

### **8.3 Математичні моделі управління ресурсами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень**

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) є невід’ємною складовою всіх сфер суспільної діяльності людства та застосовуються для вирішення широкого кола завдань від розважальних до суто специфічних [224-226].

Основними завданнями, які вирішуються ІСППР є [226-228]:

- вирішення різноманітних обчислювальних завдань в інтересах широкого кола споживачів незалежно від сфери їх застосування;
- зберігання результатів обчислень і також проміжних результатів для потреб користувачів;
- підтримка прийняття рішень, особами які їх приймають;
- забезпечують передумови до інтелектуального прийняття рішень.

Тенденції розвитку сучасних ІСППР спрямовані на вирішення наступних завдань [227-231]:

- підвищення оперативності обробки різнотипних даних та їх достовірності;
- підвищення точності моделювання процесу їх функціонування;
- підтримання балансу між оперативністю та достовірністю процесом вирішення розрахункових завдань та ін.

Разом з тим, наявні наукові підходи до синтезу та функціонування ІСППР мають недостатню точність та збіжність. Зазначене пов’язане з наступними причинами [224-232]:

- суттєва роль людського фактору в процесі первинного налаштування ІСППР;
- велика кількість неоднорідних джерел інформації, які підлягають аналізу та подальшій обробці при функціонуванні ІСППР;
- ІСППР функціонують в умовах невизначеності, що спричиняє затримку на їх обробку;

– наявність великої кількості дестабілізуючих факторів, що впливають на функціонування ІСППР та ін.

Це й спонукає до впровадження різноманітних стратегій для покращення ефективності функціонування ІСППР при вирішенні розрахункових завдань. Один з таких варіантів є удосконалення існуючих (розробка нових) математичних моделей функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Проведення аналізу праць [232-269] показав що спільними недоліками вищезазначених досліджень є:

– моделювання кожного підходу здійснюється лише на окремому рівні функціонування ІСППР;

– при комплексному підході розглядаються як правило дві складові функціонування ІСППР. Зазначене не дозволяє оцінити в повній мірі вплив управляючих рішень на подальше їх функціонування;

– перелічені вище моделі, що є складовими частинами наведених вище підходів, забезпечують слабку інтеграцію одна в одну, що не дозволяє їх об'єднати між собою для спільного функціонування;

– наведені вище моделі використовують різний математичний апарат, що не вимагає відповідних математичних перетворень, які в свою чергу підвищують обчислювальну складність та знижують точність моделювання та ін.

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення точності моделювання процесу функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за допомогою сукупності математичних моделей їх функціонування. Гіпотезою дослідження є можливість підвищення оперативності та точності функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за рахунок розроблення сукупності моделей їх функціонування.

У табл. 1 наведено склад гетерогенного модельного поля та методи представлення моделей.

**Таблиця 1.** Моделі, що входять у гетерогенне модельне поле.

| Модель                          | Клас моделі та її характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Реалізація                                                                                                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Штучні нейронні мережі          | Штучна нейронна мережа (ШНМ) (пошук прихованих залежностей у статистичних даних та прогнозування виконання плану) – функціональний елемент $res_1^{e2}$ . ШНМ із зі структурою, що еволюціонує. Передатна функція нейрона: сигмоїд. Кількість входів у ході експериментів варіювалася від 3 до 30, а виходів від 1 до 10. Кількість прихованих нейронів від 1 до 8. Передатна функція нейрона: сигмоїд. Навчання ШНМ – метод в роботі [225]. Середня помилка навчання – 9%. Навчальна послідовність – 60 тестових завдань. | Авторський алгоритм написаний мовою програмування Microsoft Visual Studio 2022. Загальний обсяг коду 250 рядків                                    |
| Удосконалений ГА                | Удосконалений ГА [242] для вирішення завдання оптимізації – функціональний елемент $res_2^{e5}$ . Популяція з 100 хромосом. Еволюція: кросовер та мутації. Селекція: комбінація панміксії та ранжирування. Пристосованість (у %) – час пристосованість менше 50%, половина популяції знищується та генерується заново. Якщо десять поколінь пристосованість не змінюється, але більше 92%, тоді найкраща особина – рішення                                                                                                 | Авторський алгоритм написаний мовою програмування Microsoft Visual Studio 2022. Реалізовано алгоритм візуалізації. Загальний обсяг коду 300 рядків |
| Нейро-нечіткі експертні системи | Продукційна модель знань для пошуку вирішального підграфа на графі І/АБО. Міркування у прямому напрямку. Розміри баз знань функціональних елементів – 6 – 48 продукцій, а елементу ІСППР – 15 продукцій. Основи фактів – до 15 фактів. Знання у експертів та ОПР витягувалися протокольним аналізом                                                                                                                                                                                                                        | Авторський алгоритм написаний мовою програмування Microsoft Visual Studio 2022. Використовується прямий висновок                                   |

### 8.3.1 Концептуальна модель інтелектуальних системи підтримки прийняття рішень

Концептуальна модель, це – модель предметної галузі перелік понять, властивостей та характеристик для опису цієї області, а також законів процесів, що у ній відбуваються [237, 238]. Концептуальна модель, з одного боку, обмежує предметну галузь як сукупність об'єктів, зв'язків і відносин між ними, процедур перетворення цих об'єктів під час вирішення завдань. З другого – вносить у моделювання суб'єктивні уявлення розробника в вигляді його знань і досвіду – концепцій.

Концептуальні моделі сутностей, наприклад завдань, ІСППР, будуватимемо на основі схеми концептуальних моделей [224], що містить 11 категорій концептів  $C$ , з яких використовуються наступні п'ять.

**Визначення 1.** Ресурс – поняття, що означає річ, що є у суб'єкта управління на вирішення завдань. Множину ресурсів позначимо  $RES = C^{res} \subseteq C$ .

**Визначення 2.** Властивість – все те, що не є межами цієї речі. Це те, що, характеризуючи речі, не утворює нових речей. Множину властивостей позначимо  $PR = C^{pr} \subseteq C$ .

