

## АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕЙРОННИХ СІТОК

*Анотація:* Запропонований новий підхід до автоматизованого вибору задовольняючої топології нейросіток, яка відповідає вимогам модельованої задачі. Реалізація підходу базується на використанні гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи з багатоцільовою конфігурацією її складових з функціями метаідентифікації.

*Ключевые слова:* агент/мультиагент, агентно-орієнтована підсистема, гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація, експертна система, конкретна унікальна послідовність дій, критерій обслуговуваності, логічна модель поетапного синтезу, метод Ф-функцій.

### Вимоги щодо компетенції користувача

Вибір топології та настроювання ваг зв'язків штучної нейронної сітки є одними з важливіших етапів при використанні нейросіткових технологій для розв'язання практичних задач. Від цих етапів прямо залежить якість (адекватність) отриманої нейросіткової моделі, системи керування тощо. Побудування ШНС за традиційною методикою виконується, фактично, методом спроб і помилок. Досліджувач вибирає базову модель нейронів, задає кількість шарів (архітектуру), а також структуру зв'язків між ними (наявність/відсутність рекурентних зв'язків), а далі дивиться, що ж у нього створилося; врешті сітка навчається за допомогою якого-небудь методу, а далі тестується на тестовій вибірці. Якщо отримані результати роботи задовольняють заданим критеріям, то задача створення ШНС вважається виконаною успішно; в противному випадку – процес повторюється з іншими значеннями вихідних параметрів. Природно, що такий підхід до побудування ШНС як інструментарію дослідження складних об'єктів не може вважатися задовільним, що й зумовило пошуки інших підходів до розв'язання задачі пошуку оптимальних топологій і методів навчання, пристосованих до певних властивостей/вимог прикладних задач.

В даному випадку, на відміну від кінцевого користувача готового нейросіткового “розв'язувача”, під користувачем розуміється людина, яка безпосередньо створює нейросіткові моделі. Не дивлячись на численні заяви про те, що нейронні сітки доступні користувачам-неспеціалістам, насправді все виглядає інакше. *Перше*, правильно формулювати задачу ніякий комп'ютер за користувача не в змозі (мається на увазі не тільки вірність змістовної постановки задачі, але й коректний вибір математичного методу розв'язання та його настроювань – а це у випадку нейронних сіток припускає вибір адекватної структури НС, алгоритму навчання, критерія якості розв'язання задачі тощо). Звичайно, значна гну-

чість і універсальність нейроалгоритмів припускають застосування наближених топологій НС, проте не завжди це приводить до найкращого результату. *По-друге*, існуючі автоматичні схеми підбирання оптимальних настроювань нейросіткових методів не можуть відшукати вірне розв'язання для більш-менш складних задач. Іншими словами, для багатьох класів задач прикладне застосування нейротехнологій вимагає професійних знань як методів нейроінформатики, так і інших методів аналізу даних (статистики, наприклад).

З іншого боку, користувач готового нейросіткового продукту стикається з труднощами “навпаки”. Він може правильно сформулювати задачу, проте набагато гірше усвідомлює принципи вибору структури НС, підготовки даних і алгоритму її навчання, перевірки якості функціонування НС і вербалізації тощо. І саме це спонукає і фахівців в області нейротехнологій, і користувачів-неспеціалістів в цій області інтенсифікувати дослідження для створення умов щодо автоматизації процесу поетапного синтезу штучних нейронних сіток.

### **Логічна модель поетапного синтезу штучних нейронних сіток**

Як зазначалося у [7], покращення ситуації з розв'язанням проблеми усунення суб'єктивного фактору при виборі топології ШНС, яка в найбільшій мірі задовольняє умови модельованої прикладної задачі, можна досягти при виконанні наступних дій:

- формуванні *набору вирішних класифікаційних ознак* (НВКО) і створенні класифікатора ШНС;
- побудуванні чіткої *логічної моделі поетапного синтезу* (ЛМПС) ШНС;
- створенні строгої *узагальненої моделі вибору типових топологій* (УМВТТ) ШНС для конкретних прикладних задач, що базується на створенні *гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігурацій* (ГМАК) *агентно-орієнтованих підсистем* (АОП) для конкретних прикладних задач.

Наведена в роботі [7] ЛМПС містить відображення послідовності урахування НВКО при ітераційній процедурі синтезу ШНС на основі *конкретної унікальної послідовності дій* (КУПД) інтелектуальних агентів в процесі функціонування ГМАК агентно-орієнтованих підсистем.

Дамо декілька базових означень, які більш точно характеризують розглядувану проблематику:

**Означення 1.** *Агент / мультиагент* – це програмно-апаратний чи програмно-емуляційний автономний компонент мультиагентної підсистеми, який функціонує за певним сценарієм/алгоритмом на

основі КУПД в інтересах досягнення поставлених користувачем перед нею цілей.

**Твердження 1.** Алгоритм дії агента може мінятися і коректуватися по ходу виконання завдання заради досягнення мети.

**Твердження 2.** Конкретна унікальна послідовність дій, що приводить до мети, шукається агентом кожного разу з урахуванням відповідних *критеріїв обслуговування* властивостей даної розв'язуваної задачі.

