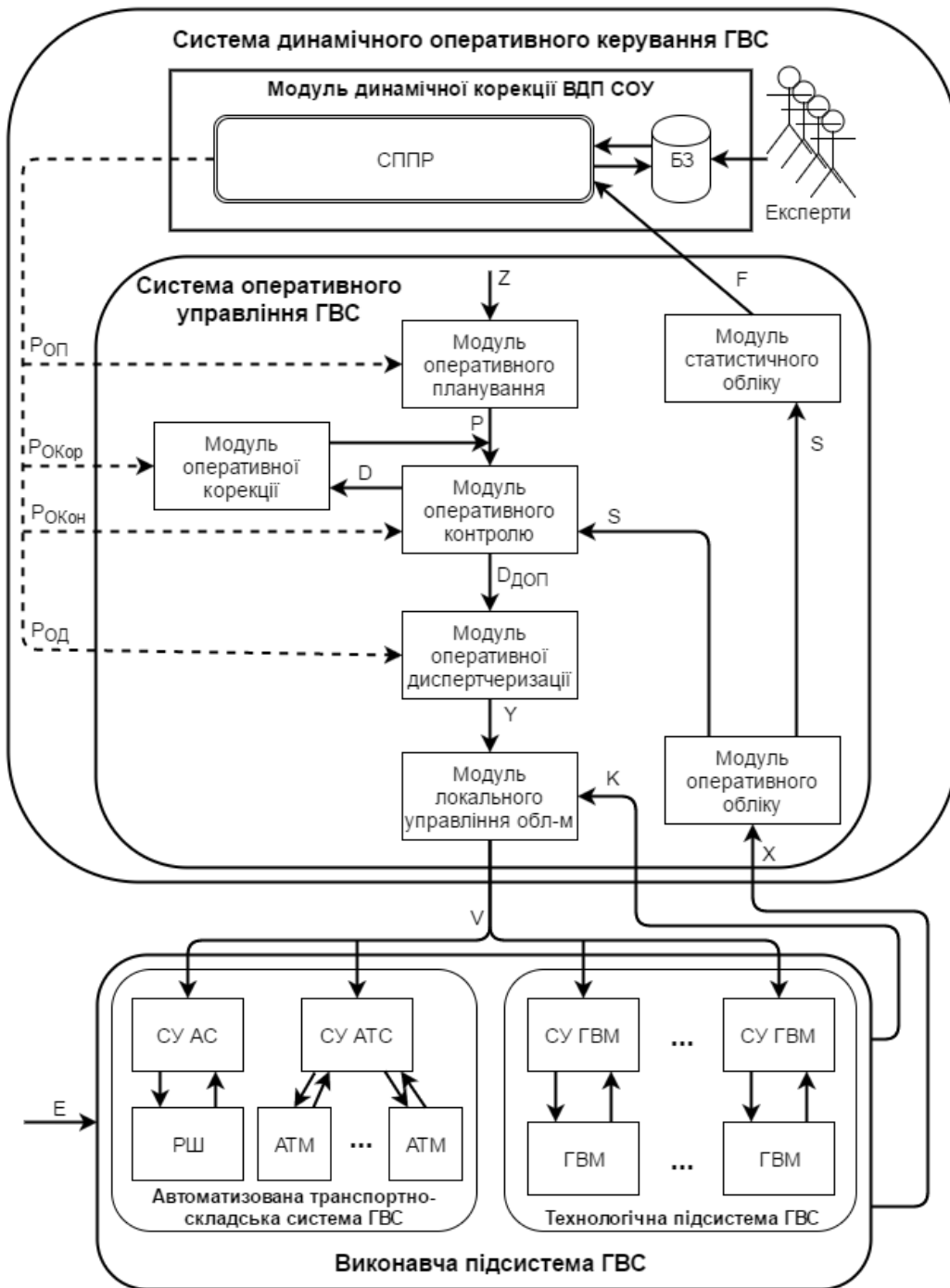
Формалізація задачі динамічного оперативного керування

Динамічне оперативне керування (ДОК) ГВС – це процес налаштування на етапах підготовки та функціонування гнучкої виробничої системи таких значень *вирішальних динамічних показників*, що здатні задовольнити поточні вимоги та обмеження ГВС (ВО ГВС).

Вирішальні динамічні показники (ВДП) СОУ – такі показники, що безпосередньо впливають на здійснення процесу оперативного управління виробництвом в реальному часі в умовах невизначеності.

$$D: p = P_{\text{СОУ}_i} : \{ \Phi_{\text{ОП}} \vee \Phi_{\text{ОКон}} \vee \Phi_{\text{ОКор}} \vee \Phi_{\text{ОД}} \} \times L \times U$$

- p – набір значень показників СОУ із множини $P_{\text{СОУ}}$;
- $\{ \Phi_{\text{ОП}} \vee \Phi_{\text{ОКон}} \vee \Phi_{\text{ОКор}} \vee \Phi_{\text{ОД}} \}$ – функціональні можливості СОУ;
- L – вимоги та обмеження конкретної ГВС;
- U – можливі типи невизначеностей, що характерні даним ГВС.



Структура системи динамічного оперативного керування ГВС

- Z – виробниче завдання;
- P – календарний план;
- S – стан усього комплексу устаткування;
- E – збуджуючий вплив;
- D – відхилення від планових термінів завершення технологічних операцій;
- D_{доп} – локальні резерви часу виконання технологічних операцій;
- Y – керуючі завдання;
- V – мікрокоманди на виконання елементарних операцій;
- K – сигнал зворотного зв'язку від обладнання;
- X – інформація про завершення виконання завдання Y;
- F – інформація про стан усього комплексу устаткування;
- P_{оп} – показник оперативного планування;
- P_{окон} – показник оперативного контролю;
- P_{окор} – показник оперативної корекції;
- P_{од} – показник оперативної диспетчеризації;
- СУ АС – система управління автоматизованим складом;
- СУ АТС – система управління автономним транспортним модулем;
- СУ ГВМ – система управління гнучким виробничим модулем.

