

Ткаченко К.О.

НЕЧІТКЕ ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто проблематику підвищення рівнів знань, вмінь та компетенцій осіб, що навчаються (студентів, учнів, курсантів, слухачів курсів тощо) при використанні інформаційних систем дистанційної освіти – інформаційних навчальних систем. Шляхом вирішення проблеми автором обрано моделювання експертних знань в інформаційних навчальних системах на основі онтологічного підходу (аналізу та відповідної класифікації). Проаналізовані підходи виявили наявність проблеми у такій слабоформалізуемій предметній області, як навчальні курси, які, переходячи від викладачів, що читають їх «вживу», до електронних навчальних курсів, втрачають індивідуалізацію процесу як надання навчального матеріалу, так і відповідного тестового контролю знань, вмінь та компетенцій, що отримуються тими, хто навчається. Саме тому актуальним є онтологічне моделювання експертних знань в інформаційних навчальних системах. Таке моделювання дозволяє перейти до індивідуалізації процесів навчання, використовуючи теорію нечіткого онтологічного моделювання та нечіткі множини: тем, індивідуальних версій курсу, питань, відповідей та підказок.

Використання нечіткого онтологічного моделювання при формуванні персональних знань сприяє збільшенню ступеня повноти і достовірності оцінки підготовки осіб, що навчаються, завдяки врахуванню різних факторів, що впливають на відповіді цих осіб.

Онтологічний підхід дозволяє сформувати досить повну і структуровану інформаційну базу для забезпечення компетентнісного підходу в освіті: оновлення навчальних планів у тісному зв'язку із конкретними вимогами ринку праці; оновлення електронних навчальних курсів відповідно до вимог стейкхолдерів; формування комплексу робочих графіків під один і той же навчальний план. Все це сприятиме переходу до індивідуалізації освітнього процесу з урахуванням індивідуальних інтересів і можливостей окремих осіб, що навчаються.

Ключові слова: *інформаційна навчальна система, електронний навчальний курс, експертні знання, моделювання, онтологія, нечітка онтологічна модель.*

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні навчальні системи (ІНС) є специфічним класом інформаційних систем, бо широко використовують елементи інтелектуальних систем, зокрема інтелектуальний інтерфейс та знання експерта, що реалізує педагогічну мету в деякій предметній області.

Актуальність інформатизації та інтелектуалізації навчальних процесів поза сумнівом, що вочевидь продемонструвала ситуація з освітнім процесом в умовах карантинних обмежень. Тому розробка на сучасному рівні як самих ІНС, так і окремих її компонентів (баз навчальних даних, баз експертних знань, баз моделей, що використовуються для здійснення оптимального вивчення тем того чи іншого курсу) є важливими і сучасними проблемами, що потребують свого вирішення. Але існуючі засоби представлення знань експерта в ІНС не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам індивідуалізованого підходу до навчання,

тому задача їх удосконалення шляхом використання різного роду моделей знань (класичних інформаційних, онтологічних, математичних тощо) є достатньо актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатьма авторами досліджувалися різні аспекти моделювання знань та процесів у таких сферах діяльності людини, як освіта, наука, бізнес [1 – 5]. Авторами цих робіт, зокрема, стверджується, що моделювання має ітераційний характер, коли кожен етап включає аналіз отриманих на попередніх етапах результатів і надає можливість повернути процес на будь-який попередній етап. Такий підхід є доцільним і в ІНС, щоб у особи, яка навчається, була можливість шляхом ітерацій отримати необхідні рівні знань, вмінь та компетенцій.

Задача представлення знань експерта про процес навчання в ІНС часто базується на онтологічному аналізі і класифікації знань, семантичному та когнітивному підході, про що свідчать роботи [6 – 9]. Тому задача представлення експертних знань на основі відповідних моделей є на часі і актуальною.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є формування моделі експертних знань в ІНС на основі їх онтологічного поділу на: предметні та персональні знання. Запропонована модель має враховувати такі етапи освітнього процесу як: надання навчальних тем курсу, що планується до вивчення, та перевірка отриманих особою, що навчається (ОН), відповідних знань, вмінь та компетенцій.

Основний матеріал дослідження. В процесі комп'ютерного навчання приймають участь: ІНС, що виконує роль педагога та той, хто навчається (учень, курсант, студент, слухач курсів тощо). Виходячи з цього база знань ІНС повинна містити знання експерта про предметну область (так звані педагогічні знання) та знання про того, хто навчається (так звані персональні знання). В подальшому ОН – це особа, що навчається (учень, студент, курсант тощо). Тобто основна задача моделювання знань в ІНС має полягати у побудові адекватних моделей на основі онтологій. При дослідженні і побудові онтологічної моделі знань про предметну область будемо використовувати систему показників навчання, запропоновану В.П. Беспальком [10].