**Визначення 3.** Дія – поняття, що означає відносини на ресурсах, як наслідок діяльності, вчинків та поведінки. Множину дій позначимо  $ACT = C^{act} \subseteq C$ .

Колективні ефекти в ІСППР наведені в табл. 2.

**Таблиця 2.** Колективні ефекти в ІСППР

| Ефект     | Короткий опис                                                                      | Позитивний вплив                                                          | Негативний вплив                                                               |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Адаптація | Пристосування до зовнішнього середовища або його зміна для ефективної роботи ІСППР | Розширює коло завдань, які вирішуються ІСППР                              | Ускладнює аналіз роботи ІСППР                                                  |
| Бумеранг  | При недовірі до інформації виникає зворотна думка, що міститься в ній              | Недостовірною інформацією не сприймається, або вважається завідомо хибною | Достовірною інформацією від недостовірною джерела може бути розцінена як хибна |

Продовження таблиці 2

|                     |                                                                                   |                                                                                                                                                          |                                                                                        |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Хвиля               | Розповсюдження ідей в ІСППР, що відповідають інтересам членів                     | Колективне доопрацювання ідей                                                                                                                            | Тривала робота експертів над безперспективними ідеями                                  |
| Гомеостаз           | Підтримання важливих для системи параметрів вдаліні від граничних значень         | Забезпечує тривалу життєздатність ІСППР                                                                                                                  | Іноді ІСППР у пограничних станах генерує більш якісні рішення, ніж в нормальному стані |
| Груповий егоїзм     | Цілі колективу важливіші за цілі її членів та цілі суспільства                    | Відсутній                                                                                                                                                | Ефективність діяльності колективу може зашкодити суспільству                           |
| Конформізм          | Спільна думка – істина, думка окремої людини – ніщо                               | Відсутній                                                                                                                                                | Перешкоджає виникненню нових підходів до вирішення проблеми                            |
| Мода (наслідування) | Добровільне прийняття встановлених в колективі точок зору на проблеми             | Основа самонавчання членів колективу; сприяє адаптації людей один до одного                                                                              | Знижує ймовірність появи оригінальних поглядів та підходів до рішення проблеми         |
| Рінгельманна        | Зі зростанням чисельності групи знижується індивідуальний внесок у спільну роботу | Знижується навантаження на окремих учасників ІСППР                                                                                                       | Знижується мотивація експертів до ефективної спільної роботи                           |
| Самонавчання        | Робота учасників СППР по підвищенню свого рівня знань з опорою на досвід          | Підтримання знань учасників СППР в актуальному стані                                                                                                     | Отримані знання можуть бути несистематизованими, невербалізованими, помилковими        |
| Самоорганізація     | Відношення між експертами динамічні та змінюються в процесі роботи                | Адаптація до зовнішнього середовища; кожен раз розробляється новий метод, релевантне завдання. Поява оригінальних підходів до рішення задачі та синергії | Ускладнює аналіз роботи та зовнішнє управління колективом                              |

Продовження таблиці 2

|                       |                                                                                 |                                                                  |                                                              |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Синергія              | Отримання загального результату, який не можуть отримати експерти індивідуально | Отримання емерджентного якісно кращого результату                | Можливий ефект від'ємної синергії (дисергії)                 |
| Соціальна фасилітація | Посилення домінантних реакцій в присутності інших людей                         | Прискорює рішення простих задач, для яких індивід знає відповідь | У складних задачах підвищує ймовірність помилкової відповіді |

**Визначення 4.** *Значення – поняття чи число, що показує кількість одиниць міри. Множину значень позначимо  $VAL = C^{val} \subseteq C$ .*

**Визначення 5.** *Стан – поняття, що означає прояв процесів, що відбуваються у ресурсі в певний час. Множину станів позначимо  $ST = C^{st} \subseteq C$ .*

Між концептами цих категорій встановлено множину відносин  $R$ .

**Визначення 6.** *Відношення – те, що утворює річ із даних елементів (властивості чи інших речей). Відношення – є те, що, будучи встановленим між речами, утворює нові речі.*

Факт встановлення між концептами відношення позначимо  $r^{\alpha\beta}(c_1^\alpha, c^\beta)$ .

Відрізнятимемо відносини між різними категоріями концептів:  $R^{\alpha\beta} \subseteq R$  – множина відносин між концептами з множини  $C^\alpha$  і множини  $C^\beta$ , де  $\alpha, \beta \in \{ "res", "pr", "act", "val" \}$ .

Таким чином, фрагмент схеми концептуальних моделей  $sch_1$  для структурування знань про предметну область завдання, що моделюється, може бути представлена в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 sch_1 = & R^{res\ res}(RES, RES) \circ R^{pr\ pr}(PR, PR) \circ R^{act\ act}(ACT, ACT) \circ \\
 & \circ R^{val\ val}(VAL, VAL) \circ R^{st\ st}(ST, ST) \circ R^{res\ pr}(RES, PR) \circ \\
 & \circ R^{pr\ res}(PR, RES) \circ R^{res\ act}(RES, ACT) \circ R^{act\ res}(ACT, RES) \circ, \\
 & \circ R^{res\ st}(RES, ST) \circ R^{st\ res}(ST, RES) \circ R^{pr\ act}(PR, ACT) \circ \\
 & \circ R^{act\ pr}(ACT, PR) \circ R^{pr\ val}(PR, VAL) \circ R^{val\ pr}(VAL, PR) \circ
 \end{aligned} \tag{1}$$

де знак  $\circ$  – конкатенація.

Мікрорівнева концептуальна модель ІСППР може бути записана у такому вигляді:

$$dss = R^{res\ res} (prt^{dm}, env) \circ R^{res\ res} (PRT, PRT), \quad (2)$$

де  $prt^{dm}$  – модель знань особи, що приймає рішення (ОПР);  $env \in RES$  – зовнішнє середовище;  $PRT = \{prt_1, \dots, prt_n, prt^{dm}\}$ ,  $PRT \subseteq RES$  – множина учасників ІСППР, що включає ОПР  $prt^{dm}$ ;  $R^{res\ res}$  – множина відносин «ресурс – ресурс» між учасниками ІСППР, а також ОПР та зовнішнім середовищем.