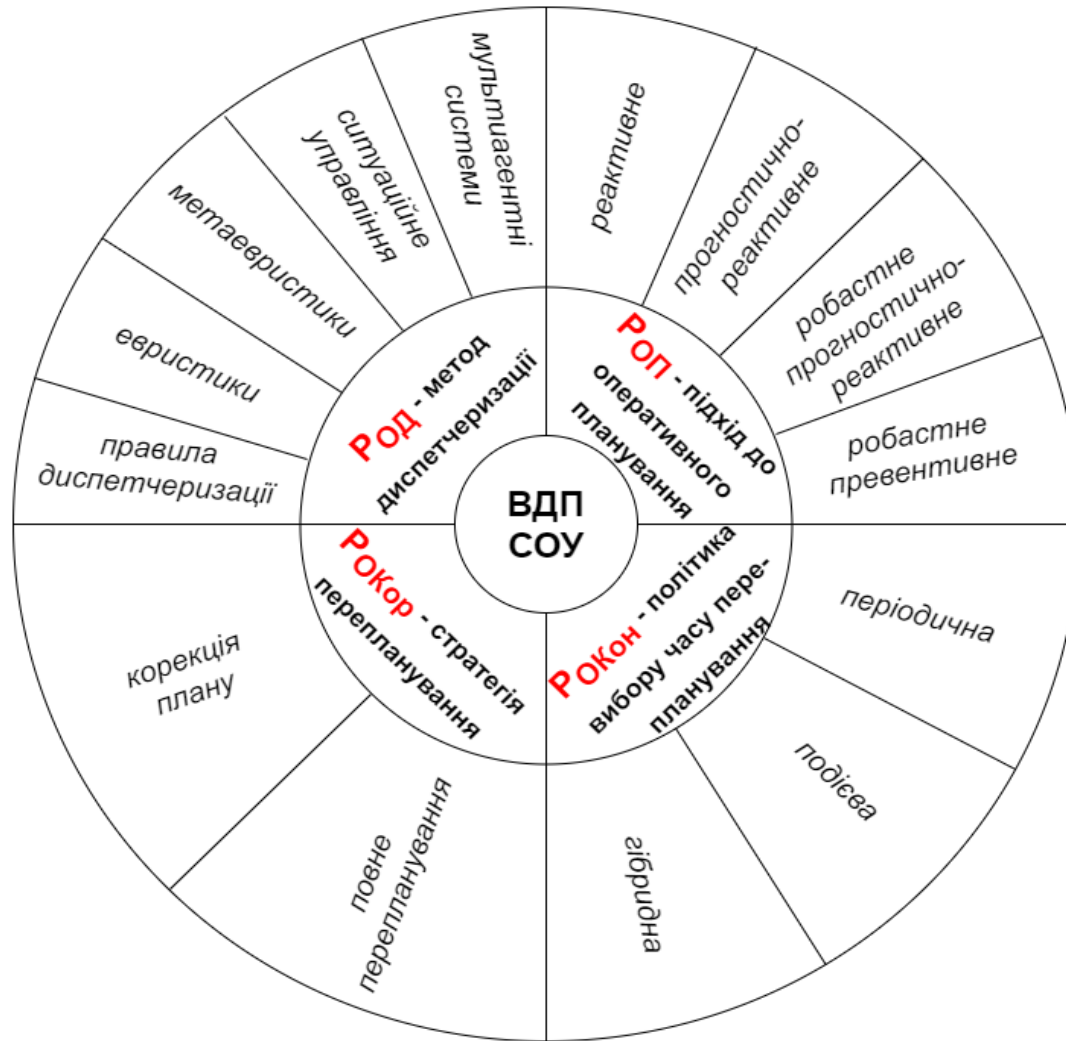
МЕТА РОБОТИ

підвищення ефективності роботи гнучкої виробничої системи шляхом збільшення рівня автоматизації процесів налаштування та функціонування складових системи оперативного управління.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. На основі структурно-функціонального аналізу роботи СОУ ГВС створити формалізовану модель процесу динамічного оперативного керування та синтезувати структуру системи динамічного оперативного керування (СДОК).
2. Створити класифікатор вирішальних динамічних показників СОУ.
3. Дослідити ГВС щодо можливих типів невизначених ситуацій, які можуть виникати у процесі функціонування.
4. Визначити логічну послідовність здійснення процесу вибору раціональних значень із класифікатора ВДП, за яких можливе адекватне обслуговування вимог та обмежень ГВС.
5. Синтезувати узагальнену концептуальну модель СОУ на основі створеної логічної послідовності налаштування вирішальних динамічних показників.
6. Обґрунтувати вибір методів прийняття рішень щодо визначення раціональних значень ВДП СОУ у процесі ДОК.
7. Розробити підхід до автоматизації процесу ДОК на основі обраних методів прийняття рішень в умовах невизначеності.
8. Створити алгоритмічне та програмне забезпечення СДОК на основі розробленого підходу у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).
9. Провести експериментальні дослідження та порівняти за обраними критеріями ефективності результати роботи СДОК для ГВС з різними значеннями показників.

Класифікатор вирішальних динамічних показників СОУ ГВС



- $R_{Op} \rightarrow$ Підхід до оперативного планування: реактивне; прогностично-реактивне; робастне прогностично-реактивне; робастне превентивне.
- $R_{OKon} \rightarrow$ Політика вибору часу перепланування: періодична; подієва; гібридна.
- $R_{OKor} \rightarrow$ Стратегія перепланування: повне перепланування; корекція плану.
- $R_{Od} \rightarrow$ Метод оперативної диспетчеризації: правила диспетчеризації; евристики; метаевристики; ситуаційне управління; мультиагентні системи.

Вимоги до процесу ДОК з боку ГВС

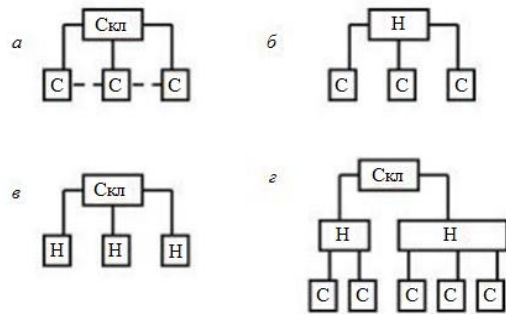
- *Невизначеності (випадкові збурення)* – події в реальному часі, які виникають у процесі функціонування системи можуть змінити її стан та/або впливають на її продуктивність.

Тип невизначеності	Невизначеність	Тип системи управління
Пов'язані з ресурсами	<i>несправність машини</i>	COУ
	<i>помилка оператора</i>	COУ
	<i>відсутність або несправність інструмента</i>	COУ, АСАУ
	<i>ліміти завантаження</i>	COУ, АСАУ
	<i>затримки у доставці матеріалів</i>	COУ, АСАУ
	<i>дефектність матеріалу</i>	COУ
Пов'язані з операціями	<i>термінові операції</i>	COУ
	<i>відміна операцій</i>	COУ
	<i>зміни терміну виконання</i>	COУ
	<i>невчасне надходження операцій</i>	COУ
	<i>зміна пріоритету операцій</i>	COУ
	<i>зміна тривалості виконання операцій</i>	COУ

Розглянуті обмеження процесу ДОК з боку ГВС

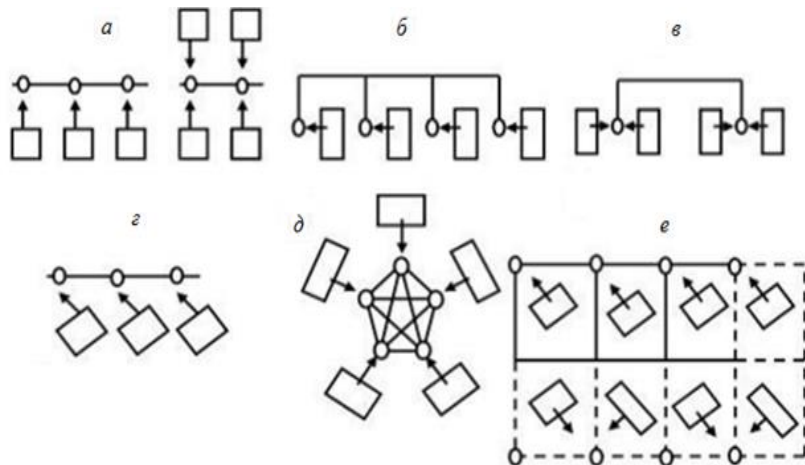
1. Компонувальні структури (схеми) ГВС:

- За типами організації матеріальних потоків:



- з централізованим складом;
- з проміжним накопичувачем;
- з комбінованою структурою.

- За взаємним розташуванням виробничих та обслуговувальних зон:



- фронтальна;
- поперечна;
- дипольна;
- кутова;
- кругова
- комбінована.

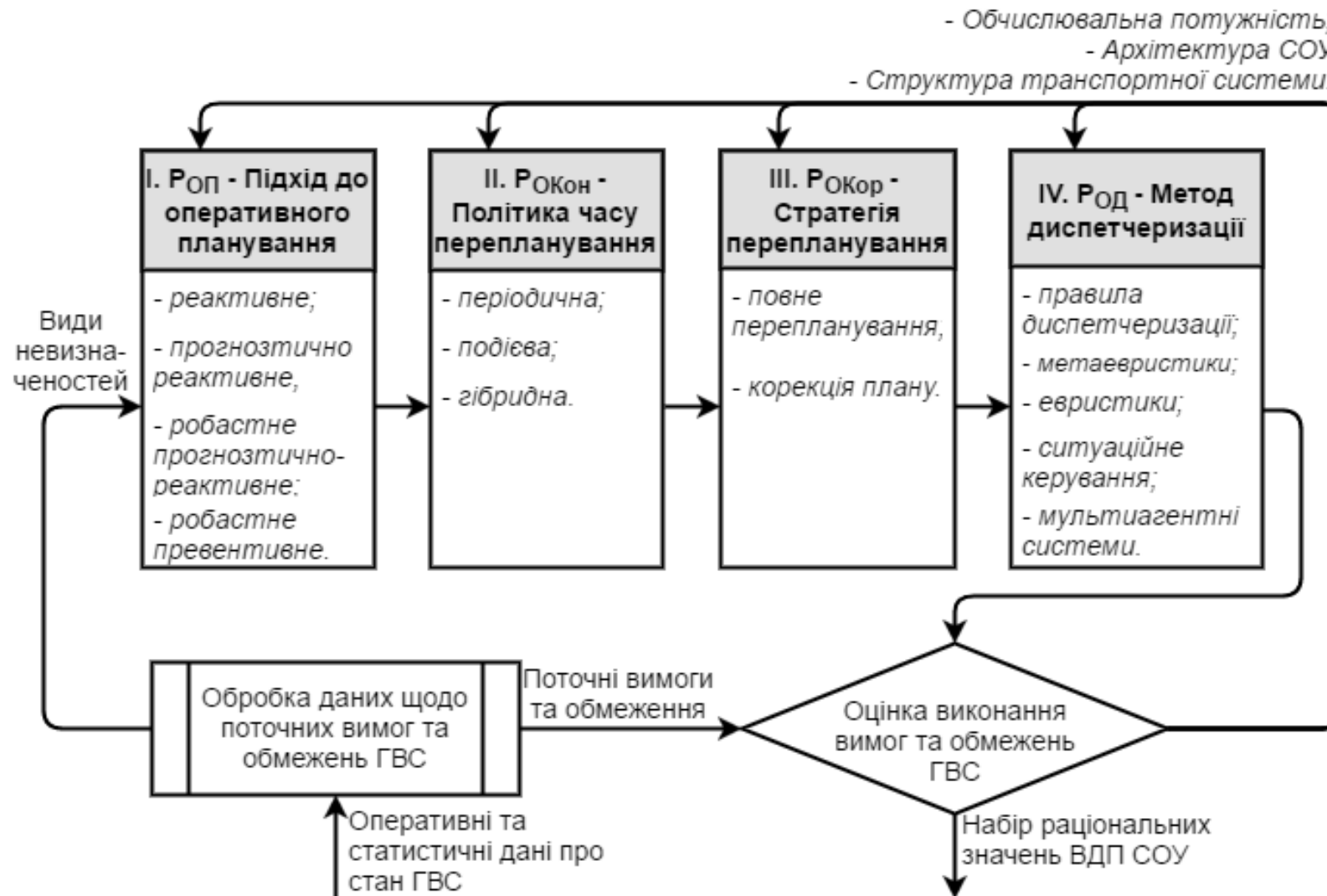
2. Обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ:

- низька;
- середня;
- висока.