**Означення 2.** *Критерій обслуговуваності* – показник задоволення топологією ШНС вимог з боку розв'язуваної задачі і професійної відповідності користувача.

**Означення 3.** *Логічна модель поетапного синтезу ШНС* – така послідовність їх перебирання в просторі НВКО, яка, будучи виконувана користувачем і/або ГІМАК АОП, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей задачі.

Передостання процедура поетапного синтезу ШНС полягає у перевірці виконання умов *достатності і ненадлишковості архітектури* синтезованої ШНС, яка в процесі навчання чи після його завершення або нарощується за алгоритмами Мезарда-Надаля, Мерчанда, Лі-Туфтса та каскадної кореляції, або спрощується шляхом видалення найменш значущих ваг і нейронів [6].

Заключна процедура поетапного синтезу ШНС зводиться до перевірки реляційним перебиранням інтелектуальними агентами умов виконання ВОЗ поточним вектором можливостей конкретної топології ШНС.

### **Узагальнена концептуальна модель процесу вибору топології штучних нейронних сіток**

**Трактування поняття вибору топології ШНС.** Використання логічної послідовності синтезу ШНС під розв'язання (моделювання) конкретної *прикладної задачі* (ПЗ), який полягає у доборі базового нейрона (БН), виду *активаційної функції* (АФ), *архітектури* ( $A_{\text{ШНС}}$ ), *структури* ( $C_{\text{ШНС}}$ ), *методу навчання* ( $MN_{\text{ШНС}}$ ) і *методу спрощення* ( $MS_{\text{ШНС}}$ ) штучних нейросіток, є обов'язковою процедурою зі складовими формування топології ШНС. Інакше кажучи, склад і послідовність етапів синтезу повинні забезпечити весь набір ітераційних процедур, які й визначатимуть вибір такої топології ШНС, яка здатна адекватно відбивати *властивості та обмеження модельовуваної задачі* (ВОМЗ).

З цією метою будується так звана *віртуальна топологічна модель ШНС*.

**Твердження 3.** Віртуальна топологічна модель ШНС узагальнює в собі всі характеристики останньої, спроможні обслуговувати кожні з ВОМЗ.

За основу при цьому береться запропонований в роботі [4] підхід щодо синтезу/аналізу будь-якої складної організаційно-технічної системи, за яким на узагальненому **верхньому рівні** абстрагування концептуально *функція топології ШНС* ( $\Phi_{\text{ШНС}}$ ) – функція як *об'єкта керування* (ОК) подається декартовим добутком множин  $BH, A\Phi, A_{\text{ШНС}}, C_{\text{ШНС}}, MH_{\text{ШНС}}, MC_{\text{ШНС}}$ :

$$(BOM3) \subset BH \times A\Phi \times A_{\text{ШНС}} \times C_{\text{ШНС}} \times MH_{\text{ШНС}} \times MC_{\text{ШНС}}. \quad (1)$$

Таким чином, верхній рівень абстрагування визначає перебирання всіх варіантів складових топологій ШНС.

Як основа формалізації при описі функціональної бази ОК – топології ШНС та її підфункціональних компонентів – *елементарних складових* на виділених ієрархічних рівнях використовуються скінченні графі, що відображають через НВКО властивості та обмеження задачі з ОК, а також *метод  $\Phi$ -функцій* [8], за якими установлюється відповідність множин у виразі (1). Тоді метою етапів системного синтезу/аналізу топології ШНС є визначення складу та закономірностей взаємозалежності окремих компонентів в єдиній системі – ОК з урахуванням того, що *функція ОК визначає його адекватність модельовуваній задачі*.

При виборі та дослідженні ШНС вирізняють дві постановки задачі:

- *пряму* (задача аналізу) – відомі складові топології ШНС. Треба визначити BOM3 – властивості та обмеження адекватно модельовуваної задачі (класу задач);
- *обернену* (задача синтезу) – відомі BOM3 (властивості та обмеження прикладної задачі або класу задач). Треба визначити складові топології ШНС:  $BH, A\Phi, A_{\text{ШНС}}, C_{\text{ШНС}}, MH_{\text{ШНС}}, MC_{\text{ШНС}}$ , яка адекватно реалізує BOM3 прикладної задачі.

Пряма задача виникає при перевірці можливості використання певної топології ШНС для об'єкта керування властивостей конкретної задачі (класу задач), а обернена – при створенні нової або суттєвій модифікації існуючої топології ШНС під певні BOM3.

В обох випадках узагальненою концептуальною моделлю може слугувати схема, наведена на рис. 1.