Навчальний матеріал ІНС являє собою набір предметних елементів (ПЕ) – дидактично завершених блоків, що відображають зміст навчальної дисципліни. Відношення між ПЕ відображають структуру навчального матеріалу. В цьому контексті предметне знання є системою знань, що складається з ПЕ і відношень між ними, які відображають знання про склад і структурні властивості навчального матеріалу.

Позначимо через E множину ПЕ. Структурні зв'язки ПЕ визначає бінарне відношення, яке позначимо через $S \subset E \times E$ будемо називати *структурним відношенням*. Множина E і структурне відношення S формуються експертом – розробником електронного навчального курсу (в подальшому – курсу). Базовими ПЕ, з яких формується множина E , є теми. Позначимо T – множину тем, представлених в ІНС. T – скінчена, дискретна, строго впорядкована множина. Базову структуру предметних знань визначає бінарне відношення $S_i = T \times T$ – «підтема теми», таке, що $(t_i, t_j) \in S_i, i \in [1, n], j \in [1, n], i \neq j$, якщо зміст теми t_i розкриває зміст теми t_j .

Серед всіх тем курсу можна виділити підмножину опорних тем $T_G \subseteq T$, рівнів засвоєння яких ОН визначає успішність процесу навчання. При еталонному рівні знань опорних тем ОН отримують набір вмінь, навичок, компетенцій, що відповідають вимогам сьогодення до відповідних спеціалістів в даній Про. Множину T_G будемо називати множиною цілей навчання.

При формалізації процесу навчання, як правило, виділяються необхідна та достатня цілі навчання. *Необхідна ціль навчання* – це сукупність тем, діагностика еталонного знання яких

при проходженні курсу необхідна для допуску до продовження вивчення курсу. *Достатня ціль навчання* – це сукупність тем, у випадку недосягнення по яким еталонного рівня знань, ці теми рекомендуються для повторного вивчення, при цьому ОН має допуск до любої теми навчального курсу. Виділення кількох цілей одночасно надає експерту більші можливості при побудові курсу.

Згідно з сучасними вимогами до ІНС, зміст електронного навчального курсу має бути адаптованим до ОН. Відповідно, слід доповнити зміст тем адаптивною частиною – блоками навчального матеріалу, які будемо називати індивідуальними версіями. Альтернативні індивідуальні версії теми розрізняються ступенем деталізованості та глибини подання навчального матеріалу, що сприяє адаптуванню змісту навчального курсу до різного рівня попередньої підготовки ОН. При цьому у всіх альтернативних індивідуальних версіях представлено базовий зміст теми, необхідний для вивчення теми всіма ОН незалежно від їхньої підготовки.

Позначимо через C – множину індивідуальних версій всіх тем курсу. Множина C є дискретною, скінченою та строго впорядкованою. Експерт, формуючи навчальний курс, встановлює відношення $S_c \subseteq C \times T$ – «індивідуальна версія теми» так, що $(c, t) \in S_c$, якщо зміст індивідуальної версії C погоджено зі змістом теми t .

Альтернативні індивідуальні версії теми можуть бути представлені на різних рівнях, що відповідають підготовці ОН. Ці рівні назвемо рівнями складності. Експертна оцінка степені складності кожного варіанта індивідуальної версії теми є суб'єктивною і лінгвістично невизначеною, що ускладнює застосування точних кількісних методів при її формальному описуванні на основі відповідної онтологічної моделі курсу.

Позначимо через $\tilde{S}_c \subset S_c, \tilde{S}_c = \{(c, t), \mu_{\tilde{S}_c}(c, t)\}$ – нечітке відношення «складна індивідуальна тема». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_c}$ є відображення: $\mu_{\tilde{S}_c} : S_c \rightarrow M$, що характеризує степінь складності кожного питання теми. Нечітке відношення S_c може бути задано експертом шляхом явного перелічення всіх кортежів і відповідним їм значень функції приналежності, оскільки носій цього нечіткого відношення скінчений, дискретний і з невеликою кількістю елементів.