3. Архітектури СОУ:

- централізовані;
- розподілені (окрім мультиагентних);
- мультиагентні (автономні та медіаторні).

Побудова логічної послідовності налаштування вирішальних динамічних показників СОУ



Концептуальна модель системи оперативного управління ГВС на основі Ф-функції

Загальна **Ф-функція** будь-якого виробничого процесу являє собою відповідність, що може бути записано декартовим добутком:

$$\Phi_{ВП} \subset \{M, E, I\} \times T \times V \times K$$

- об'єкти праці:
 - **М** – матеріали;
 - **Е** – енергія;
 - **І** – інформація;
- **В** – способи впливу на об'єкти праці;
- **Т** – моменти часу впливу;
- **К** – просторовими координатами об'єктів праці.

Концептуальною моделлю СОУ як об'єкта динамічного оперативного керування є **Ф_{соу}-функція**, що подається декартовим добутком множин:

$$\Phi_{СОУ} \subset ВН \times \underset{ДОК}{П} \times \underset{ДОК}{С} \times \underset{ДОК}{ПЧ} \times \underset{ДОК}{М}$$

- **ВН** – види невизначеностей;
- **П** – підходи до перепланування;
- **С** – стратегія перепланування;
- **ПЧ** – політика вбору часу перепланування;
- **М** – метод перепланування.

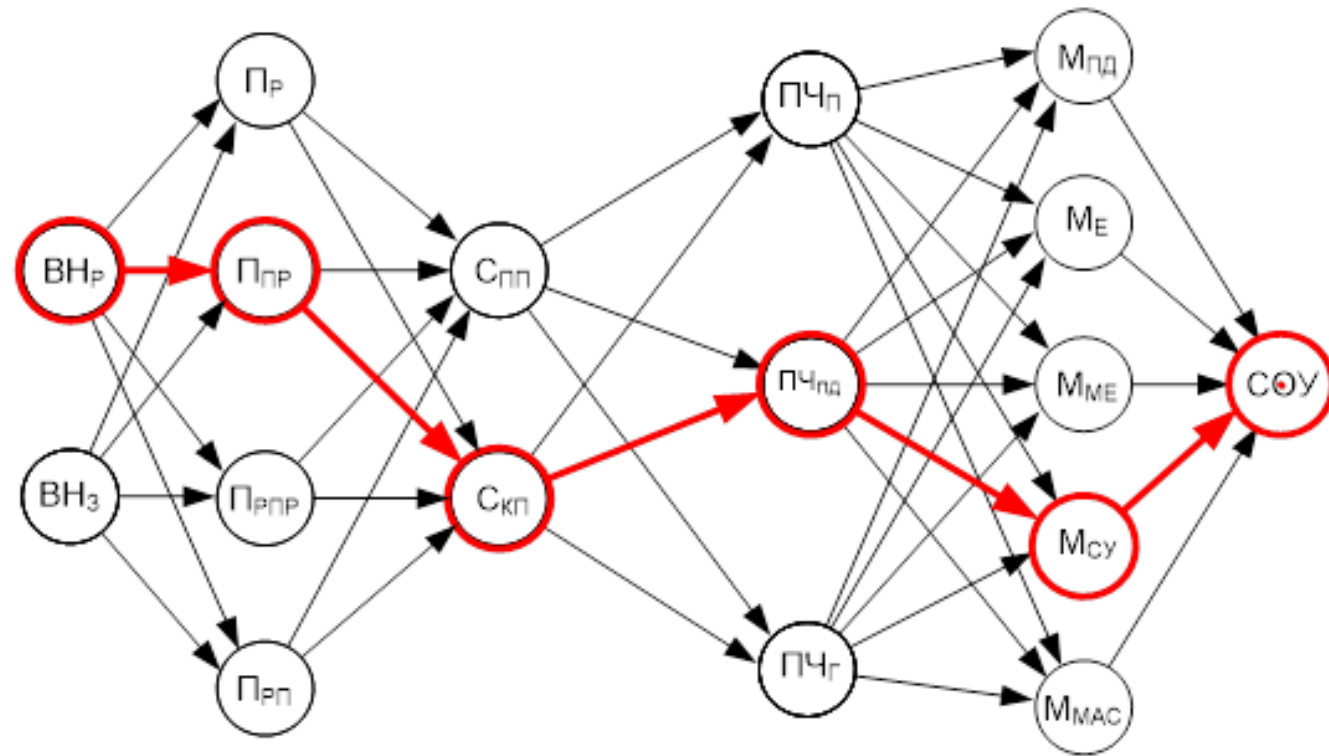
Повний функціональний оргграф процесу вибору значень ВДП СОУ

Послідовність реалізацій $\Phi_{\text{СОУ}}$ -функції може бути представлена **повним функціональним оргграфом**, що являє собою нижній ієрархічний рівень подання функцій СОУ.

Оптимальна траєкторія tr_{opt} руху – слід у послідовності етапів вибору значень ВДП СОУ, що визначається перетином складових моделей СОУ з максимальними показниками відповідності до ВОГВС на кожному з етапів.

$$\text{СОУ} \rightarrow tr_{\text{опт. ум.}} \subset \text{ВН}_p \times \text{П}_{\text{пр}} \times \text{С}_{\text{кп}} \times \text{ПЧ}_{\text{пд}} \times \text{М}_{\text{су}}$$

- ВН – види невизначеностей (ВН_p – пов'язані з ресурсами, ВН_3 – з задачами);
- П – підходи до перепланування (П_p – реактивний, $\text{П}_{\text{пр}}$ – прогностично-реактивний, $\text{П}_{\text{рпр}}$ – робастний прогностично-реактивний, $\text{П}_{\text{рп}}$ – робастний превентивний);
- С – стратегія перепланування ($\text{С}_{\text{пп}}$ – повне перепланування, $\text{С}_{\text{кп}}$ – корекція плану);
- ПЧ – політика вбору часу перепланування ($\text{ПЧ}_{\text{п}}$ – періодична, $\text{ПЧ}_{\text{пд}}$ – подієва, $\text{ПЧ}_{\text{г}}$ – гібридна);
- М – метод перепланування ($\text{М}_{\text{пд}}$ – правила диспетчеризації, М_E – евристики, $\text{М}_{\text{МЕ}}$ – метоевристики, $\text{М}_{\text{су}}$ – ситуаційне управління, $\text{М}_{\text{МАС}}$ – мультиагентні системи).



Формування узагальненої моделі вибору вирішальних динамічних показників СОУ



- **1-й етап** – визначення реляційних відношень між окремими компонентами розробленої концептуальної моделі;
- **2-й етап** – кількісне визначення вагомості реляційних зв'язків між визначальними класифікаційними ознаками і реалізується експертним рейтинговим оцінюванням альтернативних варіантів з використанням методів ранжування і попарних порівнянь.

Визначенні вагомості реляційних зв'язків між вирішальними динамічними показниками СОУ

При залученні експертів було проведено опитування оцінок ефективності поєднання значень вирішальних динамічних показників наведеними методами із визначенням степенів узгодженості (1 – експерти дають однакові оцінки, 0 – думки експертів неузгоджені):

Метод ранжування:

$$w = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \text{ де:}$$

$$S = \sum_{j=1}^n d_j^2, \quad d_j = 0,5m(n+1) - \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\omega = 0,85$$

Метод парних порівнянь:

$$\gamma = \frac{2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{b_{ij}}^2}{C_m^2 C_n^2} - 1, \text{ де:}$$

$$C_v^r = \frac{v!}{r!(v-r)!} - \text{число } v \text{ поєднань по } r$$

$$\gamma = 0,78$$

Мультиагентний підхід до автоматизації динамічного оперативного керування



Агент:

$AG = (S, A, env, I, refine, action)$, де

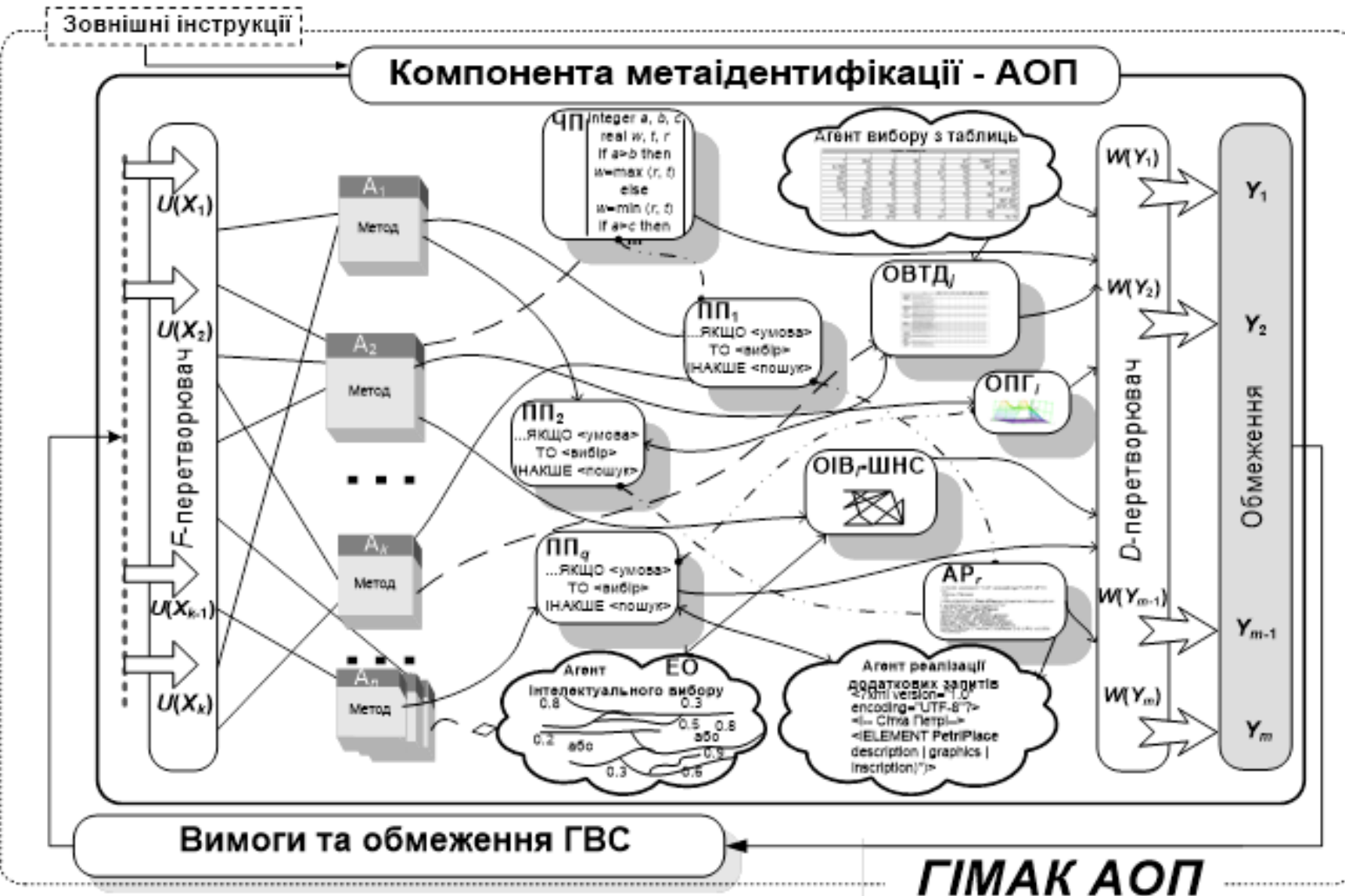
- S – непорожня скінченна множина станів зовнішнього середовища;
- A – непорожня скінченна множина дій агента;
- $env: S \times A \rightarrow 2S$ – функція поведінки зовнішнього середовища;
- I – непорожня скінченна множина внутрішніх станів агента;
- $refine: I \times S \rightarrow I$ – функція оновлення стану, що зіставляє попередньому внутрішньому стану і новому стану зовнішнього середовища новий внутрішній стан агента;
- $action: I \rightarrow A$ – функція прийняття рішення, що зіставляє поточному внутрішньому стану агента деяку дію.

Мультиагентна система:

$MAS = (S, AG, env)$, де

- S – кінцева множина станів зовнішнього середовища;
- $AG = \{ag1, \dots, agn\}$ – скінченна множина агентів;
- $env: S \times A_{ag1} \times \dots \times A_{agn} \rightarrow 2S$ – функція, що описує можливу реакцію зовнішнього середовища на дії агентів системи.

Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація



Мультиагентна структура:

Множина $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ зв'язаних між собою ФСІА;

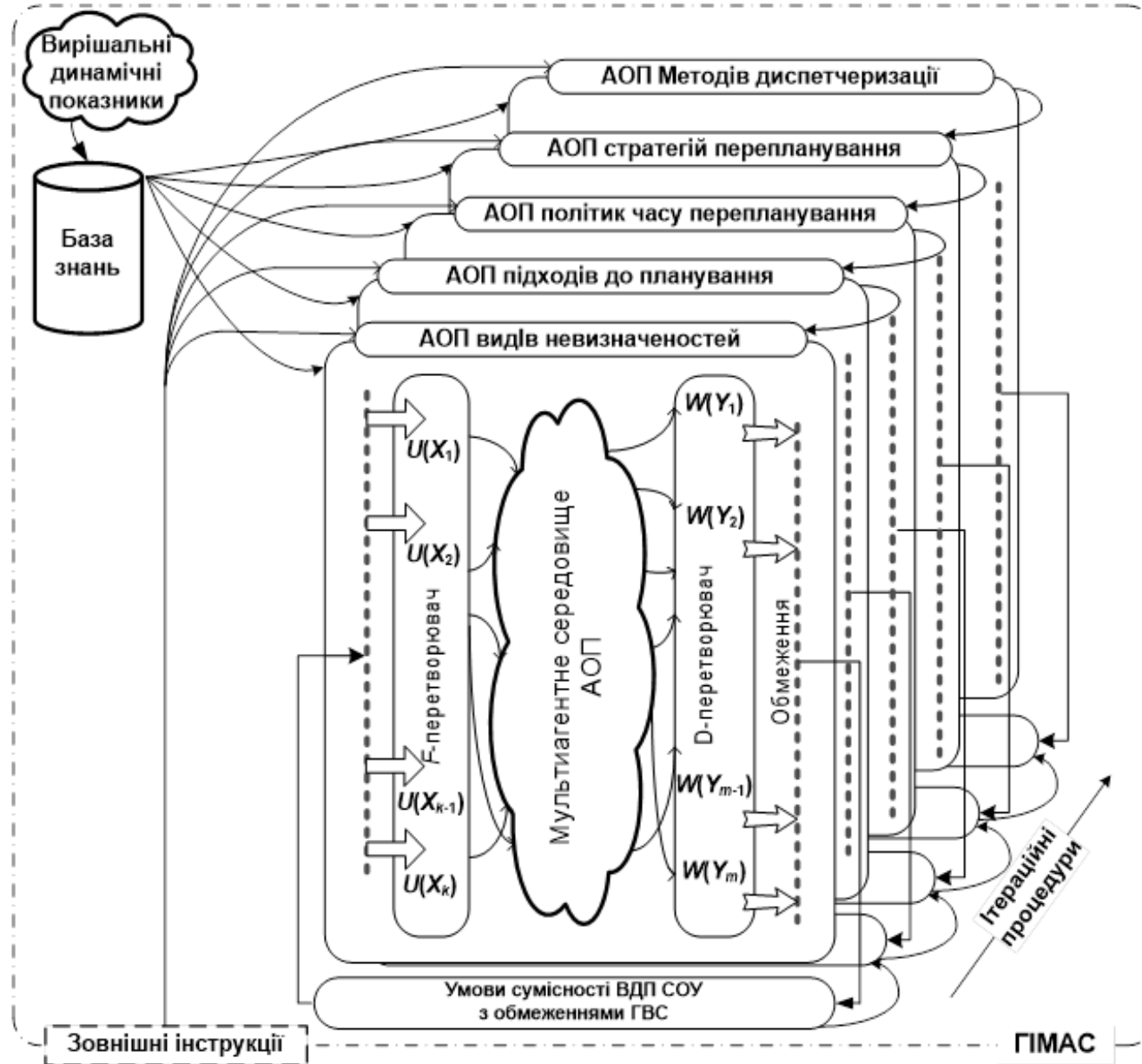
Фазі-перетворювач:

Трансформує множину
 $U^{(x)} = \{U(X_1), \dots, U(X_k)\}$ значень
 вхідних змінних
 $X = \{X_1, \dots, X_k\}$, що відображають
 вимоги і обмеження ГВС
 у множину факторів
 $F^{(x)} = \{F_1^{(x)}, \dots, F_l^{(x)}\}$, заданих на
 значеннях вхідних змінних з
 визначеними експертами ступенями
 приналежності $C^{(x)} = \{C_1^{(x)}, \dots, C_l^{(x)}\}$.