Отже, якщо загальною  $\Phi_{\text{ШНС}}$  – *функція* як ОК може бути подана на вищому ієрархічному рівні абстрагування виразом (1), то кількість сполучень підфункцій складових процесів ( $\Phi_{\text{склад}}$  – *процеси*) перебирання на **другому рівні абстрагування** –  $\Phi_{BH}, \Phi_{A\Phi}, \Phi_{A_{\text{ШНС}}}, \Phi_{C_{\text{ШНС}}}, \Phi_{MH_{\text{ШНС}}}, \Phi_{MC_{\text{ШНС}}}$ , призначених для варіативного формування траєкторій  $tr$  руху в межах змінних кожної з наведених складових до кінцевої мети – оптимального шляху  $tr_{\text{onm}}$ , складатиме понад 3000 варіантів. І це тільки з урахуванням обмежено наведеної у відповідних розділах даної книги можливої різноманітності складових топологій ШНС. Іншими словами, варіативний

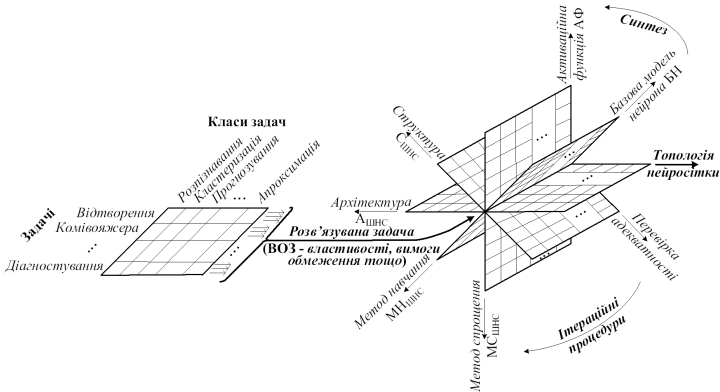


Рис. 1 – Концептуальна модель процесу вибору топології ШНС

перетин всіх підфункцій в процесі реалізації ЛСПС ШНС уявляє собою багатоваріантну ієрархічну ітераційно-пошукову оптимізаційну задачу щодо послідовного перебирання складових топологій ШНС, задовольняючих ВОМЗ:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{БН} &\subset АФ \times А_{ШНС} \times С_{ШНС} \times МН_{ШНС} \times МС_{ШНС}; \\
 \Phi_{АФ} &\subset БН \times А_{ШНС} \times С_{ШНС} \times МН_{ШНС} \times МС_{ШНС}; \\
 \Phi_{А_{ШНС}} &\subset БН \times АФ \times С_{ШНС} \times МН_{ШНС} \times МС_{ШНС}; \\
 \Phi_{С_{ШНС}} &\subset БН \times АФ \times А_{ШНС} \times МН_{ШНС} \times МС_{ШНС}; \\
 \Phi_{МН_{ШНС}} &\subset БН \times АФ \times А_{ШНС} \times С_{ШНС} \times МС_{ШНС}; \\
 \Phi_{МС_{ШНС}} &\subset БН \times АФ \times А_{ШНС} \times С_{ШНС} \times МН_{ШНС}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

**Означення 4.** Траекторія *tr руху* – це слід у послідовності етапів синтезу топології ШНС, визначуваної перетином складових топологій ШНС з певними до ВОМЗ показниками відповідності.

Таким чином, вирази (2) відображають собою проекції функціональних залежностей, що описують  $\Phi_{склад-процеси}$ , на відповідні координатні гіперплощини. Зокрема, серед виразів (2) є подання всіх складових, утворюючих топології ШНС і формуючих НВКО останніх.

Як і на наступних рівнях абстрагування, задача перебирання може, зокрема, виконуватися шляхом послідовного порівняння попарних сполучень фіксованих та змінних складових топології ШНС з відбиранням найкращих пар з умов задоволення ВОМЗ. Процес добору оптимальних пар нагадує процедуру еволюційного добору генетичними алгоритмами або алгоритмами МГУА [6]. Відповідно, і реалізація процесу пошуку бажаної топології ШНС може виконуватися тими ж засобами.

**Означення 5.** Траекторія *tr<sub>онм</sub> руху* – слід у послідовності етапів синтезу топології ШНС, визначуваної перетином складових

топології ШНС з максимальними до ВОМЗ показниками відповідності у кожному з етапів.

При цьому на наступних *третьому – шостому рівнях абстрагування* відповідно до моделі рис. 1 і залежностей (3) відбувається ітеративне перебирання можливих варіацій топології ШНС при відповідних фіксованих (за кращими результатами попереднього ієрархічного рівня) сполучень складових з визначенням  $БН$ ,  $АФ$ ,  $Ашнс$ ,  $Сшнс$ ,  $МНшнс$ ,  $МСшнс$  нейросітки:

$$\begin{aligned}
 & \Phi(БН) \subset АФ \times Ашнс \times Сшнс \times МНшнс \times МСшнс; \\
 & \Phi(БН, АФ) \subset Ашнс \times Сшнс \times МНшнс \times МСшнс; \\
 & \Phi(БН, Ашнс) \subset АФ \times Сшнс \times МНшнс \times МСшнс; \\
 & \dots; \\
 & \Phi(БН, АФ, Ашнс) \subset Сшнс \times МНшнс \times МСшнс; \\
 & \Phi(БН, АФ, Сшнс) \subset Ашнс \times МНшнс \times МСшнс; \\
 & \Phi(БН, АФ, МНшнс) \subset Ашнс \times Сшнс \times МСшнс; \\
 & \dots; \\
 & \Phi(БН, АФ, Ашнс, Сшнс) \subset МНшнс \times МСшнс; \\
 & \Phi(БН, АФ, Ашнс, МНшнс) \subset Сшнс \times МСшнс; \\
 & \dots; \\
 & \Phi(БН, АФ, Ашнс, Сшнс, МНшнс) \subset МСшнс.
 \end{aligned} \quad ; \quad (3)$$