У [236] зазначається, що кожен учасник  $prt \in PRT$  ІСППР має власну мету  $pr^{gsu}$ , яка може збігатися чи суперечити цілям інших учасників. Взаємодіючи під час обговорення, експерти обмінюються даними  $pr^{dat}$ , знаннями  $pr^{knw}$ , поясненнями  $pr^{exp}$  і частковими рішеннями  $pr^{dec}$  спільного завдання, тобто виконують множину дій щодо передачі  $ACT^{itr}$  та отримання  $ACT^{iac}$  інформації, множину професійних функцій  $ACT^{prt}$ , чинять тиск на інших учасників ІСППР та членів навколишнього середовища, виконуючи дії  $ACT^{conf}$ .

Кожен експерт має власну модель  $res^{mod}$  зовнішнього середовища, в тому числі і об'єкта управління, а також власний набір методів  $RES^{met}$  вирішення завдань. Зважаючи на неоднорідний характер складних завдань, для їх успішного вирішення до складу ІСППР повинні входити експерти різних спеціальностей, з різними наборами методів розв'язання завдань, тобто  $RES_i^{met} \neq RES_j^{met}$ , де  $i, j = 1, \dots, n$ ,  $i \neq j$  – номер учасника у множині  $PRT$ .

Концептуальна модель експерта ІСППР записується так:

$$\begin{aligned} prt_i = & r_1^{res\ pr} (prt, pr^{gsu}) \circ r_1^{res\ pr} (prt, pr^{dat}) \circ r_1^{res\ pr} (prt, pr^{knw}) \circ \\ & \circ r_1^{res\ pr} (prt, pr^{exp}) \circ r_1^{res\ pr} (prt, pr^{dec}) \circ r_2^{res\ act} (prt, ACT^{prt}) \circ \\ & \circ r_2^{res\ act} (prt, ACT^{itr}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{itr}, pr^{dat}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{itr}, pr^{knw}) \circ, \\ & \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{itr}, pr^{exp}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{itr}, pr^{dec}) \circ r_2^{res\ act} (prt, ACT^{iac}) \circ \\ & \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{iac}, pr^{dat}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{iac}, pr^{knw}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{iac}, pr^{exp}) \circ \\ & \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{iac}, pr^{dec}) \circ r_2^{res\ act} (prt, ACT^{conf}) \circ r_3^{res\ res} (prt, res^{mod}) \circ \\ & \circ r_3^{res\ res} (prt, RES^{met}), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $r_1^{res\ pr}$  – відношення «мати властивість», що встановлюють відповідність між учасником ІСППР та його властивостями;  $r_2^{res\ act}$  – відношення «виконувати», що пов'язує суб'єкт та дію, яку він виконує;  $r_2^{act\ pr}$  – відношення «мати властивість», що зв'язує дію з його властивістю;  $r_3^{res\ res}$  – відношення «включає», що пов'язує ціле та його частини.

Багато відносин  $R^{res\ res}$  в (2) складається з підмножин відносин різних класів: співпраці  $R_{coop}^{res\ res}$ , конкуренції  $R_{comp}^{res\ res}$ , нейтралітету  $R_{neut}^{res\ res}$ , довіри  $R_{trus}^{res\ res}$ , тиску і конформізму  $R_{conf}^{res\ res}$ , координації  $R_{coor}^{res\ res}$ , спору  $R_{disp}^{res\ res}$  та інші  $R_{oth}^{res\ res}$ . Підмножина відносин  $R_{oth}^{res\ res}$  введена в модель, щоб зробити її повною та розширюваною [224]. Таким чином, множина  $R^{res\ res}$  може бути представлено виразом:

$$R^{res\ res} = R_{coop}^{res\ res} \cup R_{comp}^{res\ res} \cup R_{neut}^{res\ res} \cup R_{trus}^{res\ res} \cup R_{conf}^{res\ res} \cup R_{coor}^{res\ res} \cup R_{disp}^{res\ res} \cup R_{oth}^{res\ res}. \quad (4)$$

Склад відносин із множини  $R^{res\ res}$  та її підмножин заздалегідь невідомий і визначається під час роботи ІСППР згідно з правилами взаємодії  $INT \subseteq RES$  внаслідок її самоорганізації. За рахунок динамічності зв'язків між експертами та самоорганізації ІСППР здатна виробляти новий метод рішення, релевантний умовам, що склалися, і концептуальна модель ІСППР як самоорганізованої сутності, методу вирішення складного завдання – може бути представлена виразом:

$$\begin{aligned} RES_{dss}^{met} &= R^{res\ res} (RES_1^{met}, RES_2^{met}) \circ \dots \circ R^{res\ res} (RES_1^{met}, RES_n^{met}) \circ \\ &\circ R^{res\ res} (RES_2^{met}, RES_1^{met}) \circ \dots \circ R^{res\ res} (RES_2^{met}, RES_n^{met}) \circ \\ &R^{res\ res} (RES_n^{met}, RES_1^{met}) \circ \dots \circ R^{res\ res} (RES_n^{met}, RES_{n-1}^{met}), \end{aligned} \quad (5)$$

де метод  $RES_{dss}^{met}$ , що виробляється ІСППР при вирішенні чергового завдання, являє собою взаємопов'язану сукупність наборів методів  $RES_i^{met}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , що використовуються експертами при вирішенні їх часткових завдань. При вирішенні чергового завдання інтенсивність і спрямованість відносин  $R^{res\ res}$  між експертами ІСППР і, відповідно, між використовуваними ними методами змінюються, приводячи до вироблення згідно (5) нового методу, релевантного

складному завданню, тобто з'являється синергетичний ефект. Зовнішній прояв цього ефекту – отримання ІСППР рішень якісніше порівняно з думками окремих експертів.