Дефазі-перетворювач:

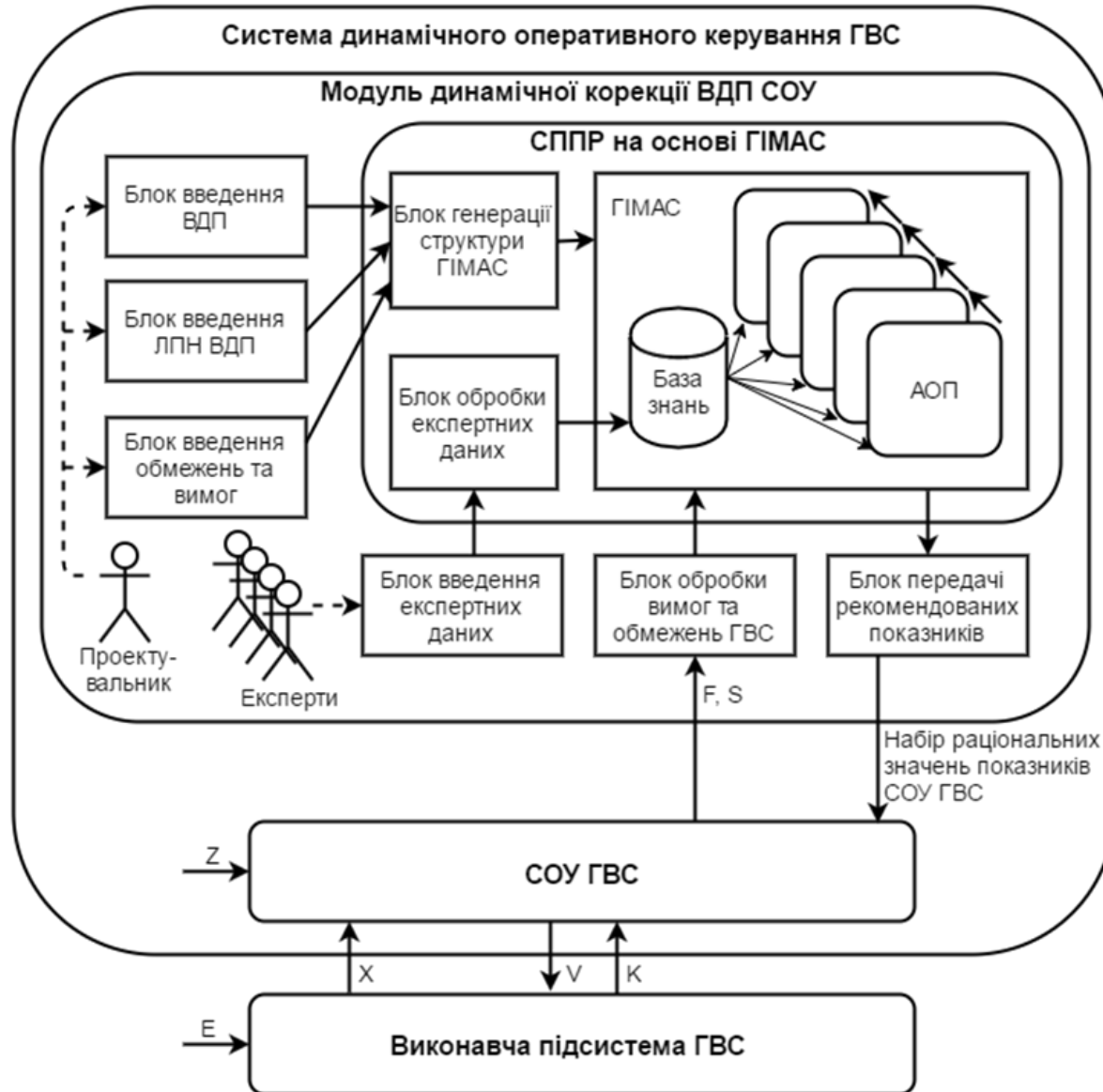
Трансформує множину факторів $F^{(y)} = \{F_1^{(y)}, \dots, F_p^{(y)}\}$ і визначених експертами ступенів приналежності $C^{(y)} = \{C_1^{(y)}, \dots, C_p^{(y)}\}$ у множину $W^{(y)} = \{W(Y_1), \dots, W(Y_k)\}$ значень умов сумісності $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ поточної моделі СОУ із заданим на вході набором вимог та обмежень ГВС. 17

Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система



Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується логічна послідовність налаштування вирішальних динамічних показників СОУ з такою послідовністю їх перебирання в просторі набору вирішальних динамічних показників, яка, будучи виконувана користувачем і/або внутрішнім ініціюючим джерелом, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити модель/моделі СОУ, здатні задовольнити вимоги та обмеження ГВС.

Система підтримки прийняття рішень на основі ГІМАС як основа системи динамічного оперативного керування ГВС



Задачі СППР:

- автоматизація процесу синтезу структури ГІМАС за заданими складовими та обмеженнями;
- інтелектуалізований вибір значень показників об'єкта динамічного керування, шляхом перебирання ІА умов виконання критеріїв обслуговуваності поточним вектором можливостей наявних вимог та обмежень;
- використання експертних знань, в тому числі у нечіткій формі, із забезпеченням механізмів фазифікації, дефазифікації та нечіткого виведення;
- передача результатів роботи до суміжних підсистем в уніфікованому форматі;
- забезпечення зручного та наочного відображення інформації кінцевому користувачу у вигляді графічного інтерфейсу;
- можливість підключення додаткових модулів для розширення функціональності системи.

Алгоритми роботи СППР на основі ГІМАС

Алгоритм налаштування системи (синтезу структури ГІМАС):

1. Додавання користувачем вирішальних динамічних показників синтезованої системи та наборів їх значень, що утворюють класифікатор.
2. Задавання користувачем послідовності налаштування класифікаційних ознак згідно із ЛПН ВДП.
3. Додавання користувачем додаткових обмежень, що можуть накладатися на будь-якому етапі відповідно до ЛПН ВДП.
4. Введення користувачем отриманих від експертів даних щодо кількісного визначення вагомості реляційних зв'язків між визначальними класифікаційними ознаками та обмеженнями, а також їх обробка методами експертного рейтингового оцінювання альтернативних варіантів.
5. Автоматична генерація структури ГІМАС та ініціалізація АОП з усіма необхідними для функціонування ФСІА для кожної класифікаційної ознаки та, за наявності, кожного обмеження.
6. Зберігання структури та налаштувань системи для повторного використання.

Алгоритм використання системи для знаходження значень вирішальних динамічних показників об'єкта керування:

1. Введення користувачем або зчитування з заданої інформаційної підсистеми значень показників та обмежень, що є входними згідно з ЛПН.
2. Реалізація ітераційної процедури ДОК, для вибору значень ВДП, що найкращим чином задовольняють входним значенням та обмеженням.
3. Виведення результату у зручній для користувача графічній формі.

Імітаційне моделювання роботи ГВС із системою динамічного оперативного керування

1. Задавання значень вимог та обмежень для тестових ГВС:
 - а) обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ;
 - б) архітектура СОУ;
 - с) структурно-компонувальна схема;
 - д) матриця часу переміщень АТМ;
 - е) властиві види невизначеностей для ГВС.
2. Ініціалізація СППР вибору значень показників СОУ на основі ГІМАС та налаштування усіх необхідних компонентів.
3. Визначення значень показників СОУ для обраних тестових ГВС за допомогою синтезованої ГІМАС.
4. Розробка моделі ГВС з обраним методом динамічного керування.
5. Розв'язання тестових задач на основі наборів технологічних операцій, що можуть бути виконані на тестових ГВС.
6. Вибір критеріїв оптимальності та інтерпретація отриманих результатів.

Визначення вимог та обмежень тестових ГВС

1. Обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ:

- висока.

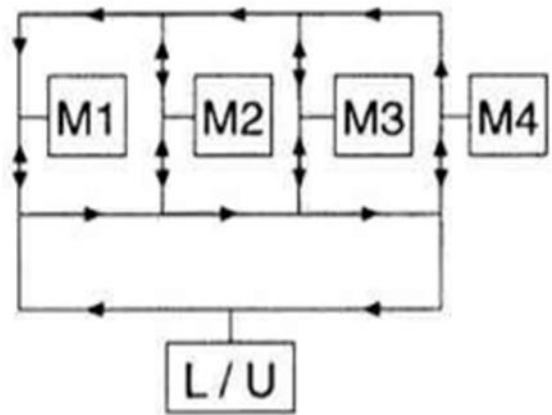
2. Архітектура СОУ:

- централізована.