З умов визначеності функціонального відображення (1) послідовність реалізацій  $\Phi_{шнс}$  можна подати орграфом (рис. 2) (власне орієнтованість орграфа відбиває послідовність реалізації ЛСПС ШНС), який і уявляє собою *нижній ієрархічний рівень* ( $\Phi_{топ.шнс-процесу}$ ) представлення функцій ОК. Виділення цього рівня ієрархії, що характеризує узагальнену процедурну частину, є надзвичайно важливим етапом системного аналізу/синтезу топології ШНС.

Синтезовані на цьому етапі типи функціональних сполучень  $\Phi_{склад-процесів}$  ( $\Phi_{БН}$ ,  $\Phi_{АФ}$ ,  $\Phi_{Ашнс}$ ,  $\Phi_{Сшнс}$ ,  $\Phi_{МНшнс}$ ,  $\Phi_{МСшнс}$ ,  $\Phi_{БТшнс}$ ) є необхідними і достатніми для розв'язання прикладних задач побудови системи автоматизованого вибору топологій ШНС під певні ВОМЗ. На рис. 2 використано, відповідно, наступні скорочення (див., відповідно, розділи 1.3, 1.2, 1.4, 5, 4.2 та 22 [6]): Фук, Хоп, Гр, СпН, Ад, Над – базові нейрони Фукушими, Хопфілда, Гроссберга, Сигма-пі-нейрон, Адаліна та Н-Адаліна; Сиг, ГТ, Гаус, ІМ, Тр, Трв – активаційні функції сигмоїдна, гіперболічного тангенсу, гаусівська, інверсна мультіквадратична, трикутна, трапецієвидна; ОП, Мад – архітектури одношарового перцептрона і Мадаліни; ПП, ПЗ, ЗП – структури прямого поширення, повнозв'язні, зворотного поширення; Уч, Буч, СО, Під, Кон, Ст, ГрС – методи навчання з учителем, без учителя, шляхом самоорганізації, підкріплюване, стохастичне, градієнтні; ВВ, ВН – спрощення ШНС видаленням ваг, видаленням нейронів; БТ ШНМ – бажана топологія ШНС, задовольняюча умовам ВОМЗ.

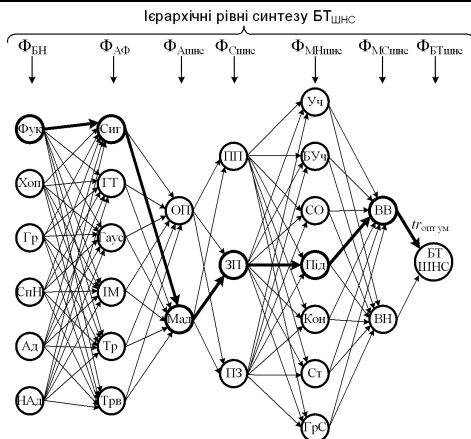


Рис. 2 – Повний функціональний оргграф ОК – процесу синтезу ШНС с бажаною топологією

Як вже вище наголошувалося, кількість траекторій  $tr$  процедурного руху за оргграфом, наведеним на рис. 2 і відбиваючим реалізацію залежностей (3), складатиме понад 3000 варіантів, серед яких є й оптимальні  $tr_{opt}$  за умов відповідності до певних ВОМЗ. Зокрема, на рис. 2 жирною лінією виділений слід умовно оптимальної траекторії  $tr_{оптум}$ , яка в результаті багатоітераційного перебирання визначає складові умовної бажаної топології ШНС:

$$БТ_{ум}ШНС \rightarrow tr_{оптум} \subset Ф_{ук} \times С_{иг} \times М_{ад} \times ЗП \times П_{ід} \times ВВ. \quad (4)$$

### Модель агентно-орієнтованої ідентифікації топології нейросіток

Запропонована нами можливість використання мультиагентної моделі із вбудованим реляційним механізмом для перебирання на основі ЛМПС *функціонально-спеціалізованими інтелектуалізованими агентами* (ФСІА) критеріїв обслуговуваності вимог з боку прикладних задач була розглянута у [5]. Наведений там підхід не є протиставленням більш загальним схемам розподіленого штучного інтелекту, які детально розглядаються в роботі [9]. В даному випадку ідея полягала у тому, щоб, розглядаючи нечіткі ідентифікуючі компоненти як складні *агентно-орієнтовані* (АОП) (або *мультиагентні*) *підсистеми* (МАП), використати переваги нечіткого підходу до керування процесом ідентифікації топології ШНС самими МАП.

**Означення 6.** *Агентно-орієнтована (або мультиагентна) підсистема* – це складна система, в якій функціонують два або більше інтелектуальних агента.