Враховуючи вищесказане, макрорівнева модель ІСППР може бути представлена в такому вигляді:

$$dss = (PRT, env, INT, DSS, EFF), \quad (6)$$

де  $PRT$  – множина учасників ІСППР, що описуються концептуальною моделлю (3);  $env$  – середовище, в якому знаходиться ІСППР;  $INT$  – множина елементів структурування взаємодій між експертами;  $DSS$  – множина моделей (5) ІСППР на мікрорівні, що відповідають конкретним функціям експертів у ІСППР і відносинам, що встановилися між ними;  $EFF$  – множина концептуальних моделей макрорівневих (колективних) ефектів в ІСППР (табл. 1): адаптація  $ad$ , бумеранг  $bo$ , хвиля  $wa$ , гомеостаз  $ho$ , груповий егоїзм  $ge$ , групсинк  $gt$ , мода  $fa$ , ефект Рингельмана  $re$ , самонавчання  $sl$ , самоорганізація  $so$ , синергія  $se$ , соціальна фасилітація  $sf$ . Розглянемо докладніше моделі цих макрорівневих ефектів.

Розрізняються два види адаптації: пасивна та активна. У першому випадку система, що адаптується, змінюється так, щоб виконувати свої функції в даному середовищі найкращим чином. Концептуальна модель такої адаптації є виразом:

$$\begin{aligned} ad_p = & r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{iac}, env) \circ \\ & \circ r_1^{res\ res} (DSS, DSS) \circ r_1^{res\ pr} (DSS, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr}) \circ \\ & \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr}, VAL^{cr\ go}), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $PR^{cr}$  – множина критеріїв оцінки ефективності ІСППР;  $VAL^{cr}$  – множина значень критичних параметрів ІСППР для мікрорівневих моделей;  $VAL^{cr\ go}$  – множина цільових значень критичних параметрів ІСППР;  $r_1^{pr\ val}$  – відношення «мати значення»;  $r_1^{val\ val}$  – відношення близькості двох значень.

Активна адаптація має на увазі зміну середовища з метою максимізації критерію ефективності або активного пошуку такого середовища. Концептуальна модель активної адаптації до ІСППР:

$$\begin{aligned} ad_a = & r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{iac}, env) \circ \\ & \circ R_1^{res\ res} (ENV, ENV) \circ r_1^{res\ pr} (DSS, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr}) \circ \\ & \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr}, VAL^{cr\ go}) \circ r_2^{res\ act} (dss, ACT^{inf}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{inf}, env), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $ENV \subseteq RES$  – множина зовнішніх середовищ, які підходять для роботи ІСППР;  $ACT^{inf}$  – множина впливів ІСППР на середовище застосування.

Ефект бумерангу  $bo$  – ігнорування або ідентифікація як неправдивої інформації з недостовірних джерел:

$$\begin{aligned} bo = & r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT_{trus}^{iac}) \circ R_{trus}^{res\ res} (PRT, env) \circ \\ & \circ R_{trus}^{res\ res} (PRT, PRT), \end{aligned} \quad (9)$$

де  $ACT_{trus}^{iac}$  – множина дій щодо отримання інформації, що враховують відносини довіри між учасниками ІСППР, а також учасниками та джерелами інформації із зовнішнього середовища.

Відповідно до табл. 1 ефект хвилі  $wa$  – механізм поширення ідей і цілей у ІСППР, які відповідають інтересам її членів, що вони передаються учасникам ІСППР насамперед із «ближнього кола» експерта-джерела, тобто учасникам з якими у експерта-джерела встановлено ставлення довіри. Надалі ці учасники можуть переробити ідею та передати її учасникам ІСППР зі свого «ближнього кола». Формалізовано ефект хвилі записується у такому вигляді:

$$wa = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT_{trus}^{itr}) \circ R_{trus}^{res\ res} (PRT, PRT), \quad (10)$$

де  $ACT_{trus}^{itr}$  – множина дій щодо передачі інформації, що враховують відносини довіри між учасниками ІСППР.

Концептуальна модель гомеостазу  $ho$  в ІСППР записується в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} ho = & r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{iac}, env) \circ \\ & \circ R_1^{res\ res} (DSS, DSS) \circ r_1^{res\ pr} (DSS, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr}) \circ \\ & \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr}, VAL^{cr\ all}), \end{aligned} \quad (11)$$

де  $VAL^{cr\ all}$  – множина допустимих значень критичних параметрів ІСППР.

Ефект групового егоїзму  $ge$  полягає у зневазі ІСППР цілям суспільства та окремого члена ІСППР:

$$ge = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{conf}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{conf}, PRT) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{conf}, env) \circ R_{conf}^{res\ res} (PRT, PRT), \quad (12)$$

де  $r_1^{act\ res}$  – відношення «мати об'єктом», що зв'язує дію та об'єкт, на який воно спрямоване.

Ефект групинку  $gt$  – придушення думок учасників ІСППР, які відрізняються від думки більшості членів ІСППР:

$$gt = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{conf}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{conf}, PRT) \circ R_{conf}^{res\ res} (PRT, PRT). \quad (13)$$

Ефект моди  $fa$  полягає в добровільному прийнятті точки зору на проблему, що встановилася в колективі:

$$fa = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{iac}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{iac}, PR^{dec}). \quad (14)$$

Відповідно до табл. 1, ефект Рінгельмана  $re$  – зниження інтенсивності індивідуальної роботи зі зростанням чисельності групи:

$$re = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{prt}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{prt}, PR^{efi}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{prt}, PR^{efc}) \circ r_1^{pr\ pr} (PR^{efi}, PR^{efc}), \quad (15)$$

де  $PR^{efi}$  – ефективність виконання дії при індивідуальній роботі визначається для кожної ІСППР та завдання індивідуально. Загалом, під ефективністю розумітимемо показник, що враховує оцінку швидкості прийняття та якості запропонованих рішень;  $PR^{efc}$  – ефективність виконання дії під час роботи у колективі;  $r_1^{pr\ pr}$  – відношення «бути більше».

