



УДК 681.335:004.891

**НЕЙРОМЕРЕЖЕВА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ  
В АВТОМАТИЗОВАНОМУ УПРАВЛІННІ НАВЧАННЯМ**

**Т.Л. МАЗУРОК, Ю.К. ТОДОРЦЕВ**

Створено формальну логіко-математична модель управління навчанням в умовах компетентнісного підходу. Запропоновано нейронечіткий підхід прийняття рішень, що базується на послідовному визначенні ступеня інтеграції та визначення найсуттєвішого впливу міжпредметних зв'язків на досягнення компетенцій. Наведено результати практичної реалізації.

**ВСТУП**

Підвищення ефективності використання інформаційно-комунікативних технологій (ІКТ) у навчанні пов'язано з неухильністю тенденції зміни акценту з пасивної ролі інструментарію на активну роль управління навчанням як цілісним процесом. Розгляд процесу навчання з точки зору управління є плідною працею, що має багатоаспектний характер. Основу розробки методів автоматизованого управління навчанням складають дослідження в галузі психологічних теорій навчання, дидактики, системного аналізу, кібернетики, теорії управління, теорії адаптації та теорії створення інтелектуальних систем.

Аналіз останніх публікацій щодо автоматизованого управління навчанням та практичний досвід використання систем управління навчанням LMS (Learning Management System — система управління навчанням) та LCMS (Learning Content Management System — система управління навчальним контентом) свідчать про те, що до основних функцій таких систем мають належати такі:

- формування репозиторія освітніх ресурсів;
- облік осіб, що навчаються;
- формування індивідуальних навчальних планів і розкладів;
- управління доступом до комп'ютерних систем навчання та контроль виконання навчальних планів;
- забезпечення взаємодії осіб, що навчаються, з викладачами;
- аналіз роботи осіб, що навчаються, з комп'ютерними системами навчання;
- адміністрування.

Однак процес формування індивідуальних навчальних планів викладачем зазвичай неавтоматизований, тому є трудомістким, вимагає інтелектуальної напруги і, як наслідок, призводить до відсутності індивідуалізованих послідовностей навчальних елементів.

Тому загальна проблема вдосконалення автоматизованих систем управління навчанням є актуальною, а відсутність засобів інтелектуальної підтримки формування індивідуальних траєкторій навчання з урахуванням багатогранних дидактичних вимог дозволяє стверджувати, що ця проблема є невирішеною.

**Мета роботи** — дослідження процесу формування індивідуальних траєкторій навчання, як багатокрокового процесу прийняття рішень в умовах слабкої формалізованості та невизначеності щодо оптимального вибору наступного навчального елементу з урахуванням сучасних дидактичних вимог.

### **ДИДАКТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Аналіз сучасних дидактичних вимог до індивідуалізованого навчання висвітлює деякі основні напрямки, за якими можливо підвищити ефективність навчання. Це стосується використання засобів ІКТ для формування діагностично заданої індивідуальної мети навчання, ідентифікації початкового стану особи, що навчається, формування множини альтернативних послідовностей управляючих впливів, а це гарантовано призводить до досягнення мети та вибір оптимальної з них за критерієм використання ресурсів (часу, коштів тощо) [1, 2]. Такий підхід є інваріантним по відношенню до форми навчання — від традиційної в умовах школи, вищого навчального закладу і т.д. до різних форм електронного навчання. Це дає змогу здійснювати навчання протягом усього життя для всіх осіб, які потребують навчання [3], що узгоджується з основними принципами Болонської декларації [4].

З точки зору дидактики під час формування послідовностей управляючих впливів необхідно врахувати такі елементи: групи показників домінуючих здібностей, психофізичного стану, цілей навчання; показників щодо обмежень використання ресурсів; початковий та поточний стан навчальних досягнень. Під час формування змісту навчання важливим є врахування логічних взаємозв'язків між навчальними елементами як внутріпредметного, так і міжпредметного характеру.

Для автоматизації управління навчанням велике значення має коректно або діагностично задана ціль навчання. У сучасних умовах упровадження компетентнісного підходу доцільним є формування моделі цілі навчання як системи компетенцій. Компетенції є міждисциплінарними характеристиками, їх досягнення можливо на основі інтегрування навчальних дисциплін. Здійснення процесу навчання має проводитись у межах єдиної дидактичної системи, принаймні впродовж певних відрізків часу.

Таким чином, сучасні дидактичні вимоги до індивідуалізованого навчання призводять до такого формулювання педагогічної задачі: для гомогенної групи осіб, що навчаються, досягти діагностично задану ціль у вигляді системи компетенцій, як наслідок, оволодіння достатнім та безнадлишковим обсягом міжпредметного змісту засобами оптимально створеного процесу навчання. Аналіз дидактичних вимог дає змогу перейти до формального опису навчання як цілеспрямованого процесу, що управляється.

## ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ

Відомо, що основу будь-якої діяльності створюють відношення між елементами (об'єктами) цієї діяльності. Для процесу навчання це відношення між елементами множин навчальних дисциплін, осіб, що навчаються, компетенцій, що формуються, а також відношення, що утворюються між елементами серед кожної з цих множин. Тому, в якості мови опису процесу навчання доцільно обрати мову алгебри відношень. Наведемо стисло характеристику множин, що розглядаються, та задамо відношення між їх елементами. Розглянемо навчальний процес у вигляді складної системи, що управляється. З метою спрощення та зменшення розмірності задачі, а також притримуючись узагальненої схеми управління процесом навчання [5], припустимо, що складна система складається з множини осіб, що навчаються,  $\{l_1, l_2, \dots, l_n\} \in L$  множини монопредметних структурованих навчальних дисциплін  $\{d_1, d_2, \dots, d_n\} \in D$ , кожна з яких складається з множини навчальних елементів (НЕ); множини компетенцій, що формуються  $\{k_1, k_2, \dots, k_n\} \in K$ . Взаємозв'язки між вказаними елементами, що складають систему управління навчанням на макрорівні, зображено на рис. 1.

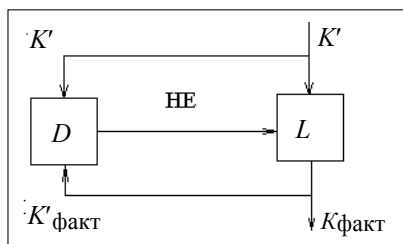


Рис. 1. Загальна структурна схема управління навчанням

враховуючи визначаючу роль викладача, як одного з суб'єктів УУ у формуванні структури навчальної дисципліни, управляючу систему подано у спрощеному вигляді на схемі множиною  $D$ , а командна інформація — у вигляді НЕ. Інформація щодо стану зовнішнього середовища у вигляді вимог до компетенцій позначена на схемі  $K$ , а  $K'$  — інформація, що формуються про систему компетенцій, яка знаходиться в системі управління. Для реалізації зворотного зв'язку використовується інформація про стан ОУ у вигляді фактично досягнутого рівня кожного з елементів компетенції —  $K$  факт та відповідна їй інформація, що наявна в системі управління —  $K'$  факт.

Схему інтелектуального управління навчанням, побудовано відповідно до теорії функціональної системи [6], зображено на рис. 2. На підставі даних про навколишнє середовище та власний стан системи за наявності потреби і мотивації синтезується мета, яка разом із іншими даними сприймається системою, що здійснює нечіткий логічний висновок. Отримання висновку здійснюється на основі використання баз знань (БЗ) науки, що формує БЗ навчальної дисципліни, а також БЗ, що містить дидактичні рекомендації та БЗ у вигляді нечітких правил продукції щодо доцільності встановлення системи міжпредметних зв'язків. На основі спрацювання логічного висновку

ухвалюється рішення про дію, тобто вибір наступного НЕ і прогноуються результати дії у вигляді досяжності необхідної компетенції (акцептор дії). Відповідно до ухваленого рішення здійснюється управління, тобто навчальна дія за допомогою дидактичних засобів. У цьому виявляється дія на ОУ. Результати контролю засвоєння рекомендованої послідовності НЕ порівнюються з прогнозованими (механізм зворотного зв'язку, акцептор дії). У випадку невідповідності результатів на базі нової експертної оцінки ухвалюється рішення, виробляється та реалізується управління, що знімає цю невідповідність, тобто виконується етап корекції. При відповідності результатів підкріплюється попереднє управління. Якщо відповідність недосяжна, то уточнюється мета. Наведена схема є конкретизацією інваріантної структури функціональної системи аферентного синтезу, який є результатним для побудови будь-якої цілеспрямованої діяльності.

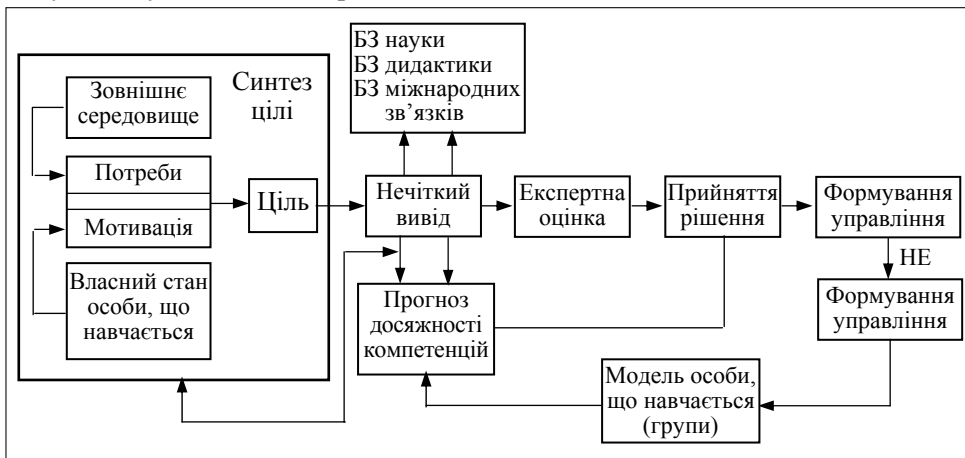


Рис. 2. Структурна схема інтелектуального управління навчанням

Розглянемо стисло характеристику кожного елементу з даної множини  $L, D, K$ . Існує безліч підходів до завдання відносин між особами, що навчаються. Проте, з точки зору управління, на наш погляд, найбільш ефективним є розбиття множини  $L$  на гомогенні (однорідні) групи відповідно до індивідуальних характеристик осіб, що навчаються. Дидактичне обґрунтування необхідності такого розбиття наведено в [2]. Різні форми автоматизованого навчання, зокрема, дистанційне навчання, дозволяє формувати віртуальні колективи осіб, що навчаються, за критеріями пізнавальних здібностей. При даному розбитті можливо зменшити розмірність множини управляючих впливів із збереженням врахування індивідуальних характеристик осіб, що навчаються. Таким чином, множина осіб, що навчаються,  $L$  складається з підмножин  $L_1, L_2, \dots, L_{nl}$ , причому:

$$L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_{nl} = L.$$

Кожна з груп  $L_i$  характеризується набором атрибутів  $\langle P3, CA \rangle$ , де  $P3$  — рівень засвоєння,  $CA$  — ступінь абстракції. Згідно із одним відомим методом матричного зіставлення особових властивостей і видів суспільно-виробничої діяльності, визначено вісім основних компонентів у структурі інтелекту, формування яких сприяє якнайкращій реалізації генетичних завдатків індивіда. Таким чином,

$$L_i = \{\langle YV, CA \rangle_j\}, \quad j = \overline{1, 8},$$

де  $j$  — основні компоненти в структурі інтелекту (наприклад, логіко-математичний, просторовий тощо).

Відповідно до ієрархічної структури монопредметної навчальної дисципліни визначимо множину  $d_i$  як сукупність підмножин розділів  $d_i^{rk}$ , тем  $d_i^{tm}$ , навчальних елементів  $d_i^{eb}$ , де індекси  $k, m$  та  $b$  визначають потужність відповідних підмножин, тобто кількість розділів, тем і НЕ відповідно. Тоді, використовуючи відношення включення, можна записати:

$$\left( (d_i^{eb} \subset d_i^{tm}) \subset d_i^{rk} \right) \subset d_i \subset D.$$

Аналогічно опишемо підмножини формованих компетенцій. Відповідно до [7] виділяються загальнонаукові компетенції —  $k_j^{\text{on}f}$ , соціально-особові —  $k_j^{\text{sl}g}$ , спеціалізовано-професійні —  $k_j^{\text{sp}h}$ , загально-професійні —  $k_j^{\text{op}t}$ , інструментальні —  $k_j^{\text{in}p}$ , де індекси  $f, g, h, t, p$  визначають потужність відповідних підмножин, тобто кількість відповідних компетенцій у вказаних групах.

Слід зазначити, що процес формування компетенцій відображає властивість емерджентності, яке виявляється в тому, що досягнення системи компетенцій не дорівнює сумі знань, вмінь і навичок із кожної навчальної дисципліни. Таким чином,

$$k_j \neq d_1 + d_2 + \dots + d_m.$$

У загальному випадку в досягненні компетенцій беруть участь окрім навчальних дисциплін множина міжпредметних зв'язків  $\{mp_{1-2}, mp_{2-3}, \dots, mp_{x-y}\} \in MP$ , де  $mp_{x-y}$  — множина міжпредметних зв'язків між навчальними дисциплінами  $x$  та  $y$ .

Отже, формування компетенцій, наприклад, в умовах традиційної вищої освіти можна представити за допомогою відношення включення:

$$D \cup MP \subset K.$$

Задамо відносини між розглянутою множиною осіб, що навчаються —  $L$ ; навчальними дисциплінами —  $D$ ; системою компетенцій, що формуються —  $K$ . Відношення між елементами множин  $L$  та  $D$  відповідають множині відносин «опанувати навчальним матеріалом». Позначимо його  $O^*$  (знак  $*$  використовується для того, щоб відрізнити множину елементів системи від множини відносин). Тоді можна записати як  $LO^*D$ . Такий запис означає, що множина осіб, що навчається, опановує множиною навчальних дисциплін. Множина відносин між елементами множин  $D$  та  $K$ ,  $L$  та  $K$  позначимо  $F^*$  та  $W^*$  відповідно. Вони означають:  $F^*$  — «формує компетенцію» і  $W^*$  — «досягти компетенції» відповідно.

У зв'язку з тим, що для формування послідовності навчання НЕ необхідно врахувати внутрішньопредметні та міжпредметні зв'язки, введемо

відношення між НЕ, що відображають вказані взаємозв'язки. Схема можливих взаємозв'язків між НЕ показана на рис. 3. На схемі позначено такі види відношень:

- 1 — відношення «НЕ, що вивчається» входить до «вивчення теми» — відношення підлеглості;
- 2 — відношення «НЕ, що вивчається» є наступним за «НЕ, що є вивченим» — відношення слідування;
- 3 — відношення «НЕ, що вивчається» передує «НЕ» — відношення передування;
- 4 — відношення «міжпредметний зв'язок» між НЕ і темою (відповідає відношенню, що використовується в дидактиці, «частина–ціле» [8]);
- 5 — відношення «міжпредметний зв'язок» між НЕ навчальних дисциплін  $d_1$  та  $d_2$  («частина–частина»);
- 6 — відношення «міжпредметний зв'язок» між темами навчальних дисциплін  $d_1$  та  $d_2$  («ціле–ціле»).