Крім теоретичного матеріалу, курс повинен супроводжуватися й діагностичним матеріалом, призначеним для контролю знань. Як правило, в ІНС оперативний контроль знань здійснюється за допомогою тестів, що складаються із відповідного набору тестових завдань (ТЗ). ТЗ – це ясне і чітке завдання з конкретної предметної області, що потребує однозначно визначеної відповіді чи виконання відповідного алгоритму дій. Виділена структура універсальних типів ТЗ, що найбільш часто використовуються в тестах будь-якої предметної області:

– *Вибір відповіді*. ТЗ даного типу представлено питанням і скінченою, дискретною множиною відповідей на нього.

– *Відповідність (упорядкування)*. ТЗ – це питання та скінчена, дискретна множина підпитань до нього. Множина відповідей скінчена і дискретна. До цього типу ТЗ також відносяться питання на упорядкування списку. В цьому випадку необхідність а розміщенні кожного елемента списку в потрібному місці розглядається як підпитання. Множина відповідей розглядається як множина можливих місць у списку.

– *Введення числових даних*. ТЗ складається з питання і множини варіантів відповіді. Експерт в якості відповіді на ТЗ цього типу може вказати або число (декілька чисел), або числовий інтервал. числовий інтервал задається експертом шляхом задання його меж. Аналогічно ОН при відповіді на подібне ТЗ вказує число чи декілька чисел (меж інтервалу). Відповідно, множина вказаних відповідей скінчена та дискретна.

– *Введення тексту (символьних даних)*. ТЗ цього типу є питанням і скінченою та дискретною множиною вказаних відповідей на нього.

Таким чином, ТЗ в ІНС представлено питаннями та відповідями і призначено для діагностики ступеня знань ОН матеріалу будь-якої теми. Передбачимо також ймовірність того, що при відповіді ОН на питання ТЗ йому буде надана можливість використати додатковий інформаційний матеріал – *підказки (довідки, допомога)*.

Позначимо через Q – множину питань, представлених в ІНС; A – множину відповідей, представлених в ІНС; P – множину представлених в ІНС підказок. Множини Q, A, P скінчені, дискретні, строго впорядковані. Аналіз ТЗ виявляє наявність таких відношень між ПЕ, як «питання теми», «підпитання питання», «відповідь на питання» і «підказка до питання». Надамо їх формальне визначення:

- $S_q \subset Q \times T$ – відношення «питання теми», таке, що $(q, t) \in S_q$, якщо питання $q \in Q$ діагностує знання теми $t \in T$;
- $S_q^* \subset Q \times Q$ – відношення «підпитання питання», таке, що $(q_i, q_j) \in S_q^*, i \in [1, l], j \in [1, l], i \neq j$, якщо питання q_i входить до складу питання q_j ;
- $S_a \subset A \times Q$ – відношення «відповідь на питання», таке, що $(a, q) \in S_a$, якщо ПЕ $a \in A$ вказано у якості відповіді на питання $q \in Q$;
- $S_p \subset P \times Q$ – відношення «підказка до питання», таке, що $(p, q) \in S_p$, якщо ПЕ $p \in P$ містить додаткову інформацію по питанню $q \in Q$.

Згідно з [1], питання кожній темі повинні мати різний рівень складності для більш точної діагностики рівня підготовленості СН.

Позначимо $\tilde{S}_q \subset S_q, \tilde{S}_q = \{(q, t), \mu_{\tilde{S}_q}(q, t)\}$ – нечітке відношення «складне питання теми». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_q}(q, t)$ є відображенням $\mu_{\tilde{S}_q} : S_q \rightarrow M$, що характеризує ступінь складності питання до теми курсу.

У більшості тестів відповіді на питання оцінюються як вірні (правильні) або невірні (неправильні). Але викладач, що контролює знання ОН «вживу», враховує також частково правильні відповіді, визначаючи по ним пробели у знаннях ОН, тобто слід, щоб відповіді на питання мали різну ступінь правильності.

Позначимо через $\tilde{S}_a \subset S_a, \tilde{S}_a = \{(a, q), \mu_{\tilde{S}_a}(a, q)\}$ – нечітке відношення «правильна відповідь на питання». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_a}(a, q)$ – відображення $\mu_{\tilde{S}_a} : S_a \rightarrow M$, що характеризує ступінь правильності відповіді на питання. Підказки можуть з різним ступенем детальності розкривати зміст питання.

Позначимо через $\tilde{S}_p \subset S_p, \tilde{S}_p = \{(p, q), \mu_{\tilde{S}_p}(p, q)\}$ – нечітке відношення «повна підказка». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_p}(p, q)$ є відображенням $\mu_{\tilde{S}_p} : S_p \rightarrow M$, що характеризує ступінь повноти підказки до питання.