Концептуальна модель самонавчання ОПР  $sl_{dm}$  є виразом:

$$sl_{dm} = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{iac}, env) \circ R_1^{res\ res} (DSS, DSS) \circ r_1^{res\ pr} (dss, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr\ pl}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr\ fct}) \circ r_3^{res\ res} (prt^{dm}, res^{fdb}) \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr\ pl}, VAL^{cr\ fct}) \circ r_2^{pr\ act} (res^{fdb}, ACT^{lrn}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{lrn}, res^{rul}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{ienv}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{idss}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{ifct}), \quad (16)$$

де  $VAL^{cr\ pl}$  – множина запланованих значень критеріїв ефективності ІСППР при вибраній мікрорівневій моделі  $dss$ ;  $VAL^{cr\ fct}$  – множина фактичних значень

критеріїв ефективності ІСППР при вибраній мікрорівневій моделі  $dss$ ;  $res^{fdb}$  – нечітка база знань ОПП на вибір мікрорівневих моделей ІСППР з множини  $DSS$ ;  $ACT^{lm}$  – навчання, коригування правил нечіткої бази знань ОПП  $res^{fdb}$ ;  $res^{rul}$  – правило нечіткої бази знань ОПП на вибір мікрорівневих моделей ІСППР з множини  $DSS$ ;  $res^{ienv}$  – інформація про зовнішнє середовище;  $res^{idss}$  – інформація про мікрорівневу модель  $dss$ ;  $res^{ifct}$  – інформація про фактичні значення критеріїв ефективності ІСППР з обраною моделлю  $dss$ .

Самоорганізація ІСППР  $so$ , це специфічний ефект, коли колектив ІСППР без видимих причин створює або змінює взаємозв'язки між учасниками та організаційні структури:

$$so = r_3^{res\ res}(dss, PRT) \circ r_2^{res\ act}(PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res}(ACT^{iac}, env) \circ R_1^{res\ res}(DSS, DSS), \quad (17)$$

де  $r_1^{act\ res}$  – відношення «мати об'єктом» дії та його ресурсів;  $R_1^{res\ res}$  – множина відношень попередньої мікрорівневої моделі з наступною в ході їх зміни.

Ефект синергії  $se$  є наслідок взаємозв'язків між учасниками ІСППР під час спільної роботи над завданням, тобто генерації організаційної структури, релевантної задачі, що вирішується. Даний ефект у ІСППР виражається в отриманні колективного рішення вищої якості, ніж будь-яке з індивідуальних:

$$se = r_3^{res\ res}(dss, PRT) \circ r_2^{res\ act}(PRT, ACT^{iac}) \circ r_1^{act\ res}(ACT^{iac}, env) \circ R_1^{res\ res}(DSS, DSS) \circ r_4^{res\ res}(PRT, RES^{dec}) \circ r_1^{act\ pr}(RES^{dec}, PR^{qua}) \circ r_4^{res\ res}(dss, res_{dss}^{dec}) \circ r_1^{res\ pr}(dss, pr_{dss}^{qua}) \circ r_1^{pr\ pr}(pr_{dss}^{qua}, PR^{qua}), \quad (18)$$

де  $RES^{dec}$  – множина рішень завдання, поставленої перед ІСППР, запропонованих експертами в результаті індивідуальної роботи;  $PR^{qua}$  – множина показників якості індивідуальних рішень експертів;  $res_{dss}^{dec}$  – рішення, вироблене ІСППР, внаслідок спільної роботи експертів;  $pr_{dss}^{qua}$  – якість рішення, виробленого ІСППР;  $r_4^{res\ res}$  – відношення, що пов'язує експерта чи ІСППР із виробленим рішенням.

Як показано у табл. 1, соціальна фасилітація  $sf$  передбачає посилення домінантних реакцій у присутності інших експертів, тобто сприяє прискоренню вироблення рішень:

$$sf = r_3^{res\ res} (dss, PRT) \circ r_2^{res\ act} (PRT, ACT^{prt}) \circ r_1^{act\ pr} (ACT^{prt}, PR^{spi}) \circ r_2^{act\ pr} (ACT^{prt}, PR^{spc}) \circ r_1^{pr\ pr} (PR^{spc}, PR^{spi}), \quad (19)$$

де  $PR^{spi}$  – швидкість виконання дії під час індивідуальної роботи,  $PR^{spc}$  – швидкість виконання дії під час роботи у колективі.

Аналіз виразів (7) – (19) показав, деякі макрорівневі ефекти взаємопов'язані. Наприклад, вирази (7), (11), (16) і (18) можуть бути перетворені з використанням виразу (17) таким чином:

$$ad_p = so \circ r_1^{res\ pr} (DSS, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr}) \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr}, VAL^{cr\ go}), \quad (20)$$

$$ho = so \circ r_1^{res\ pr} (DSS, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr}) \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr}, VAL^{cr\ all}), \quad (21)$$

$$sl_{dm} = so \circ r_1^{res\ pr} (dss, PR^{cr}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr\ pl}) \circ r_1^{pr\ val} (PR^{cr}, VAL^{cr\ fct}) \circ r_3^{res\ res} (prt^{dm}, res^{fdb}) \circ r_1^{val\ val} (VAL^{cr\ pl}, VAL^{cr\ fct}) \circ r_2^{pr\ act} (res^{fdb}, ACT^{lrn}) \circ r_1^{act\ res} (ACT^{lrn}, res^{rul}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{ienv}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{idss}) \circ r_3^{res\ res} (res^{rul}, res^{ifct}), \quad (22)$$

$$se = so \circ r_4^{res\ res} (PRT, RES^{dec}) \circ r_1^{act\ pr} (RES^{dec}, PR^{qua}) \circ r_4^{res\ res} (dss, res_{dss}^{dec}) \circ r_1^{res\ pr} (dss, pr_{dss}^{qua}) \circ r_1^{pr\ pr} (pr_{dss}^{qua}, PR^{qua}), \quad (23)$$

Вирази (20) – (23) показують, що особливу та основну роль серед колективних ефектів у ІСППР грає самоорганізація – передумова виникнення інших ефектів, що позитивно впливають на результат роботи ІСППР, таких як адаптація, гомеостаз, самонавчання та синергія [241].