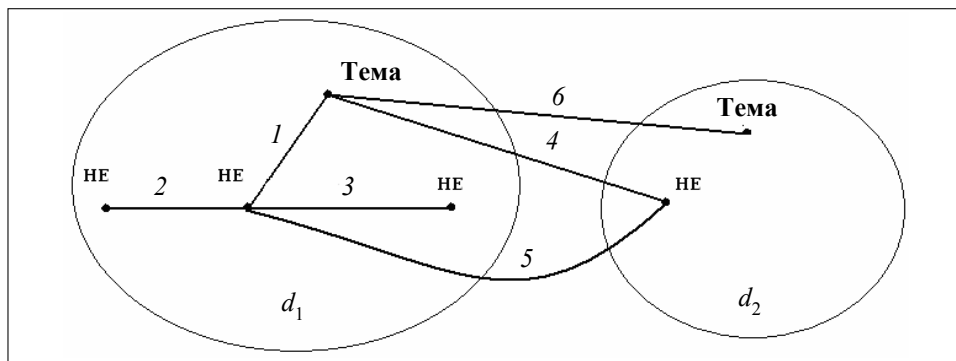


Рис. 3. Схема взаємозв'язків між НЕ

Усі інші можливі відношення між структурними елементами навчальних дисциплін зводяться до шести видів відношень, що розглянуто. Наприклад, відношення, що виражає міжпредметний зв'язок між темами і розділами, розділами та навчальними дисциплінами відносяться до 4-го виду відношень — «частина–ціле». Аналогічно вводяться відношення підлеглості, слідування та передування тем, розділів, навчальних дисциплін. Для відображення взаємозв'язків між навчальними дисциплінами використовується відношення «ступінь інтеграції». Між елементами множин  $MP$  та  $K$  вводиться відношення вміщення.

На основі детального розгляду множин та відношень між ними, що виникають під час вибору послідовності НЕ, а також враховуючи визначення моделі  $M$ , що наведено в [9], де моделлю називається кортеж, що складається із деякої множини та відношень на цій множині, можна записати:

$$M^L = \langle L, \subset \rangle, \quad M^D = \langle D, \subset \rangle,$$

$$M^K = \langle K, \subset \rangle, \quad M^{MP} = \langle MP, \rho, \tau \rangle,$$

де  $\rho$  — відношення підлеглості що виражає міжпредметний зв'язок «частина–ціле»;  $\tau$  — відношення толерантності, що виражає наявність міжпредметного зв'язку між елементами одного рівня («частина–частина», «ціле–ціле»).

Модель взаємозв'язків між системою міжпредметних зв'язків та системою компетенцій має вигляд:

$$M^{MP,K} = \langle MPF * K \rangle.$$

Відношення між розглянутими множинами мають графічну інтерпретацію у вигляді 16 неорієнтованих графів, кожен з яких має власне змістовне наповнення.

Таким чином, отримано моделі  $i$ -х станів системи  $M_i^c$ , сукупність яких складає сигнатуру формальної базової теорії  $T$ . Стани системи для кожного з графів можна формально описати так:

$$\begin{aligned} M_1^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_2^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_3^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_4^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_5^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_6^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_7^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_8^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_9^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{10}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{11}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{12}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{13}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{14}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{15}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\ M_{16}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle. \end{aligned}$$

Кортеж символів  $\Sigma = \langle M_1^c, M_2^c, \dots, M_{16}^c \rangle$  згідно з [9] є сигнатурою. Над цією сигнатурою можливо у подальшому визначити аксіоматику. На основі

схеми управління визначається система нелогічних аксіом за допомогою кореспонденції відношень. Наприклад, однією з аксіом є така:

$$f^{-1}(M_2^c, M_3^c) \xrightarrow{\text{Kor}} M_6,$$

де  $\xrightarrow{\text{Kor}}$  позначає кореспонденцію відношень. Наприклад, кореспонденцію відношень з  $M_2^c$  та  $M_3^c$  в  $M_6$  показано на рис. 4.

Над сигнатурою, яку наведено, побудовано систему з 22 аксіом, кожна з яких має вигляд кореспонденції відношень:

$$f^{-1}(M_i^c) \xrightarrow{\text{Kor}} M_i.$$

З урахуванням системи станів  $M_i^c$ , системи аксіом сформовано правила нечіткого виводу, які є скінченною послідовністю формул, остання з яких є наслідком попередньої. Таким чином, узагальнене правило виводу має вигляд:

$$\frac{\Phi_1, \dots, \Phi_{15}}{T},$$

де  $\Phi_1, \dots, \Phi_{15}$  — передумови правил, а  $T$  — висновок.

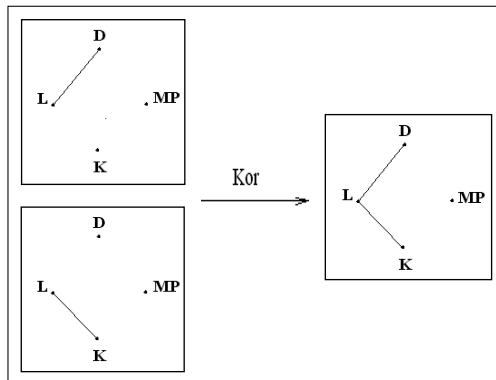


Рис. 4. Ілюстрація операції кореспонденції відношень

Логіко-математична модель склала основу для розробки основних модулів, що реалізують інтелектуальну підтримку процесу прийняття рішень тьютором під час розробки індивідуальних траєкторій навчання. Основу прийняття рішень складає система взаємозв'язків між системою міжпредметних зв'язків та системою компетенцій, що формується.

## СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ КОМПЕТЕНЦІЙ

Важливим етапом системного аналізу процесу навчання є створення структурної моделі компетенцій. У загальному вигляді модель компетенцій має вигляд:

$$\{S\} = S_1 \otimes S_2 \otimes S_3 \otimes \dots \otimes S_n,$$

де  $S_i$  — підсистема компетенції;  $n$  — кількість видів компетенцій;  $\otimes$  — знак узагальненого добутку (теоретико-множинної або логічної відповідності).

З іншого боку, модель компетенцій можна подати у вигляді ієрархічної функціональної структури (рис. 5), що складається з підсистем, компонентів та вимірюваних елементів.

За основу створення моделі прийнято предметно-діяльнісний (спеціальний) аспект розгляду компетенцій, що відображає необхідні професійні знання, вміння та навички. Джерелом професійних вимог до випускників ВНЗ, наприклад, є стандарти освіти у вигляді освітньо-кваліфікаційних характеристик (ОКХ) та освітньо-професійних програм (ОПП).

Вимоги до компонентів предметно-діялісної компетенції:

$$S_i = \{S_v \mid v = \overline{1, k_i}\}.$$



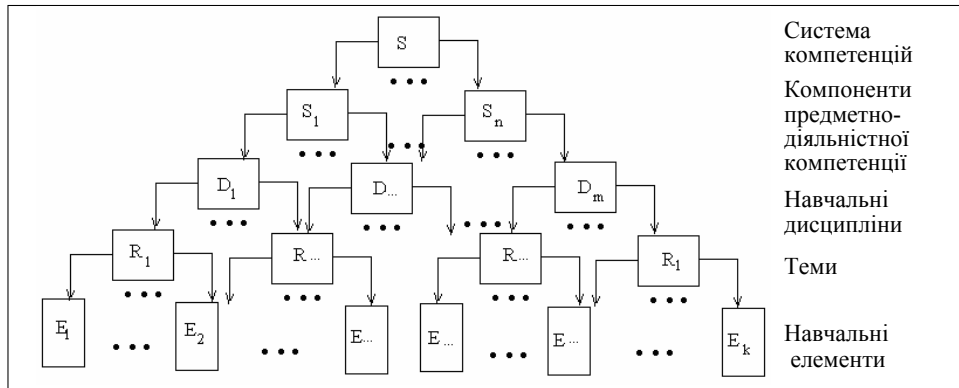


Рис. 5. Модель компетенцій у вигляді ієрархічної структури

На основі множини, що задано  $S_i$ , необхідно побудувати послідовність перетворень:

$$F_{sd}: S_i \rightarrow \bigcup_{d=1}^m D_d; F_{dr}: D_d \rightarrow \bigcup_{r=1}^l R_r; F_{re}: R_r \rightarrow \bigcup_{e=1}^k E_e.$$

Особливістю ієрархічної системи, що розглядається, є те, що в умовах традиційно обумовленого монопредметного навчання під час формування конкретних компонентів  $S_i$  беруть участь підмножини множин  $D, R, E$ . Так, для  $D$ :

$$D_d = \left( \bigcup_{j=1}^{m_1} R_j \right) \cup \left( \bigcup_{j=1}^{m_2} R_j \right) \cup \dots \left( \bigcup_{j=1}^{m_d} R_j \right),$$

причому  $m_1 \cup m_2 \cup \dots \cup m_d = m$ .

Аналогічно для  $R$ :

$$R_r = \left( \bigcup_{j=1}^{l_1} E_j \right) \cup \left( \bigcup_{j=1}^{l_2} E_j \right) \cup \dots \left( \bigcup_{j=1}^{l_r} E_j \right),$$

де  $l_1 \cup l_2 \cup \dots \cup l_r = l$ .

Однак формування компетенцій являє собою процес, який базується на поглибленні інтегрованих форм навчання. Однією з найбільш поширених форм інтеграції є система міжпредметних зв'язків.

### МОДЕЛЬ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Формування моделі системи міжпредметних зв'язків базується на структурно-параметричному описі монопредметних навчальних дисциплін, які інтегруються та експертній інформації щодо взаємозв'язків між окремими елементами вказаних структур.

Управління ступенем взаємозв'язків між навчальними дисциплінами здійснюється на основі результатів кластеризації, за допомогою якої визначається ступень взаємозв'язку до одного з трьох класів: взаємозв'язок, міжпредметний зв'язок та інтеграція. У зв'язку з тим, що формальний опис відношення «взаємозв'язок» має суб'єктивний характер, то доцільно ввести в модель міжпредметних зв'язків набір нечітких правил, за допомогою яких

робота експерта-викладача буде максимально наближеною до природної мови. До того ж, використовуючи переваги нейронної мережі, можливо підвищити об'єктивність управляючого впливу. Для сумісного використання нейронних мереж та нечіткого логічного виводу використовується апарат нечіткої нейронної мережі (Fuzzy Neural Networks) [10].

У даному випадку шари нейронної мережі виконують функції елементів системи нечіткого виводу (рис. 6). Вхідна та відповідна їй вихідна інформація обробляються за допомогою двох інтерфейсів, що побудовані на основі теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Основна функція цих інтерфейсів полягає в перетворенні інформації до такого вигляду, який дозволяє провести обробку за допомогою класичної нейронної мережі.