Нечіткі відношення $\tilde{S}_q, \tilde{S}_a, \tilde{S}_p$ задаються експертом при формуванні курсу. Оскільки носії нечітких відношень скінчені, дискретні і з відносно невеликою кількістю елементів, то нечіткі відношення встановлюються експертом шляхом явного перелічення всіх кортежів і відповідних їм значень функції приналежності.

Таким чином, множина предметних елементів $E = T \cup C \cup Q \cup A \cup P$ скінчена і дискретна. Сукупність виділених за функціональною ознакою підмножини $F = \{T, C, Q, A, P\}$ є покриттям множини E , причому підмножини покриття множини E не перетинаються.

Дійсно, підмножинами покриття множини предметних елементів є множина тем, множина індивідуальних версій, множина питань, множина відповідей і множина підказок. Будемо вважати, що підмножини покриття перетинаються. Тоді існує предметний елемент, функціональні властивості якого задовольняють декільком підмножинам покриття одночасно. Це неможливо, бо функціональні властивості ПЕ різних підмножин покриття взаємовиключаючі, бо підмножини покриття множини предметних елементів E не перетинаються, сукупність F є розбиттям множини E , яке задає на множини E відношення еквівалентності за функціональною ознакою; позначимо його як F_e і будемо називати в подальшому функціональним відношенням еквівалентності.

З проведеного дослідження випливає, що структуру предметних знань характеризує бінарне відношення $S \subset E \times E$, яке виходячи з аналізу виявлених відношень антирефлексивно, асиметрично та транзитивно. Сукупність виділених за змістовним навантаженням структурного зв'язку підвідношень $W = \{S_t, S_c, S_q, S_q^*, S_a, S_p\}$ не перетинаються (обґрунтовується аналогічно з приведеним вище твердженням). Відповідно, сукупність W є розбиттям відношення S , яке задає на S відношення еквівалентності за функціональним навантаженням структурного зв'язку; позначимо його як W_s і будемо називати *структурним відношенням еквівалентності*.

Представлення експерта про навчальний предмет на якісному рівні формально описує нечіткі множини $\tilde{N} \subset T, \tilde{D} \subset T$, що характеризують цілі навчання, і нечіткі відношення $\tilde{S}_c \subset S_c, \tilde{S}_q \subset S_q, \tilde{S}_a \subset S_a, \tilde{S}_p \subset S_p$, що виділені з урахуванням дидактичних показників Беспалька [1].

Представлення предметних знань в реляційній базі даних ІНС відображається нечітким орієнтованим графом G . Множина вершин графа відображає сукупність ПЕ, множина дуг – виділені вище структурні відношення. Вершини і дуги маркіровані значеннями функції приналежності встановлених нечітких множин і відношень. Фактор-множина вершин графа $E/F_E = \{T, C, Q, A, P\}$ по відношенню еквівалентності F_E , породженому розбиттям F за функціональною ознакою, визначає необхідні таблиці реляційної бази даних ІНС, в яких зберігаються функції приналежності виділених вище нечітких множин і відношень. Фактор-множина зв'язків графа $S/W_s = \{S_t, S_c, S_q, S_q^*, S_a, S_p\}$ по відношенню еквівалентності W_s , породженому розбиттям W , встановлює зв'язки даних таблиць.

Запропонований спосіб формалізованого опису предметних знань дозволяє чітко визначити представлення предметних знань в реляційній базі даних ІНС з урахуванням якісних характеристик навчального матеріалу. Крім того, можливо залучити експертів для обговорення повноти змісту і цільових показників вже на початковій стадії проектування, визначити варіанти траєкторії засвоєння навчального матеріалу в ІНС, формулювати вимоги до типу, кількості і послідовності вправ для осмислення і закріплення теоретичного матеріалу.

Онтологічна модель персональних знань. Персональні знання відображають відомості про успішність ОН в межах вивчаємого курсу. Об'єктивна оцінка ступеня засвоєння ОН матеріалу навчального курсу має принципове значення для успіху всього комп'ютерного навчання, бо ефективне управління процесом навчання неможливе без обробки зв'язків, що реалізується в персональних знаннях.