### 8.3.2 Математична модель вирішення складного розрахункового завдання

Координація – процес, що відбувається в ІСППР в ході вирішення складних завдань і представляє послідовність аналізу проміжних результатів рішення часткових завдань та видачі впливів, що управляють. Координація здійснюється ОПР, проте може ініціюватися і експертами. У роботі ініціатор координації –

ОПР. Поняття «координація» стосовно ІСППР ще не досліджувалося. Вивчення реальних ІСППР визначило розробку нової моделі вирішення складного завдання та методу моделювання розв'язання складних завдань із координацією часткових завдань з метою їх застосування для проектування ІСППР.

Завдання у системному підході традиційно розглядаються як системи [235, 237] з окремих взаємопов'язаних завдань, між якими є зв'язки, взаємодії. Порядок з'єднання та взаємодії елементів у ІСППР визначається її структурою.

Позначимо завдання-систему  $prb^u$ , а окреме завдання –  $prb^h$ . Тоді  $PRB^h = \{prb_1^h, \dots, prb_{N_h}^h\}$  – множина окремих завдань, що входять до  $prb^u$ ;  $PRB^u = \{prb_1^u, \dots, prb_{N_u}^u\}$  – множина декомпозицій завдань  $prb^u$  [228];  $R^h = \{r_{wq} \mid w, q = 1, \dots, N_h; q \neq w\}$  – множина відносин між окремими завданнями;  $N_h$  – потужність множини  $PRB^h$ .

Модель розрахункового завдання ІСППР представимо у вигляді:

$$prb^u = \langle PRB^h, PRB^u, R^h \rangle, \quad (24)$$

а модель кожного часткового розрахункового завдання як [228]:

$$prb^h = \langle GL^h, DAT^h, MET^h \rangle, \quad (25)$$

де  $GL^h$  – кінцева мета;  $DAT^h$  – вихідні дані;  $MET^h$  – умови, що конкретизують як  $DAT^h$  перетворюються на  $GL^h$ .

Модель (24) задовольняє всім властивостям ІСППР: вона складається з множини елементарних завдань  $PRB^h$ , між якими встановлені відносини  $R^h$ ; зв'язки організовані, що відображено у множині декомпозицій  $PRB^u$ ; при вирішенні загального завдання системи окремі елементарні завдання переважно відокремлені від довкілля чи його стан зафіксовано, тобто виконується вимога того, що зв'язки всередині системи набагато сильніші, ніж із зовнішнім середовищем; просте підсумовування рішень окремих завдань не дає вирішення загального завдання в цілому [232, 233].

Модель (25) має недоліки. Основний – нерелевантне відображення відносин між елементами ІСППР. Враховувати лише множину відносин  $R^h$  між

частковими завданнями недостатньо. Дослідження ІСППР показали, що здебільшого експерти неспроможні дати професійні рішення часткових завдань з урахуванням даних про складне завдання, заданих ОПР. Зазвичай не вистачає ресурсів, зокрема часу, і є помилки в положенні цілі. Зміна початкових умов моделі (24) неможлива через відсутність істотного елемента – образу ОПР, який виконував функцію координатора і переформулював залежно від ситуації мети експертів.

У запропонованому підході розв'язання завдання розглядається не лише як відображення послідовності вирішення часткових завдань, але й як система з координатором  $prb^k$ , функція якого – моніторинг та управління процесом вирішення окремих часткових завдань  $prb_1^h, \dots, prb_{N_h}^h$  експертами під час колективного обговорення. Координатор пов'язаний відносинами  $R^{hk} = \{r^{kw} \mid w=1, \dots, N_h\}$  з кожним завданням  $prb^h$  у ІСППР  $prb^u$ , за допомогою яких збирає інформацію про стан процесу вирішення експертом окремого завдання, та у певні моменти часу видає координуючі впливи для зміни вхідного набору даних: ресурсів та цілей. При цьому модель складного завдання з координацією є виразом:

$$prb^{uk} = \langle PRB^h, PRB^u, prb^k, R^h, R^{hk} \rangle, \quad (26)$$

де  $prb^k$  – координатор;  $R^{hk} = \{r^{kw} \mid w=1, \dots, N_h\}$  – множини відносин між координатором та окремими завданнями.

Порівняння (24) та (26) показує, що (26) має більш загальний характер і зводиться до (24) при відкиданні в моделі (26) задачі координатора, тобто у разі коли ОПР у ІСППР не виконує координацію в ході вирішення складного завдання. Елемент-координатор може бути представлений «координуючим завданням» ( $k$ -завданням), яка повинна бути «додана» в декомпозицію  $prb^u \in PRB^u$  складного завдання  $prb^u$ , щоб релевантно відображати в моделі особливості завдань планування.

Нехай  $MET^* = \{met_1, \dots, met_{N_{MET^*}}\}$  – множина умов. Тоді може бути визначено

відповідність  $\psi_1$ :

$$\psi_1 : SOL_1^h \otimes SOL_2^h \otimes MET^* \rightarrow SOL^u. \quad (27)$$

Елементи відповідності  $\psi_1$  – кортежі  $((sol_\alpha^{h1} sol_\beta^{h2} met_\gamma), sol_\eta^u)$ , при  $\alpha = 1, \dots, N_{sh1}$ ;  $\beta = 1, \dots, N_{sh2}$ ;  $\gamma = 1, \dots, N_{MET^*}$ ;  $\eta = 1, \dots, N_{su}$ , де перша компонента – трикомпонентний вектор, що складається з рішення  $sol_\alpha^{h1} \in SOL_1^h$  завдання  $prb_1^h$ , рішення  $sol_\beta^{h2} \in SOL_2^h$  завдання  $prb_2^h$  і координуючої умови  $met_\gamma \in MET^*$ , а друга – вирішення  $sol_\eta^u$  завдання  $prb^u$ .