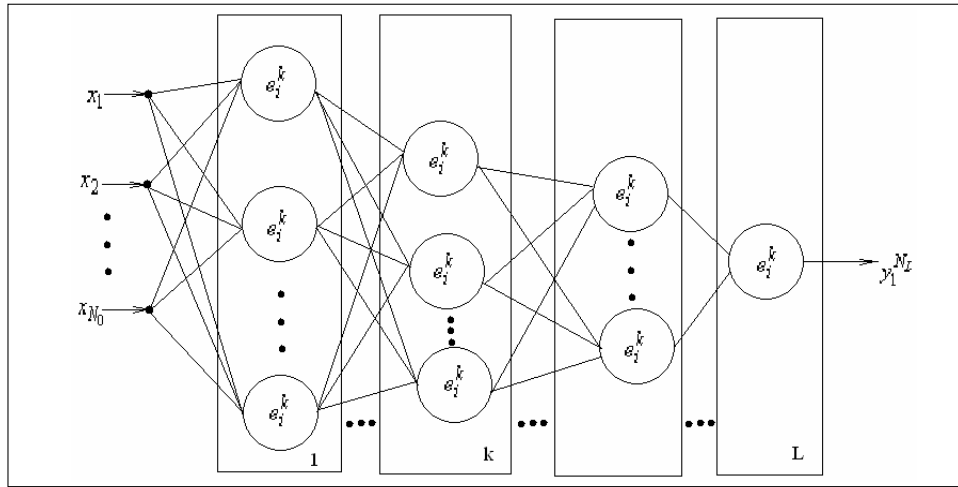


Рис. 6. Структура нейронної мережі

В якості вхідної інформації для ієрархічної моделі міжпредметних зв'язків використовується експертна інформація, що була отримана за допомогою спеціально розробленого редактора міжпредметних зв'язків щодо погляду педагогів-предметників щодо доцільності взаємопов'язаного вивчення окремих навчальних елементів монопредметних курсів. Лінгвістична змінна  $w$  описана за допомогою терму «ступінь взаємозв'язку», що складається з таких значень  $T_\varepsilon = \{\text{«відсутня»}, \text{«скоріш за все доцільна»}, \text{«напевно доцільна»}\}$ .

У структурі нейронної мережі виділяються чотири спеціальних шари: шар 1 (L1) — блок введення нечіткості (визначення функції належності); шар 2 (L2) — база правил з методом нечіткого виводу; шар 3 (L3) та шар 4 (L4) — складають блок приведення до чіткості. Вихідна змінна  $y$  призначена для визначення ступеня інтеграції між монопредметними навчальними дисциплінами, що призводить до досягнень відповідних компетенцій.

Вихідний сигнал мережі визначається за формулою:

$$y = \frac{\sum_{r=1}^m w_r \exp \left[ - \left( \sum_{j=1}^n x_j - c_{rj} \right)^2 / (2\lambda_r^2) \right]}{\sum_{r=1}^m \exp \left[ - \left( \sum_{j=1}^n (x_j - c_{rj}) \right)^2 / (2\lambda_r^2) \right]},$$

де  $r$  — номер продукційного правила;  $w_r$  — вагові коефіцієнти шару, що обчислює результуючу функцію належності передумов нечітких правил;  $c_r$  та  $\lambda_r$  — постійні параметри ( $c_r = 0$ ,  $\lambda_r = 1$ );  $m$  — кількість нейронів першого шару, що визначається в залежності від кількості навчальних елементів (НЕ) у дисциплінах, що інтегруються:  $m = n_1 * n_2$ , де  $n_1$  — кількість НЕ, умовно кажучи, «першої» навчальної дисципліни,  $n_2$  — кількість НЕ «другої» навчальної дисципліни. У зв'язку з тим, що в загальному випадку можливі двобічні взаємозв'язки, то з урахуванням напрямку взаємозв'язків зменшити кількість нейронів першого шару не вдається.

Нечіткі правила мають вигляд:

$$\text{ЯКЩО "e1} \in \alpha" \text{ I "e2} \in \beta" \text{ ТО "w} \in \varepsilon",$$

де  $e1$  та  $e2$  — змінні, що характеризують монопредметну область, що інтегрується (наприклад,  $e1$  = «інформатика»,  $e2$  — «економіка»);  $\alpha$  та  $\beta$  — відповідні значення вказаних змінних;  $\varepsilon$  — значення лінгвістичної змінної  $w$ , яка описується за допомогою терму «ступінь взаємозв'язку».

Нейронечітка модель міжпредметних зв'язків дозволяє визначити ступінь інтеграції монопредметних навчальних дисциплін у вигляді значень лінгвістичної змінної. Однак досягнення ступеня інтеграції можливо, в загальному випадку,  $k^2$  засобами, де  $k$  — загальна кількість НЕ, що підлягає обов'язковому вивченню для формування певної компетенції. Так, у реальних системах  $k \approx 100 \dots 1000$ , які обумовлюють доцільність використання еволюційного підходу [11] для досягнення відповідних компетенцій.

## НЕЙРОНЕЧІТКА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ МІЖПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ

Під кластеризацією розуміють процес об'єднання об'єктів у групи (кластери) на основі схожості ознак для об'єктів однієї групи і відмінностей між іншими групами. Кластеризація може використовуватись в умовах майже повної відсутності інформації щодо законів розподілу даних, що відповідає специфіці використання цього підходу у задачі аналізу компетенцій.