Широко відомі дві задачі, рішення яких необхідне при діагностиці ступеня компетентності ОН в будь-якій предметній області. Основною задачею викладача-екзаменатора є «вилучення» максимуму знань, які є відомі ОН. Основною задачею ОН є

«демонстрація» максимуму своїх знань. Очевидно, що цілі викладача-екзаменатора та ОН є достатньо близькими. Ти не менше, в результаті автоматизованого тестування досягти цих цілей можна не завжди, що є причиною занижених і завишених оцінок. Таким чином, задача полягає у розробці способу формування персональних знань, що дозволить об'єктивно відобразити ступінь підготовки ОН.

Маємо множину відповідей A , множина питань Q , взаємозв'язків яких визначає нечітке відношення $\tilde{S}_a \subset S_a$ – «правильна відповідь на питання». ОН, відповідаючи на питання ТЗ, формує підмножину $A' \subseteq A$ вказаних відповідей. Тоді підмножина A' і нечітке відношення \tilde{S}_a індуциують в Q умовну нечітку підмножину $\tilde{Q}_a \subseteq Q$, що відображає правильність відповіді ОН. Слід визначити функцію приналежності нечіткої множини \tilde{Q}_a , яка буде найкращим чином відповідати реальній оцінці правильності вказаної відповіді. Очевидно, що найбільш часто використовуємо max-min-представлення умовної нечіткої множини не підходить, бо в даному випадку однаково важливі оцінки всіх вказаних ОН відповідей. В цьому випадку має сенс застосувати average-представлення умовної нечіткої підмножини $\tilde{Q}_a \subseteq Q$:

$$\mu_{\tilde{Q}_a}(q) = \frac{1}{K_A(q)} \cdot \sum_a (\mu_{A'}(a) \cdot \mu_{\tilde{S}_a}(a, q)),$$

де $K_A(q)$ – average-коefficient оцінок відповідей, вказаних ОН на питання q .

При визначенні coefficient $K_A(q)$ слід враховувати побудову ТЗ, в яких передбачається наявність m абсолютно правильних відповідей із загальної кількості n відповідей. ОН, формуючи відповідь на питання ТЗ подібного типу, може надати в якості відповіді тільки один варіант, який є одним з правильних, при цьому відповідь ОН не може вважатися повністю правильною. Також можливі випадки вибору ОН в якості відповіді $m+1$ варіанта, що також не можна оцінити як повністю правильну відповідь. Адекватно оцінити ступінь правильності відповіді дозволяє введення coefficient осереднення, який враховує як кількість варіантів відповіді, наданих ОН, так и кількість абсолютно правильних варіантів відповіді, введених викладачем-екзаменатором. Таким чином, average-коefficient $K_A(q)$ доцільно визначити наступним чином:

$$K_A(q) = \max \left\{ \sum_{a \in A'} \mu_{S_a}(a, q), \sum_{a \in A'} \mu_{\text{cor}\tilde{S}_a}(a, q) \right\},$$

де $\mu_{\text{cor}\tilde{S}_a}(a, q)$ – функція приналежності ядра нечіткої множини \tilde{S}_a .

Умовна нечітка підмножина $\tilde{Q}_A \subset Q$ відображає правильність відповіді ОН на питання ТЗ типу «вибір відповіді», «введення числових даних», «введення символічних даних (тексту)» і додаткові питання ТЗ типу «відповідність». Побудова ТЗ типу «відповідність» обумовлює необхідність визначення способу оцінки відповіді ОН на надпитання (додаткові більш складні питання).

Q – це множина, на якій задано нечітку підмножину $\tilde{Q}_A \subset Q$ і відношення $S_q^* \subset Q \times Q$ – «підпитання питання». тоді нечітка множина \tilde{Q}_A і відношення S_q^* індуциують в Q умовну нечітку підмножину $\tilde{Q}_A \subset Q$, що відображає ступінь правильності відповіді ОН на надпитання ТЗ типу «відповідність».

Функцію приналежності нечіткої підмножини \tilde{Q}_A доцільно визначити з урахуванням звичайної практики оцінювання на основі average-представлення:

$$\mu_{\tilde{Q}_A}(q) = \frac{1}{K_Q^*(q)} \cdot \sum_{q^*} \mu_{\tilde{Q}_A}(q^*) \cdot \mu_{S_q^*}(q^*, q), \text{ де } K_Q^*(q) - \text{ average-коефіцієнт оцінок відповідей}$$

ОН на підпитання питання q .