Відповідність  $\psi_1$  не є функцією, не може бути записана аналітично та обчислена, оскільки умови координації та результати вирішення окремих часткових завдань найчастіше представлені природною мовою.

Нехай в результаті рішення часткових завдань  $prb_1^h$  і  $prb_2^h$  отримано рішення  $sol_1^{h1} \in SOL_1^h$  і  $sol_1^{h2} \in SOL_2^h$ , причому  $\{(sol_1^{h1}, sol_1^{h2})\} \otimes MET^* \not\subset SOL^u$ , тобто отримані рішення  $sol_1^{h1}$  і  $sol_1^{h2}$  за всіх  $met_\gamma \in MET^*$  не призводять до вирішення завдання  $prb^u$ . Знак « $\not\subset$ » означає відсутність відображення множини з лівої частини знаку до множини з його правої частини. При цьому необхідно повторне вирішення завдань  $prb_1^h$  та  $prb_2^h$ . Однак у ІСППР часто немає часу на те, щоб вирішувати завдання наново, тому міркування над складним завданням  $prb^u$  розбиваються на окремі, логічно завершені проміжні етапи [236, 237], а в кінці етапів систематично перевіряється інтегрований результат вирішення складного завдання, тобто організується ітеративний процес. Як наслідок, рішення часткового завдання  $prb^h$  (лінії міркування експертів) також розбиваються на частини.

У цьому прикладі, в процесі вирішення завдань  $prb_1^h$  і  $prb_2^h$  будуть отримані наступні проміжні результати:

$$\begin{aligned} sol_{11}^{h1} &\Rightarrow sol_{12}^{h1} \Rightarrow \dots \Rightarrow sol_{1s-1}^{h1} \Rightarrow sol_{1N_{sol}}^{h1} = sol_1^{h1}, \\ sol_{11}^{h2} &\Rightarrow sol_{12}^{h2} \Rightarrow \dots \Rightarrow sol_{1s-1}^{h2} \Rightarrow sol_{1N_{sol}}^{h2} = sol_1^{h2}, \end{aligned} \quad (28)$$

де  $N_{sol}$  – кількість кроків ітерації, куди розбиті часткові завдання; а  $sol_1^{h-1}$  і  $sol_1^{h-2}$  – результати розв'язання часткових завдань  $prb_1^h$  і  $prb_2^h$ , відповідно, яких привела послідовність кроків  $1, \dots, N_{sol}$ .

За підсумками перевірки координатором отриманих на конкретному кроці результатів виявляється актуальність впливу на хід рішення окремих часткових завдань  $prb_1^h$  і  $prb_2^h$  для того, щоб процес вирішення складного завдання  $prb^h$  привів до отримання заданого результату – мети. Сам вплив назовемо координуючим, і спрощення далі позначатимемо результат проміжного етапу без першого нижнього індексу, тобто  $sol_l^{h-1}$  і  $sol_l^{h-2}$ , де  $l=1, \dots, N_{sol}$ .

Наслідуючи [240], введемо множину координуючих впливів:

$$E = \{e_1^\alpha, \dots, e_{N_{pri}}^\alpha\}, \quad (29)$$

де  $\alpha$  – тип координуючого впливу,  $\alpha=1, \dots, 6$ . Розглянемо кожен із шести типів.

Інтегральна координація ( $\alpha=1$ ) – ОПР встановлює на вхідні параметри  $in_i^{h-1} \in IN^{h-1} \subseteq DAT^h$  часткового завдання  $prb_1^h$  різні обмеження (нормативи) на певний період часу:

$$\int_0^T (in_i^{h-1}(t)) dt = in_i^{h-1H}, \quad (30)$$

де  $in_i^{h-1H}$  – норматив для вхідного параметра  $in_i^{h-1} \in IN^{h-1}$ ,  $i=1, \dots, N_{inhl}$ ;  $IN^{h-1}$  – множина вхідних параметрів часткового завдання  $prb_1^h$ ;  $[0, T]$  – часовий інтервал. Чітка координація ( $\alpha=2$ ) встановлює обмеження на вхідні параметри часткового завдання, щоб у кожний момент часу  $t$  вони дорівнювали заданому значенню:

$$in_i^{h-1}(t) = in_i^{h-1Set}, \quad (31)$$

де  $in_i^{h-1}(t)$  – вхідний параметр;  $in_i^{h-1Set}$  – задане значення параметра;  $t$  – довільний момент часу, коли перевіряються виконання умови,  $t \in [0, +\infty]$ .

Інтервальна координація ( $\alpha=3$ ) вимагає належності вхідного параметра  $in_i^{h-1}$  часткового завдання (вихідні дані) заданому інтервалу:

$$in_i^{h-1} \in [val_{\min}^{h-1i}, val_{\max}^{h-1i}] \quad (32)$$

де  $val_{\min}^{h-1i}, val_{\max}^{h-1i}$  – межі інтервалу.

Лінгвістична координація (  $\alpha = 4$  ) – умова, задана природною мовою. Координація за часом, синхронізація рішення часткових завдань (  $\alpha = 5$  ) – встановити, через який період часу потрібно дати проміжний результат, тобто.  $sol_l^{h\ 1}$ , де  $l = 1, \dots, N_{sol}$  результати вирішення часткових завдань видаються через певні інтервали часу:

$$sol_l^{h\ 1} \xrightarrow{\tau} sol_{l+1}^{h\ 1}, \quad (33)$$

де  $\tau$  – інтервал часу, через який відбувається видача рішення;  $sol_l^{h\ 1}$  і  $sol_{l+1}^{h\ 1}$  – результат вирішення завдання  $prb_l^h$  після  $i$ -го та  $i+1$ -го етапу вирішення складного завдання.

Ситуацію, коли лінія міркування експерта не змінюється, позначимо як «порожню дію»  $\alpha = 6$ . Наприклад, ОПР вважає, що не потрібно впливати на перебіг рішення часткових завдань експертом. Оскільки результати рішення часткових завдань найчастіше видаються природною мовою, те й координуючі впливи  $e_1^\alpha, \dots, e_{N_{prt}}^\alpha$  також найчастіше представлені так само.