**Твердження 4.** *Завдання ідентифікації топології ШНС* полягає у динамічному побудуванні з наявних ФСІА таких ГІМАК АОП, які в інформаційному просторі необхідного і достатнього НВКО ШНС найкращим чином виконують процедури ЛМПС щодо ітераційного наближення спроможностей поточної топології ШНС до обслуговування критеріїв з боку модельованої задачі.

**Означення 7.** *Метаідентифікація ШНС* – це ітераційна процедура поетапного синтезу топології нейросітки, адекватно задовольняючої ВОМЗ.

**Твердження 5.** Метаідентифікація ШНС може відбуватися, в тому числі, і за умов нечітких ідентифікуючих ознак як з боку прикладної задачі, так і властивостей поточної топології ШНС.

**Означення 8.** *Функціонально-спеціалізований інтелектуалізований агент* – це програмно-апаратний чи програмно-емуляційний автономний компонент АОП з функціями метаідентифікації в просторі НВКО ШНС, який функціонує за певним сценарієм/алгоритмом на основі КУПД в інтересах досягнення поставленої користувачем перед нею мети.

**Твердження 6.** Алгоритм дії ФСІА може мінятися і коректуватися по ходу виконання завдання заради досягнення мети.

**Означення 9.** *Агентно-орієнтована підсистема* – це складна підсистема ГІМАК, в якій функціонують два або більше ФСІА, орієнтованих на розв'язання задач ідентифікації за певною вирішальною класифікаційною ознакою ШНС і утворюючих *мультиагентне середовище* (МАСе).

**Твердження 7.** Сукупність певним чином організованих ФСІА, забезпечуючих визначений вирішальною класифікаційною ознакою рівень ідентифікації ШНС, *утворюють МАСе відповідної АОП.*

**Твердження 8.** В АОП функції ФСІА *можуть реалізуватися певними топологіями ШНС.*

### **Концепція нечіткої метаідентифікації в задачах вибору нейросіток**

Реалізація вищеозначеної ідеї можлива за допомогою побудування ГІМАК, особливості якої: використання об'єктно-орієнтованих ФСІА всіляких типів, відбиваючих властивості складових класифікатора ШНС [2, 5]; високий ступінь паралелізму; децентралізована структурна і параметрична метаідентифікація в межах АОП.

Для узагальнення підходу розглядається більш складний випадок нечіткої метаідентифікації класифікаційних ознак ШНС щодо вимог з боку прикладної задачі. В разі чіткої взаємозалежно-



сті “вимога – ознака” реалізація процесу метаідентифікації спрощується.

**Означення 10.** *Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація* – така мультиагентна конфігурація, яка: містить агенти  $A^{(M)}$  з функціями метаідентифікації, що реалізують механізм розподіленого динамічного виявлення “ступеня важливості” інших агентів із всілякою природою; формує різні закони ідентифікації; забезпечує паралельність роботи агентів різнорідних “шарів”; реагує на зміни стану зовнішнього середовища (вихідних умов задачі) шляхом піднастроювання загального виходу у відповідності з ідентифікацією, задовольняючою поточний набір умов на вході.

**Означення 11.** *Нечітка ідентифікація топології ШНС* – ідентифікація в умовах наявності лінгвістичних невизначеностей на будь-якому етапі реалізації алгоритму синтезу ШНС в інформаційному просторі НВКО при формуванні виведень щодо адекватності поточної ШНС вимогам прикладної задачі.

**Означення 12.** *Агенти з функціями метаідентифікації* – такі ФСІА, які спроможні приймати рішення відносно: активації інших агентів ГІМАК; формування виведень щодо задоволення поточного набору умов на вході АОП.

Склад мультиагентної структури ГІМАК АОП, утворюючий МАСе, наведений у [5] і тому в даній статті не розглядається.

### **Компоненти ГІМАК АОП та їх взаємодія при функціонуванні**

Функціонування ГІМАК АОП формується із загального “вне-ска” її компонент – ФСІА, які й утворюють відповідне мультиагентне середовище: продукційних правил (ПП), експертних оцінок (ЕО), об’єктів інтелектуального вибору ОІВ – штучних нейросіток (ШНС), чисельних процедур (ЧП), об’єктів вибору з табличних даних (ОВТД), об’єктів побудування графіків (ОПГ), агентів реалізації (АР) – якщо експерт або відповідний агент робить висновок щодо необхідності уведення нових правил, обмежень тощо. Базуючись на вхідних даних і меті ідентифікації в залежності від етапу послідовності синтезу топології ШНС [7], ГІМАК АОП реалізує на виході відповідної АОП модель БН,  $S_{ШНС}$ ,  $A_{ШНС}$ , МН, потужність ШНС і в цілому як наслідок – її топологію, задовольняючу обслуговування властивостей розв’язуваної задачі, точності апроксимації, складності реалізації, розмірності та швидкодії, кваліфікації користувача.

Агенти МАСе відповідної АОП можуть характеризуватися: використовуюваною моделлю –  $N_1$  (тобто НС, ПП, ЧП тощо); типом подання –  $N_2$  (наприклад, числовий, символічний або більш детально: фреймовий, семантичний, продукційний тощо. Ясно, що  $N_1$  та  $N_2$  тісно зв’язані); особливостями виконання –  $N_3$  (як окремі фізи-

чні (мікросхеми, комп'ютери) або віртуальні (в межах цієї ж програми) об'єкти і т. д.).