Оцінку відповіді на надпитання в рівній мірі визначають оцінки, що отримуються ОН за підпитання. З урахуванням цього, average-коефіцієнт доцільно визначити так:

$$K_Q^*(q) = \sum_{q^*} \mu_{S_q^*}(q^*, q).$$

Таким чином, на множині Q формуються нечіткі підмножини $\tilde{Q}_A \subset Q$ і $\tilde{Q}_A^* \subset Q$, що відображають правильність відповіді СН на питання різних типів. Тоді оцінити правильність відповіді ОН на питання будь-якого типу дозволяє об'єднання даних нечітких множин в нечітку множину \tilde{A} – «правильна відповідь ОН»:

$$\tilde{A} = \tilde{Q}_A \cup \tilde{Q}_A^*, \tilde{A} \subset Q.$$

Функція приналежності нечіткої множини \tilde{A} має вигляд:

$$\mu_{\tilde{A}}(q) = \max\{\mu_{\tilde{Q}_A}(q) - \mu_{\tilde{Q}_A^*}(q)\}.$$

Проведемо подальше дослідження процесу тестування. P – множина підказок і Q – множина питань, взаємозв'язок яких визначає нечітке відношення «повна підказка до питання»: $\tilde{S}_p = \{(p, q), \mu_{\tilde{A}}(p, q)\}$, $\tilde{S}_p \subset S_p$. ОН, використовуючи підказки, формує підмножину $P' \subset P$ використаних підказок. Тоді підмножина P' і нечітке відношення \tilde{S}_p індуцирують в Q умовну нечітку підмножину $\tilde{P} \subset Q$, що характеризує ступінь повноти всіх використаних ОН підказок при відповіді. При виборі способу представлення умовної нечіткої підмножини \tilde{P} слід враховувати, що кожна наступна використана підказка збільшує повноту отриманої додаткової інформації по питанню. Таким чином, функцію приналежності нечіткої множини \tilde{P} можна визначити, використовуючи операції граничного об'єднання:

$$\mu_{\tilde{P}}(q) = \min\left\{\sum_p \mu_{P'}(p) - \mu_{\tilde{S}_p}(p), 1\right\}.$$

Близкість рішення суб'єктом навчання ТЗ до еталонного рішення характеризують вказані варіанти відповіді та використання підказки. Кожен варіант відповіді характеризується відповідним ступенем правильності, кожна використана підказка знижує характеристику правильності.

Q – множина питань. На Q задані нечіткі множини $\tilde{A} \subset Q$ і $\tilde{P} \subset Q$, що відображають правильність відповіді ОН і повноту використаних ним підказок. Оцінка рішення суб'єктом навчання ТЗ визначається різницею між оцінкою правильності вибраних варіантів відповіді і оцінкою повноти використаних підказок. Тоді успішність проходження ОН теста характеризує нечітку множину «еталонне рішення ТЗ»: $\tilde{Q} = \tilde{A} \setminus \tilde{P} (\tilde{Q} \subset Q)$, функція приналежності якої має вигляд

$$\mu_{\tilde{Q}}(q) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(q) - \mu_{\tilde{P}}(q), 0\}.$$

Після закінчення тестування слід визначити інтегральну оцінку підготовки ОН – оцінити ступінь освоєння ним матеріалу кожної з тем, по яким проводився контроль.

Q – множина питань і T – множина тем, взаємозв'язок яких характеризує відношення $S_q \subset Q \times T$ – «питання теми». Тоді нечітка множина $\tilde{Q} \subset Q$ – «еталонне рішення ТЗ» і відношення S_q ініціюють умовну нечітку підмножину $\tilde{T}_Q \subset T$, що відображає ступінь засвоєння матеріалу теми ОН. Умовну нечітку множину \tilde{T}_Q визначимо з урахуванням традиційної практики оцінювання на основі average-представлення:

$$\mu_{\tilde{T}_Q}(t) = \frac{1}{K_Q(t)} \cdot \sum_q \mu_{\tilde{Q}}(q) \cdot \mu_{S_q}(q, t),$$

де $K_Q(t)$ – average-коефіцієнт оцінок, отриманих ОН при рішенні ТЗ по темі t .

Ступінь засвоєння ОН тем навчального курсу будуть визначати тільки видані при контролі питання. Позначимо через Q' множину питань, виданих при тестуванні ($Q' \subset Q$), тоді average-коефіцієнт можна визначити формулою

$$K_Q(t) = \sum_{q \in Q'} \mu_{S_q}(q, t).$$

Умовна нечітка підмножина $\tilde{T}_Q \subset T$ не дозволяє відобразити ступінь засвоєння ОН матеріала надтем.