Вхідною інформацією для етапу аналізу компетенцій у загальній схемі управління змістовною стороною навчання є матриця:

$$SI = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1ns} \\ s_{22} & s_{21} & \dots & s_{2ns} \\ \dots & & & \\ s_{N1} & s_{N2} & \dots & s_{Nns} \end{bmatrix}.$$

У зв'язку з тим, що визначення точної кількості компетенцій, що формуються,  $S$  є ускладненим, то найбільш доцільним методом кластеризації є метод гірської кластеризації, яку запропоновано Р. Ягером і Д. Филевим [12].

На першому кроці алгоритму необхідно сформувати потенційні центри кластерів. Для цього проводиться дискретизація простору вхідних ознак  $[0,1]$  на 10 інтервалів проводячи через точки розбиття прямі, що паралельні координатним осям. Отримуємо «решітковий» гіперкуб. Вузли такої решіт-

ки відповідають центрам потенційних кластерів. Нехай  $q_r$  — це кількість значень, які можуть приймати центри класів за координатою  $r$ . Тоді кількість можливих кластерів визначається на основі формули:

$$Q = \prod_{r=1, N} t_r .$$

На другому кроці алгоритму обчислюється потенціал центрів кластерів за такою формулою:

$$P(Z_h) = \sum_{k=1, N} \exp(-\alpha D(Z_h, SI_i)),$$

де  $Z_h$  — потенційний центр кластеру  $h$ ,  $h = \overline{1, Q}$ ;  $\alpha$  — додатна константа;  $D(Z_h, SI_i)$  — відстань між потенційним центром кластеру й об'єктом класифікації в евклідовому просторі, що обчислюється за формулою:

$$D(Z_h, SI_i) = \sqrt{\|Z_h - SI_i\|} .$$

На третьому кроці алгоритму виконується ітераційна процедура перерахунку потенціалів і виділення центрів класів доти, поки значення потенціалів перевищує поріг, встановлений на основі евристичних міркувань. Щодо задачі, що розглядається, завершення ітераційної процедури пов'язано з досягненням орієнтовної кількості компетенцій  $n$ .

Синтез нечітких правил для управління системою компетенцій здійснюється на основі центрів кластерів  $V_i = (s_i, y_i)$ ,  $i = \overline{1, c}$ , де  $s_i$  — ступінь інтеграції,  $y_i$  — компетенція, що формується даним взаємозв'язком. Правила зв'язують вхід із виходом. Центру кластеру  $V_i$  задається у відповідність нечітке правило такого вигляду:

Якщо  $si$  = "близько"  $s_i$ , то  $y$  = "близько"  $y_i$ .

Функції належності цих нечітких термів задаються гаусовими кривими (рис. 7). Значення лінгвістичної змінної відповідає її термам є результатом обробки даних, що отримані від експертів — викладачів-предметників навчальних дисциплін, що інтегруються.

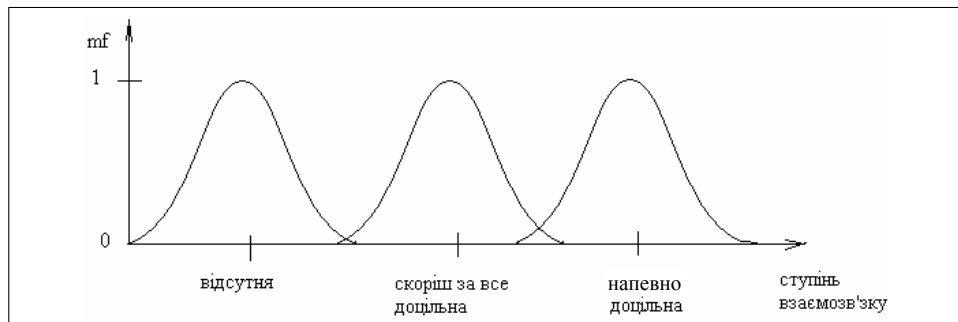


Рис. 7. Значення нечітких множин та їх функції належності

Аналогічного вигляду мають функції належності лінгвістичної змінної «ступінь впливу міжпредметного зв'язку на формування компетенції  $y_i$ », яка приймає такі значення: «низький», «нижчий за середній», «середній»,

«вища за середній», «високий». Кількість нечітких правил визначається кількістю всіх комбінацій множин передумов та висновків.

Отримана нечітка база знань складає основу для інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо управляючих впливів у автоматизованому навчанні з урахуванням взаємозв'язків між ступенем інтеграції навчальних дисциплін та компетенціями, що формуються.

## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Логіко-математична модель, що запропонована, склала основу для розробки інтелектуальної підтримки прийняття рішень під час формування індивідуальних траєкторій навчання студентів Одеського національного політехнічного університету. На основі структурування моделей навчальних дисциплін та міжпредметних зв'язків між ними визначено методами нечіткої кластеризації вектори ступенів інтеграції між дисциплінами, що найбільш суттєво впливають на формування компетенцій бакалаврів за фахом 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [13]. В якості інструменту дослідження було використано нейропакети NeuroPro і Excel Neural Package. Перевірка можливостей вказаних пакетів показала, що урахування значущості ступеня інтеграції не можливо на моделях кількісного характеру. Найбільш доцільною виявилась модель у вигляді сукупності кластерів. Визначення кластерів проводилось за допомогою пакету Excel Neural Package із використанням карти Кохонена, що самоорганізується. Так, наприклад, для формування компетенції «розробка автоматичної системи регулювання технологічними процесами» найбільш значущим виявилось інтегроване вивчення вищої математики та теорії автоматичного управління (оцінка значущості склала 0,798433), електротехніки та технічних засобів автоматизації (оцінка значущості склала 0,695227). У процесі кластеризації для розглянутої компетенції було виокремлено три кластери, інтерпретація яких дозволяє віднести до формуючих факторів ступені взаємозв'язків між такими дисциплінами, як вища математика, фізика та прикладна механіка. Отримані результати відповідають висновкам експертів — розробників стандарту на освітньо-кваліфікаційну характеристику.

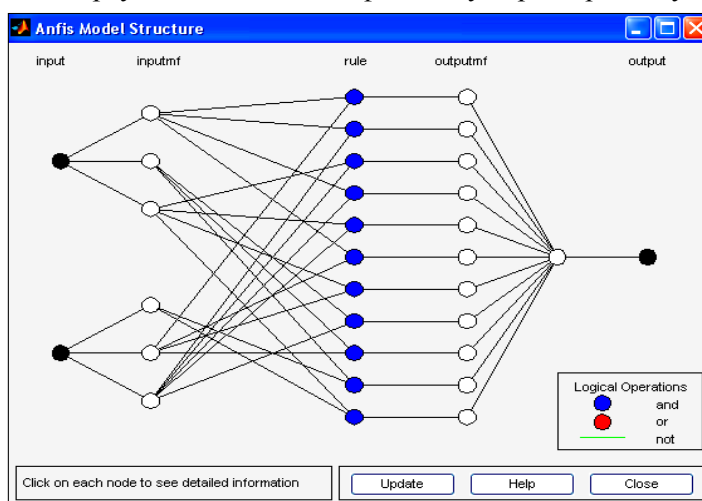


Рис. 8. Структура «навченої» нейромережі

Для підготовки вхідних даних до кластеризації використовується «навчання» нейронечіткої мережі за допомогою якої визначається коефіцієнт інтеграції між навчальними елементами двох дисциплін. На рис. 8 наведено приклад структури мережі, навчання якої відбулося на

основі нечітких правил за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox, що входить до складу системи Matlab. За допомогою редактора нечітких нейронних систем ANFIS Editor здійснюється створення структури нечіткої нейронної мережі, налагодження її параметрів, перевірка функціонування мережі.

## ВИСНОВКИ

Розгляд процесу навчання з позицій управління, розробка формальної основи для побудови правил продукцій склало основу для реалізації нейро-нечіткого управління ступенем міжпредметного зв'язку між навчальними дисциплінами. Подальша нейронечітка кластеризація дозволяє визначати під час формування індивідуальних траєкторій навчання найбільш значущі міжпредметні зв'язки з точки зору їх впливу на досягнення компетенцій. Отриманий підхід дозволяє врахувати основні дидактичні вимоги до систем управління індивідуалізованим навчанням в умовах компетентнісного підходу. До перспективних напрямків цього дослідження належить реалізація інтелектуальної підтримки у вигляді сценаріїв багатоагентної взаємодії учасників навчання і поширення взаємозв'язків та інтеграції між монопредметними навчальними дисциплінами від двох до загальної кількості дисциплін, що вивчаються водночас протягом певного періоду.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Gritsenko V., Synytsya K., Manako A. ICT competencies training in information society // Proceedings of the Third International Conference «New Information Technologies in Education for All: e-education». — Kiev: IRTC, 2008. — P. 9–16.
2. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). — М.: МПСИ, 2002. — 352 с.
3. 34 сессия Генеральной конференции ЮНЕСКО. — <http://unesdoc.unesco.org/>.
4. Болонський процес у фактах і документах (Сорбонна-Болонья-Саламанка-Прага-Берлін) / Упоряд.: М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, В.Д. Шинкарук, В.В. Грубіянко, І.І. Бабін. — Тернопіль: Вид-во ТДПУ ім. В. Гнатюка, 2003. — 52 с.
5. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. — Рига: Зинатне, 1988. — 160 с.
6. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 348 с.
7. Берстнева О.Г., Марухина О.В. Системный подход к оценке качества образования // Открытое образование. — 2002. — № 3. — С. 38–42.
8. Еремкин А.И. Система межпредметных связей в высшей школе. — Х.: ХГУ, 1984. — 151 с.
9. Белова Л.А., Метешкин К.А., Уваров О.В. Логико-математические основы управления учебными процессами высших учебных заведений. — Х.: ВРЦ ГОИ, 2001. — 272 с.
10. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTEACH. — СПб.: БХВ–Петербург, 2003. — 736 с.
11. Мазурок Т.Л. Эволюционный подход к определению системы компетенций // Вестн. ХНТУ. — 2008. — № 2 (31). — С. 295–299.
12. Yager R., Filev D. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. — USA: John Willey & Sons. — 1984. — 387 p.
13. Освітньо-кваліфікаційна характеристика бакалавра напряму підготовки 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». — Київ: МОН України, 2004. — 19 с.

Надійшла 16.06.2009