Тип  $N_2$  передбачає необхідність проміжних перетворень даних, інтеграцію множин чисельних значень і формування символічних умов для логічного виведення, і навпаки — перетворення фактів (виведень) у чисельні значення (у випадку нечітких уявлень це відповідає перетворенням “чіткий  $\rightarrow$  нечіткий” і “нечіткий  $\rightarrow$  чіткий” відповідно). Ці перетворення можуть бути або “вбудованими” у загальне функціонування ФСІА, або виконуються спеціальними процедурами трансформації. Сам ФСІА, у свою чергу, може також мати мультиагентну структуру. Так, для реалізації перетворень “нечіткий  $\rightarrow$  чіткий”, наприклад, за наявності невизначеності при ідентифікації етапів синтезу ШНС такий ФСІА може виконуватися у вигляді фаззі-контролера [3]. Кожний такий агент  $A_i$  формується з множини специфікацій  $SP_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ik}\}$  якісних правил, наприклад, у формі: “ЯКЩО вхідні вимози відповідає множина  $X$  значень змінних, ТО відгуковій реакції вектора ідентифікації у фазовому просторі відповідає множина  $Y$ ”. Для математичного опрацювання таких правил необхідні операції взаємодії між окремими нечіткими множинами, які належать до частини “ТО”. Тоді продукування рішень для фаззі-контролерів характеризується взаємодією задаваних експертом вхідних і вихідних функцій належності, причому, операції “І” и “АБО” використовуються як зв'язка в правилах у множинах, елементи яких належать до різних основних множин.

### **Узагальнена модель гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи вибору нейросіток**

Наведена на рис. 3 узагальнена модель *гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи* (ГІМАС) об'єднує необхідну для формування алгоритму синтезу ШНС і достатню для задоволення вимог з боку розв'язуваних/модельованих прикладних задач сукупність цільових компонент метаідентифікації:  $АОП_{БМШН}$ ,  $АОП_{ТАФ}$ ,  $АОП_A$ ,  $АОП_C$ ,  $АОП_{МН}$ ,  $АОП_T$  – базової моделі штучного нейрона, типу активізаційної функції, архітектури, структури, метода навчання, топології ШНС та інших (за переліком НВКО [7]).

**Означення 13.** *Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система* – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується *модель поетапного синтезу ШНС* з такою послідовністю їх перебирання в просторі НВКО, яка, будучи виконувана користувачем і/або внутрішнім ініціюючим джерелом, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей розв'язуваної задачі.

**Твердження 9.** В ГІМАС при виконанні етапів синтезу ШНС формування умов переходу до наступної компоненти метаіденти-

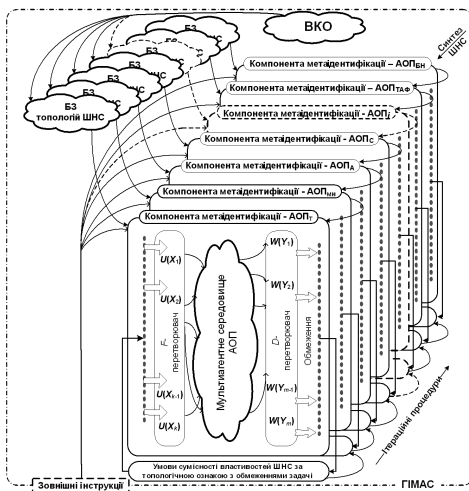


Рис. 3 – Узагальнена модель ГІМАС вибору ШНС

фікації може реалізовуватися певними топологіями ШНС з функціями ФСІА.

**Твердження 9.** Оскільки будь-яке застосування ШНС для розв'язання прикладних задач асоціюється з механізмом *прийняття рішень*, рівно як і прийняття рішень, в свою чергу, базується на перебиранні можливих варіантів і виборі задовольняючого заданий показник ефективності, в якості *загального розв'язувача поставленої задачі* – вибору топології ШНС, яка відповідає “образу” ефективного задоволення критеріїв обслуговуваності вимог прикладної задачі – *можна використовувати певну топологію ШНС*.

Саме перевірка при реалізації покрокового алгоритму синтезу ШНС виконання умов задоволення певною компонентою АОП відповідних ВОМЗ виявляється причиною появи лінгвістичних невизначеностей, опрацювання яких потребує використання методів і засобів нейро-фаззі-технологій із залученням для розв'язання процедур фаззіфікації та дефаззіфікації.

*Ітераційні процедури аналізу адекватності синтезованих топологій ШНС* дозволяють більш “тонко” відфільтрувати в процесі ідентифікації такі остаточні їх рішення, які у визначеній обмеженнями моделюваної задачі мірі задовольняють критерій узгодженості за даною властивістю створюваної ШНС.

Необхідні для підтримки процесів ідентифікації компоненти на кожному з кроків алгоритму синтезу ШНС надходять з відповідних баз знань (БЗ), а після узгодження з умовами задачі нові ре-

алізація поповнюють відповідні БЗ, тим самим розширюючи коло прикладних задач, для яких є вже готові розв'язки.