T – множина тем і $\tilde{T}_Q \subset T$ – нечітка підмножина. Відношення $S_t \subset T \times T$ формалізує відношення «підтема теми». Нечітка множина \tilde{T}_Q і відношення S_t ініціюють в T умовну нечітку підмножину $\tilde{T}_T \subset T$, що відображає ступінь засвоєння ОН матеріалу надтем. Функція приналежності нечіткої підмножини \tilde{T}_T визначається за допомогою average-представлення:

$$\mu_{\tilde{T}_T}(t) = \frac{1}{K_T(t)} \cdot \sum_{t^*} \mu_{\tilde{T}_Q}(t^*) \cdot \mu_{S_t}(t^*, t), \text{ де } K_T(t) \text{ – average-коефіцієнт оцінок, отриманих ОН за}$$

підтемою теми t .

Позначимо через T' множину тем, по яким було проведено тестування ($T' \subset T$). В цьому випадку average-коефіцієнт $K_T(t)$ можна визначити так

$$K_T(t) = \sum_{t^* \in T'} \mu_{S_t}(t^*, t).$$

Таким чином, на множині тем T визначено нечітку підмножину $\tilde{T}_Q \subset T$, що відображає ступінь засвоєння ОН матеріалу підтем, і нечітку підмножину $\tilde{T}_T \subset T$, що характеризує ступінь засвоєння надтем. Оцінити володіння суб'єктом навчання матеріалом будь-якої теми курсу дозволяє об'єднання виділених нечітких множин в нечітку множину «еталонне засвоєння теми»: $\tilde{T} = \tilde{T}_Q \cup \tilde{T}_T, \tilde{T} \subset T$.

Функція приналежності нечіткої множини \tilde{T} має вигляд

$$\mu_{\tilde{T}}(t) = \max\{\mu_{\tilde{T}_o}(t), \mu_{\tilde{T}_r}(t)\}.$$

Згідно з принципом узагальнення, склад і структура персональних знань формується в результаті побудови нечітких підмножин множини E , послідовно обумовлюючи один одного:

$$A' \approx \frac{av}{\tilde{S}_a \circ S_q^*} \tilde{A}; P' \approx \frac{qr}{\tilde{S}_p} \tilde{P}; \tilde{Q} = \tilde{A} \setminus \tilde{P}; \tilde{Q} \approx \frac{av}{S_q \circ S_r} \tilde{T},$$

де av – позначення операції індуцирування в average-формі; qr – позначення операції індуцирування в формі граничного об'єднання.

Склад і структуру онтології персональних знань відображає нечіткий орієнтований граф

$$\tilde{G}' = (E', S', \mu_{\tilde{G}'}(e'), \mu_{\tilde{G}'}(s')).$$

Нечіткий орієнтований граф G' відображає представлення персональних знань в реляційній базі даних ІНС. Вершини графа G' відображають склад діагностованих предметних знань – підмножина $E' \subseteq E$; дуги графа G' відображають структуру діагностованих предметних знань – підвідношення $S' \subseteq S$. Вершини та дуги марковані значеннями функції приналежності розглянутих вище нечітких множин і відношень.

Фактор-множина вершин графа E'/F_E , що є наслідком функціонального відношення еквівалентності, визначає таблиці бази нечітких даних, в яких зберігаються функції приналежності розглянутих нечітких множин і відношень. Фактор-множина зв'язків графа S'/W_S , що є наслідком структурного відношення еквівалентності, відображає зв'язки даних таблиць.

Метою побудови персональних знань є встановлення ступеня досягнення ОН цілей навчання і знаходження у відповідності зі встановленим ступенем досягнення цілей підмножини тем, що рекомендовані до вивчення. Позначимо через $T'' \subseteq T$ – множини тем, що пропонуються до вивчення. Задача полягає у визначенні складу множини T'' .

Ступінь володіння ОН матеріалом курсу відображає нечітка множина $\tilde{T} \subseteq T$ – «еталонне засвоєння теми». На множині T також задані нечіткі множини \tilde{N} і \tilde{D} , що характеризують відповідно необхідну і достатню цілі навчання. Тоді нечітка множина $\tilde{N} \setminus \tilde{T}$, задана на множині тем T , відображає ступінь досягнення ОН необхідної цілі навчання. Функція приналежності нечіткої множини має вигляд:

$$\mu_{\tilde{N} \setminus \tilde{T}}(t) = \max\{\mu_{\tilde{N}}(t) - \mu_{\tilde{T}}(t), 0\}.$$

В цьому випадку, носій даної нечіткої множини – підмножина $N \subseteq T'$, $N = \{t | \mu_{\tilde{N} \setminus \tilde{T}}(t) > 0\}$, є множиною незарахованих тем. При наявності незарахованих тем ОН не допускається до подальшого вивчення курсу, тобто в цьому випадку $T'' = N$.