Тоді, з урахуванням вищесказаного, встановимо відповідність:

$$\psi_2 : \{(sol_l^{h\ 1}, sol_l^{h\ 2})\} \otimes MET^* \rightarrow E, \quad (34)$$

де  $l = 1, \dots, N_{sol} - 1$ . Як максимальне значення індексу  $l$  використовується  $N_{sol} - 1$ , оскільки після етапу  $N_{sol}$  вже неможливо координувати вирішення часткових завдань – отримано кінцевий результат.

Елементи відповідності  $\psi_2$  – пари  $((sol_l^{h\ 1}, sol_l^{h\ 2}, met_\gamma), e_q^\alpha)$ , при  $l = 1, \dots, N_{sol} - 1$ ;  $\gamma = 1, \dots, N_{MET^*}$ ;  $q = 1, \dots, N_{prt}$ , де перша компонента – трикомпонентний вектор, що складається з вирішення  $sol_l^{h\ 1} \in SOL_l^h$  завдання  $prb_l^h$ , рішення  $sol_l^{h\ 2} \in SOL_l^h$  завдання  $prb_l^h$  та координуючої умови  $met_\gamma \in MET^*$ , а друга – координуючий вплив  $e_q^\alpha \in E$ . Аналогічно (26) відповідність (34) не є функцією. Воно багатозначно, оскільки можливе застосування по відношенню до одного і того ж часткового завдання  $prb^h$  кількох координуючих дій  $e_q^\alpha \in E$  відразу.

Оскільки є обмеження на кількість кроків, то при  $l = N_{sol}$  має бути відповідність:

$$\psi_3 : \{(sol_l^{h1}, sol_l^{h2})\} \otimes MET^* \rightarrow SOL^u. \quad (35)$$

Елементи відповідності  $\psi_3$  – пари виду  $((sol_l^{h1}, sol_l^{h2}, met_\gamma), sol_\eta^u)$ , при  $l = 1, \dots, N_{sol} - 1$ ;  $\gamma = 1, \dots, N_{MET^*}$ ;  $\eta = 1, \dots, N_{su}$ , де перша компонента – трикомпонентний вектор, що складається з рішення  $sol_l^{h1} \in SOL_l^h$  завдання  $prb_1^h$ , рішення  $sol_l^{h2} \in SOL_2^h$  завдання  $prb_2^h$  і координуючої умови  $met_\gamma \in MET^*$ , а друга рішення  $sol_\eta^u \in SOL^u$  завдання  $met^u$ . Якщо  $\psi_3$  немає, тобто в результаті пошуку елементів  $\psi_3$  виявляється, що  $\psi_3 = \emptyset$ , то ОПР необхідно змінити множину умов координації  $MET^*$ : ввести нові умови та видалити частину старих.

Відповідність  $\psi_3$  – підмножина множини  $\psi_1, \psi_3 \subseteq \psi_1$ , оскільки єдина відмінність у тому, що у  $\psi_3$  вказані конкретні результати вирішення завдань  $prb_1^h$  та  $prb_2^h$ . Оскільки не всі елементи відповідності  $\psi_3$  мають як другий компонент  $sol_\eta^u \in SOL^u$ , яке задовольняє цілі рішення  $prb^u$ , позначимо  $DAT_{\psi_3}$  множину елементів відповідності  $\psi_3$ , у яких друга компонента задовольняє цілі рішення  $prb^u$ ,  $DAT_{\psi_3} \in \psi_3$ . З урахуванням зазначеного, а також враховуючи модель (25), модель  $k$ -завдання можна записати так:

$$prb^k = \langle SOL_1^h, SOL_2^h, \psi_2, DAT_{\psi_3} \rangle, \quad (36)$$

де  $SOL_1^h, SOL_2^h$  – вихідні дані для задачі-координатора  $prb^k$ , виражені комбінацією чисел, слів та виразів;  $DAT_{\psi_3} \in \psi_3$  – кінцева мета вирішення завдання координатора  $prb^k$ ;  $\psi_2$  – множина умов, що конкретизують, як формуються після кожного кроку координуючі впливи (34), в результаті застосування яких після останнього кроку може бути отримано  $DAT_{\psi_3}$ .

На підставі зазначеного дамо наступне визначення процесу координації – ітераційний (багатоетапний) процес, в ході якого, після кожної ітерації ОПР аналізує інтегрований результат вирішення сукупності часткових завдань і обирає координуючі впливи для лінії міркувань кожного з експертів, з тим, щоб

по закінченню процесу вирішення складного завдання отримати загальний результат її вирішення максимально.

Можна також відзначити, що зі збільшенням кількості часткових завдань, актуальність координації їх вирішення зростає, оскільки комбінаторно збільшується кількість відносин (обмін інформації, використання загальних змінних чи загальних обмежень) між завданнями-елементами.

### **Висновки**

1. У дослідженні запропоновано математичні моделі управління ресурсами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Новизна запропонованих математичних моделей полягає у:

у комплексному описі процесі функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Зазначене дозволяє підвищити точність моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для послідовних управлінських рішень;

описі як статичних так і динамічних процесів, які відбувається в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень;

здатності провести моделювання як окремо взятого процесу, що відбувається в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, так і комплексно проводити моделювання тих процесів, що в них відбуваються;

у встановленні концептуальних залежностей процесу функціонування інтелектуальних системи підтримки прийняття рішень. Це дозволяє описати взаємодію окремих моделей на всіх етапах вирішення розрахункових завдань;

описі процесів координації у гібридних інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, чим досягається підвищення достовірності прийняття управлінських рішень;

моделюванні процесів вирішення складних розрахункових завдань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, за рахунок концептуального опису зазначеного процесу;

узгодженні процесів проведення розрахунків в інтелектуальних системах

підтримки прийняття рішень, чим досягається зменшення кількості обчислювальних ресурсів систем;

2. Запропоновані математичні моделі доцільно використовувати для вирішення завдання управління ресурсами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що характеризуються високим ступенем складності.