### Інтерпретаційна модель вибору топології штучної нейронної сітки”

На рис. 4 наведена узагальнена модель інтерпретації процесу вибору топології ШНС, заснована на реляційних відношеннях [1] між окремими компонентами НРКП, формування якого уявляє *першу складність* реалізації моделі.

*Друга складність* полягає у кількісному визначенні вагомості реляційних зв'язків між вирішними класифікаційними ознаками і реалізуються експертним рейтинговим оцінюванням альтернативних варіантів із застосуванням методів ранжирування та попарних порівнянь [9]. Відповідні дослідження потребують глибоких і ретельних проробок щодо однозначності розв'язання цієї частини задачі адекватного вибору ШНС. На рис. 4 наведені умовні кількісні результати попередніх опрацювань джерельних даних, які, не претендуючи на строгість експертного оцінювання, можна розглядати як приклад загальної постановки при розв'язанні задачі адекватного вибору ШНС в інтерпретаційній моделі. Згідно із *Твердженням 8*, в АОП функції ФСІА можна реалізувати певними топологіями ШНС.

Таким чином, кожний з етапів ЛМПС концептуальної моделі процесу вибору топології ШНС (рис. 1) з послідовностями реалізації у вигляді траєкторій  $tr_{opt}$  руху (рис. 2), визначених повним функціональним оргграфом процесу синтезу ШНС з бажаною топологією, можна відтворювати топологіями ШНС у вигляді *нейросіткової моделі реалізації такого графа* (рис. 5).

За таких умов процедура синтезу бажаної топології ШНС буде полягати у настроюванні ваг складових  $\Phi_{БН}$ ,  $\Phi_{АФ}$ ,  $\Phi_{АШНС}$ ,  $\Phi_{СШНС}$ ,  $\Phi_{МНШНС}$ ,  $\Phi_{МСШНС}$ ,  $\Phi_{БТШНС}$  нейросіткової моделі на поточні значення експертних рейтингових оцінювань альтернативних варіантів з урахуванням вагомості реляційних зв'язків (див. рис. 4) згідно вимог ВОМЗ для відповідного етапу синтезу. В решті решт, виконуючи ітераційні процедури настроювання, можна згідно із *Означенням 5* отримати траєкторію  $tr_{opt}$  руху, визначувану перетином складових топології ШНС з максимальними до ВОМЗ показниками відповідності. Ті самі міркування в процесі синтезу бажаної топології ШНС стосуються і процедур керування етапами узагальненої моделі ГІМАС (рис. 3).

Як приклад, на рис. 5 жирною лінією виділений слід умовно оптимальної траєкторії  $tr_{оптум}$ , яка в результаті багатоітераційного перебирання визначає складові (4) умовної бажаної топології ШНС.

Запропонований підхід щодо автоматизованого синтезу ШНС з бажаною топологією не претендує на вичерпне розв'язання цієї архіважливої і вкрай трудомісткої задачі, але надає уявлення про

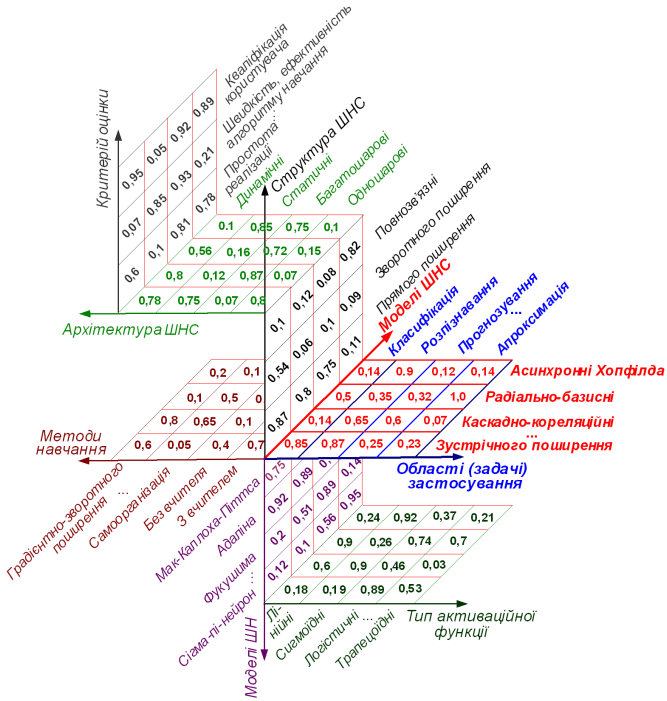


Рис. 4 – Інтерпретаційна модель вибору топологій ШНС

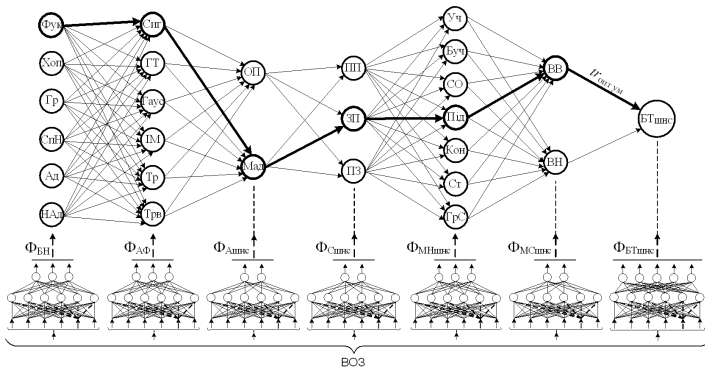


Рис. 5 – Нейросіткова модель реалізації повного функціонального орграфу синтезу ШНС з бажаною топологією

шляхи подолання протиріччя між обмеженими можливостями ко-

ристувача і різноманітністю прикладних задач.