4. Невизначеності характерні для ГВС:

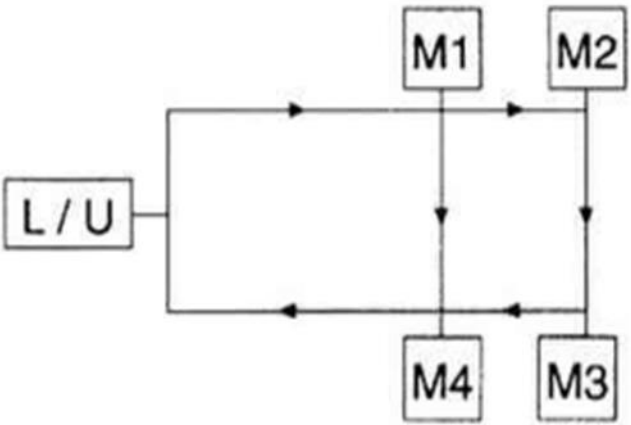
- невизначеності, що пов'язані з ресурсами (несправність автономних транспортних модулів;

3. Структурно компонентні схеми:



Структура 1

Час	L/U	M1	M2	M3	M4
L/U	0	6	8	10	12
M1	12	0	6	8	10
M2	10	6	0	6	8
M3	8	8	6	0	6
M4	6	10	8	6	0

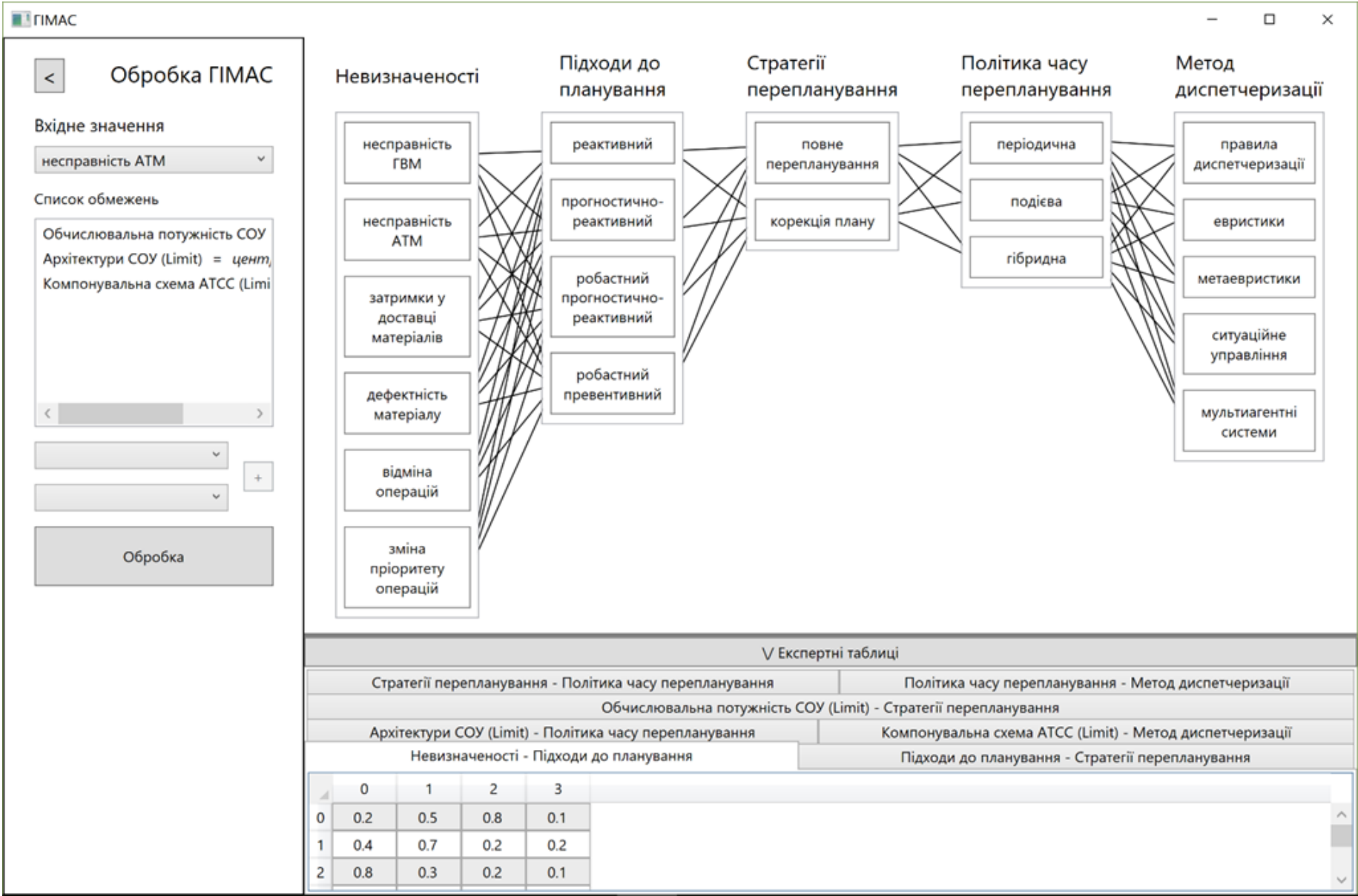


Структура 2

Час	L/U	M1	M2	M3	M4
L/U	0	4	6	8	6
M1	6	0	2	4	2
M2	8	12	0	2	4
M3	6	10	12	0	2
M4	4	8	10	12	0

M1 – ГВМ токарних операцій; M2 – ГВМ свердлильних операцій;
M3 – ГВМ фрезерувальних операцій; M4 – ГВМ штампувальних операцій;

Програмний комплекс СППР на основі ГІМАС



Результати роботи СППР

Підхід до динамічного керування:

- *прогностично-реактивний.*

Стратегія динамічного керування:

- *корекція плану.*

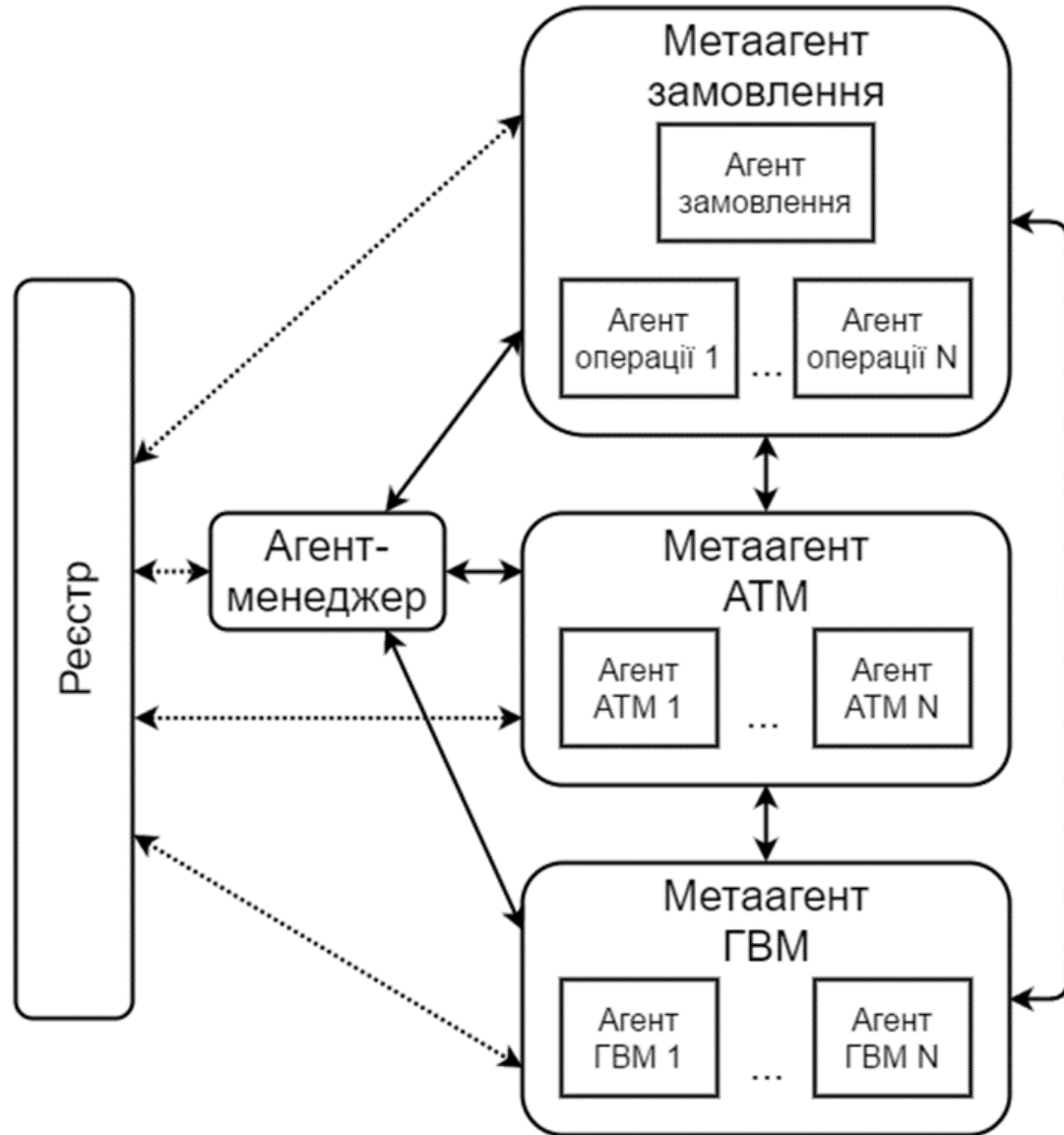
Політика вибору часу переplanування:

- *подієва.*

Метод диспетчеризації:

- *метод на основі мультиагентних систем.*

Модель ГВС з методом оперативної диспетчеризації на основі мультиагентної системи



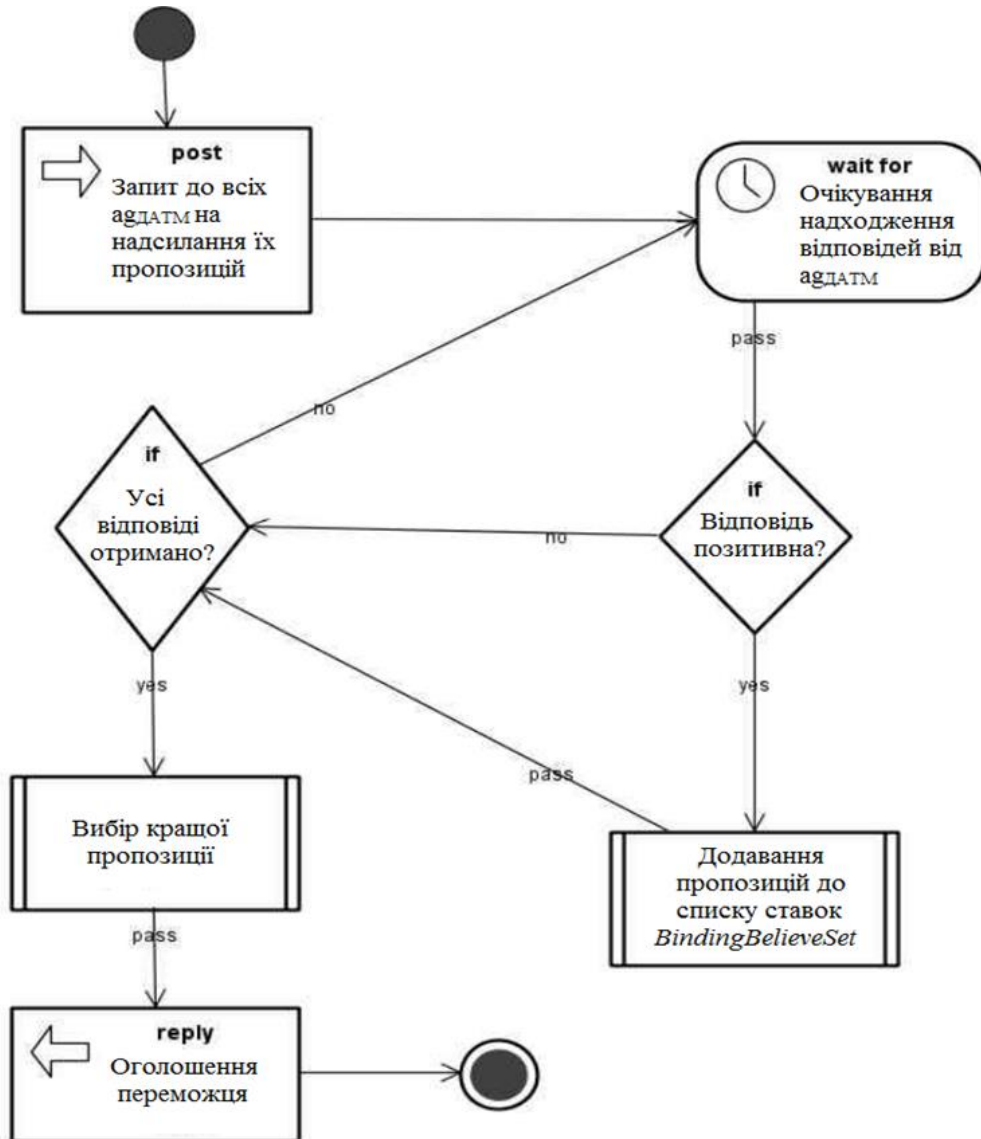
Мультиагентна модель ГВС:

$$MAS_{ГВС} = \{ag_M \times ag_{ATM}^* \times ag_{ГВМ}^* \times ag_3^*, S, env\},$$

де:

- ag_M – агент-менеджер;
- ag_{ATM}^* – метаагент системи АТМ:
 - $ag_{ДАТМ}$ – агент диспетчеризації АТМ;
 - $ag_{РАТМ}$ – агент ресурсів АТМ;
- $ag_{ГВМ}^*$ – метаагент системи ГВМ:
 - $ag_{ДГВМ}$ – агент диспетчеризації ГВМ;
 - $ag_{ДГВМ}$ – агент ресурсів ГВМ;
- ag_3^* – метаагент системи замовлення:
 - $ag_O - ag_N$ – агенти операцій.

Метод оперативної диспетчеризації на основі МАС: Розподіл задач транспортування з використанням CNet



Кожен агент диспетчеризації АТМ формує пропозицію на виконання задачі із робочого списку з найближчим часом початку:

$$ELT_i = \min \{ELT_i\}.$$

$$ELT_i = \begin{cases} t + \Delta t(CL, PCP_i), t > EPT_i \\ t + \max\{\Delta t(CL, PCP_i), (EPT_i - t)\}, t \leq EPT_i \end{cases}$$

де:

ELT_i — найближчий час початку опрацювання задачі i ;

CL — поточне розташування АТМ;

PCP_i — розташування точки початку обробки задачі i ;

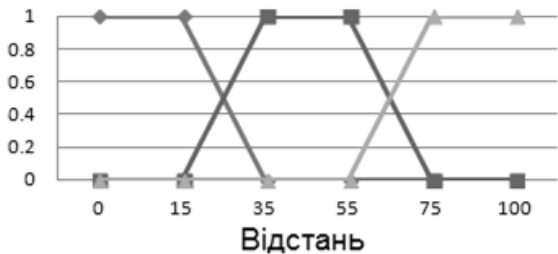
t — поточний момент часу;

$\Delta t(..., ...)$ — час переміщення між двома точками;

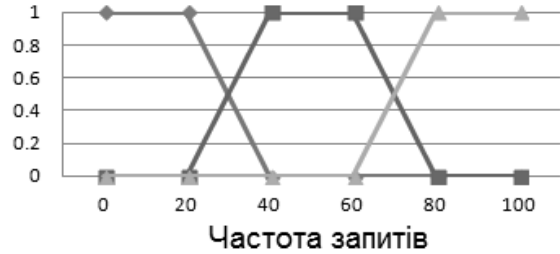
EPT_i — найближчий час можливого початку обробки задачі i .

Метод оперативної диспетчеризації на основі МАС: Розподіл задач транспортування з використанням СНВ

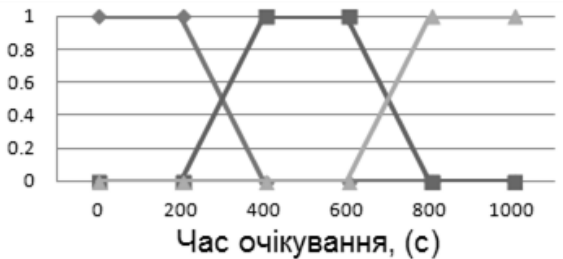
- Кожен *агент диспетчеризації АТМ* обирає на виконання задачу із робочого списку із найвищим пріоритетом, який визначає за допомогою **системи нечіткого виведення (СНВ)**:
- **3 вхідні змінні**: Відстань ($X1 = \{\text{Далеко, Середня, Близько}\}$), Час очікування ($X2 = \{\text{Короткий, Середній, Довгий}\}$), Частота запитів ($X3 = \{\text{Низька, Середня, Висока}\}$);
 - **1 вихідна змінна**: Пріоритет ($Y1 = \{\text{Низький, Середньо низький, Середній, Середньо високий, Високий}\}$);
 - **Продукційні правила** (зведені в таблицю), що мають вигляд: Якщо відстань "далеко" і час очікування "короткий" і частота запитів "висока", то пріоритет "низький".