### **Можливі способи реалізації вибраної/синтезованої топології штучних нейронних сіток**

Частіше за все використовують *програми-нейроімітатори* (емуляції) – вони працюють на звичайних комп'ютерах, а сучасні нейроалгоритми дозволяють швидко опрацювати значні обсяги інформації, тобто використовувати ШНС для розв'язання складних реальних задач.

Програми охоплюють як набори базових операцій по створенню, навчанню і маніпулюванню нейронними сітками, вхідними даними, властивостями НС і нейрорішень, так і автоматизовані процедури виконання найбільш рутинних ланцюжків дій, зокрема, щодо визначення оптимальних налаштувань сітки та алгоритму навчання.

*Універсальні сучасні нейропрограми* пропонують можливості згенерувати опис навченої нейросітки на деякій мові програмування – для того, щоб отриманий програмний модуль можна було “вмонтувати” в програму користувача. Також програма користувача може використовувати засоби міжпрограмної комунікації (DDE, OLE, COM в середовищі Windows) для організації доступу до нейросіток в універсальних нейропрограмах (нейросітка залишається функціонувати в середовищі утворившої її нейросіткової програми, а програма користувача тільки формує необхідні команди-дані та отримує результати).

На *специфічні обчислювальні архітектури* (наприклад, сигнальні процесори) зазвичай переносять згенерований програмою нейроімітатором опис навченої НС мовою програмування (наприклад, мовою С). Для ПЛИС/PLM/FPGA-кристалів існують і САД-системи, в яких номенклатуру нейроелементів можна створити (описати) у виді набору модулів і потім з цих модулів шляхом вибору і “перетягання” мишкою скласти необхідну топологію-архітектуру НС, а далі проект скомпілювати і “прошити” кристал. Сьогодні вже можливо створювати нейрокомп'ютери на базі відеомап (графічних процесорів).

Отже, існує широкий спектр досить універсальних способів організації інструментальних засобів і процесу застосування НС на різноманітній програмно-апаратній базі – все визначається властивостями задачі і вимогами до її розв'язання, а також компетенцією користувача або розробника. Проте вибір саме топології НС, яка в найбільшій мірі відбиває властивості і задовольняє вимоги розв'язуваної задачі, поки ще віддається на розсуд користувача і не позбавлена суб'єктивізму.

Зрештою, вперше запропонований в [2] побудований на НВКО класифікатор ШНС, а також наведена вище інтерпретаційна модель вибору адекватної топології ШНС є основою для автоматиза-

ції цього процесу, що дозволить усунути суб'єктивний фактор некомпетентності користувача і реалізувати в автоматизованому виді логічну схему поетапного синтезу ШНС.

### Список використаних джерел

1. *Ямпольский Л.С.* Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / Л.С. Ямпольский, О.М. Калинин, М.М. Ткач. – К.: Вища шк., 1987. – 271 с.
2. *Ямпольский Л.С.* Аналітичний підхід до вибору топології нейросіток при розв'язанні прикладних задач // АСАУ, 2012 № 20 (40). – С. 159–179.
3. *Ямпольский Л.С.* Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління: комплекс підруч. в 2-х книгах з мультимедійними комп'ютерно-інтегрованими засобами ДВН для студ. вищ. навч. закл. / Л.С. Ямпольський; П.П. Мельничук; К.Б. Остапченко; О.І. Лісовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 786 с.
4. *Ямпольский Л.С.* Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: комплекс підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680 с.
5. *Ямпольский Л.С.* Мультиагентная реализация выбора топологии нейросетей для моделирования прикладных задач / Л.С. Ямпольский, Е.С. Пуховский, О.И. Лисовиченко / В научном сб.: Българско списание за инженерно проектиране. – София: Технически университет, Брой №20, октомври 2013. – С. 75–92
6. *Ямпольский Л.С.* Нейротехнології та нейросистеми / К.: Монографія. – “Дорадо-Друк”, 2015. – 508 с.
7. *Ямпольский Л.С.* Нечітка ітераційна метаідентифікація штучних нейросіток в мультиагентному середовищі // Вісник кіровоградського національного технічного університету – Кіровоград: КНТУ. – № 26 – 2013. – С. 207–218
8. *Ямпольский Л.С., Пуховский Е.С.* Концептуальна модель групового виробництва // АСАУ, 2008 № 11(31). – С. 99–111.
9. *Ямпольский Л.С.* Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л.С. Ямпольський; Б.П. Ткач; О.І. Лісовиченко. – К.: ДП “Вид Дім “Персонал”, 2011, – 544 с.

Отримано 10.10.2015 р.