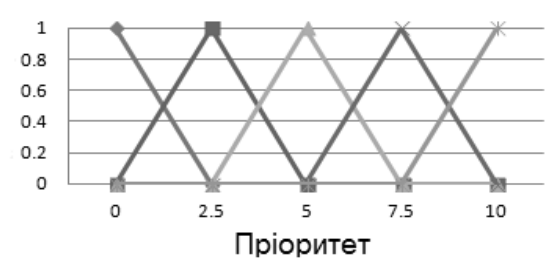
a



b



c



d

№	Відстань	Час очікування	Частота запитів	Пріоритет
1	Далеко	Короткий	Висока	Низький
2	Далеко	Короткий	Середня	Середньо низький
3	Далеко	Короткий	Низька	Середній
4	Далеко	Середній	Висока	Низький
5	Далеко	Середній	Середня	Низький
...
25	Близько	Довгий	Висока	Середній
26	Близько	Довгий	Середня	Високий
27	Близько	Довгий	Низька	Високий

Порівняльний аналіз результатів моделювання роботи ГВС зі значеннями вирішальних динамічних показників СОУ налаштованих за допомогою СДОК

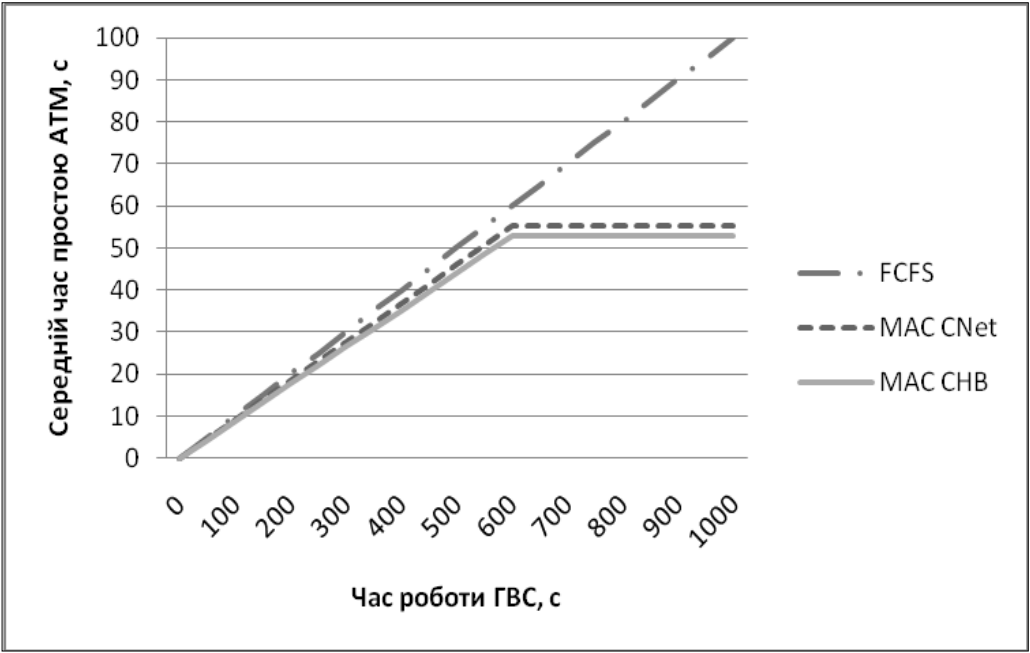
1. Результати з використанням обраного за допомогою СДОК методу на основі *MAC* порівняно з класичними правилами диспетчеризації: *MFCFS* (*Modified First-Come-First-Served*), *STD* (*Shortest traveling distance*), *STT* (*Shortest traveling time*).

Критерій продуктивності ГВС: *період обробки*.

Приклад	MAS	MFCFS	STD	STT	Зменшення періоду обробки, %
1-1	118	121	114	132	3.19
1-2	131	150	135	148	9.04
1-3	130	126	126	132	-1.61
1-4	186	198	208	225	11.32
2-1	86	98	92	106	12.54
2-2	74	106	92	102	25.73
2-3	102	104	104	104	1.92
2-4	117	143	139	167	21.32

2. Результати з використанням обраного за допомогою СДОК методу на основі *MAC* (з використанням *CNet*) порівняно з запропонованим вдосконаленим методом на основі *MAC* (з використанням *CHB*) та класичним правилом диспетчеризації *FCFS* (*First-Come-First-Served*).

Критерій продуктивності ГВС: *середній час простою АТМ*.



Висновки

1. На основі проведеного структурно-функціонального аналізу СОУ ГВС, що включав визначення основних функцій, відповідних модулів та узагальнених показників роботи в умовах невизначеності, було створено формалізовану модель процесу ДОК. Це дозволило синтезувати структуру системи динамічного оперативного керування (СДОК), у якій СОУ є об'єктом керування. Для здійснення динамічного керування СОУ вперше запропоновано включити модуль корекції ВДП СОУ, що на основі даних оперативного та статистичного обліку дозволяє підвищити ефективність роботи шляхом вибору раціональних значень ВДП для налаштування відповідних модулів.
2. При розробці інформаційного забезпечення процесу розв'язання задачі автоматизації процесу ДОК, на основі отриманої формалізованої моделі та узагальнених показників ДОК, було створено класифікатор вирішальних динамічних показників СОУ та їх можливих значень. Класифікатор включає наступні показники: підхід до оперативного планування, стратегія перепланування, політика вибору часу перепланування та метод диспетчеризації. На основі отриманого класифікатора було побудовано логічну послідовність налаштування ВДП, що дозволяє вирішити задачу формування коректної черговості ітераційних процедур при здійсненні автоматизованого ДОК.
3. Створено концептуальну модель СОУ як об'єкта керування на основі Ф-функції. Така формалізація дає змогу визначати склад та закономірності організації окремих компонентів в єдину систему при здійсненні ДОК. Представлено отриману модель у вигляді повного функціонального орграфа СОУ, що дозволяє встановлювати відповідність множини складових процесів динамічного керування, що відбувається у просторових координатах СОУ у відповідні часові інтервали.
4. Результати аналізу особливостей задачі автоматизованого ДОК вказують на її багатоваріантність, слабку формалізованість зв'язків її компонентів, наявність елементів нечіткості, що разом із відсутністю існуючих ефективних моделей дозволяє зробити висновок про необхідність використання сучасних інтелектуальних технологій. Зокрема було обґрунтовано застосування, наступних методів: нечітке логічне виведення, експертні системи, інтелектуалізовані агенти та мультиагентні системи.
5. Було розроблено підхід до автоматизації динамічного оперативного керування, що дозволяє шляхом багатоітераційного перебирання значень ВДП із використанням побудованої концептуальної моделі обрати такі з них, які здатні адекватно задовольняти властивостям та обмеженням певної ГВС. Запропонований підхід до автоматизації відрізняється створенням строгої узагальненої моделі вибору СОУ, що базується на гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігураціях агентно-орієнтованих підсистем для кожної властивості.

Висновки

6. Створено алгоритмічне та програмне забезпечення СДОК у вигляді системи підтримки прийняття рішень, яка дозволяє розв'язувати задачі проектування або налагодження систем управління ГВС, у процесі професійної діяльності проектувальника чи оператора. Даний програмний комплекс, на відміну від існуючих, дозволяє у зручній формі поєднувати використання мультиагентних систем та нечіткої логіки та надає можливість практичного використання у якості СППР з можливістю перенаправлення керуючих впливів до відповідних модулів ОК.
7. Запропоновано вдосконалення мультиагентного методу оперативної диспетчеризації ГВС шляхом використання системи нечіткого виведення на основі розробленої бази правил. Це дозволяє агентам транспортних модулів самостійно визначати пріоритет обрання завдання на транспортне обслуговування. Даний підхід, на відміну від існуючого підходу на основі міжагентної комунікації за протоколом CNet, дозволяє агентам приймати рішення не чекаючи відповіді решти агентів.
8. Результати моделювання роботи СДОК та вирішення експериментальних задач демонструють, що СОУ, налаштована рекомендованими системою оперативного динамічного керування значеннями показників, показала вищу продуктивність за обраними критеріями: тривалість періоду обробки – на 10,4% та середній час очікування – на 12%. Отримані результати дозволяють зробити висновки про перспективність застосування СДОК, що містить СППР на основі ГІМАС для налаштування значень показників системи оперативного управління.
9. Запропонований у роботі підхід до динамічного оперативного керування носить узагальнюючий характер та може бути застосований для динамічного корегування показників оперативного управління об'єктами різної природи. Для реалізації цього підходу мають бути виконані етапи, що докладно викладені у роботі, зокрема: визначення набору вирішальних динамічних показників ОК, створення класифікатору ВДП та логічної послідовності налаштування їх значень, визначення вимог та обмежень щодо ОК і середовища його функціонування, побудова узагальненої моделі ОК, визначення кількісних значень реляційних зв'язків між показниками та обмеженнями ОК (наприклад, на основі експертних методів), застосування розроблених алгоритмів з синтезу та безпосереднього використання гнучкого інтелектуалізованого мультиагентного середовища для вибору раціональних значень НДП.

НАУКОВА НОВИЗНА

- Вперше запропоновано використовувати класифікатор показників системи оперативного управління, які безпосередньо впливають на керування ГВС в умовах невизначеності, як основне джерело знань при автоматизації інтелектуалізованого процесу налаштування їх значень;
- Вперше розроблено мультиагентний підхід до автоматизації процесу вибору значень показників системи оперативного управління гнучкою виробничою системою на основі нечіткої метаідентифікації;
- Вдосконалено мультиагентний метод оперативної диспетчеризації ГВС шляхом використання системи нечіткого виведення на основі бази правил, що переважає існуючий підхід на основі міжагентної комунікації за часом визначення пріоритету обрання транспортними модулями завдання на обслуговування.