Ступінь досягнення ОН достатньої цілі навчання відображає нечітка множина $\tilde{D} \setminus \tilde{T}$, що задана на множині протестованих тем T' , функція приналежності якої

$$\mu_{\tilde{D} \setminus \tilde{T}}(t) = \max\{\mu_{\tilde{D}}(t) - \mu_{\tilde{T}}(t), 0\}.$$

При цьому носій нечіткої множини $\tilde{D} \setminus \tilde{T}$ є множиною зарахованих тем $D = \{t \mid \mu_{\tilde{D} \setminus \tilde{T}}(t) > 0\}$ ($D \subseteq T'$), що надаються для повторного вивчення. У випадку встановлення тем, по яким не досягнута достатня ціль навчання, ці теми разом з ще невивченими складають множину тем, які слід вивчити СН. Тоді $T'' = D \cup \bar{T}'$, де $\bar{T}' = T \setminus T'$ – множина невивчених тем курсу.

Таким чином, у загальному випадку множина тем, які слід вивчити ОН для отримання цілісного образу знань з курсу, є підмножина $T'' \subset T$, така, що

$$T'' = \begin{cases} N, N \neq \emptyset \\ D \subset \bar{T}', N = \emptyset \end{cases}$$

Висновки. Таким чином, використання теорії нечіткого онтологічного моделювання при формуванні персональних знань дозволяє значно збільшити ступінь повноти і достовірності оцінки підготовки ОН завдяки врахуванню як різних факторів, що впливають на відповідь ОН, так і ступеня їхнього впливу.

Онтологічний підхід дозволяє сформуванню достатньо повну і добре структуровану інформаційну базу для вирішення основних завдань щодо впровадження компетентнісного підходу в освітній процес:

- можливість оновлення навчальних планів у тісному зв'язку із виявленими конкретними вимогами ринку праці;
- можливість оновлення електронних навчальних курсів відповідно до вимог стейкхолдерів;
- можливість формування комплексу робочих графіків під один і той же навчальний план, з тим, щоб перейти до індивідуалізації процесів навчання з урахуванням індивідуальних інтересів і можливостей окремих ОН.

Важливим є також доступ ОН і викладачів до онтології як окремого курсу, так і курсів, що складають освітньо-професійну програму з відповідного напрямку, що дозволить ОН оцінювати свої позиції й перспективи (в освітньому процесі та на ринку праці); включатися в процес вдосконалення освітнього процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: <http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839>.
3. Kostenko K.I. Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmnaja Ingenerija. 2016. № 9. vol. 7. P. 424 – 431.
4. Denisenko V.N., Krasina E.A. General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. 2014. No. 1, P. 15-21.
5. Tabular information models. URL: https://spravochnick.ru/informatika/informacionnaya_model/tablichnye_informacionnye_modeli/.
6. Зайцева С.А., Иванов В.В. Современные информационные технологии в образовании. URL: <http://sgpu2004.narod.ru/infotek/infotek2.htm> (in Russian)
7. Ткаченко О.А., Ткаченко О.І. Деякі аспекти ситуаційно-семантичного моделювання складних об'єктів, процесів та систем // Водний транспорт. 2017. Вип. № 1 (26). С. 129-133.

8. Smirnov S.V. Ontological analysis of subject areas of modeling. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologicheskiiy-analiz-predmetnyh-oblastey-modelirovaniya>.
9. Bondarenko M., Matorin S., Solovieva E. Features of the theory and practice of solving complex problems based on ontology // Artificial Intelligence. 2000. No. 3, P. 25-33.
10. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. Москва: Педагогика, 1989. 192 с.

REFERENCES

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: <http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839>.
3. Kostenko K.I. (2016). Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmnaia Ingenerija. № 9. vol. 7. P. 424 – 431.
4. Denisenko V.N., Krasina E.A. (2014). General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. No. 1, P. 15-21.
5. Tabular information models. URL: <https://spravochnick.ru/informatika/informacionnaya-model/tablichnye-informacionnye-modeli/>.
6. Zaytseva S.A., Ivanov V.V. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii [Modern information technologies in education]. URL: <http://sgpu2004.narod.ru/infotek/infotek2.htm> (in Russian).
7. Tkachenko O.A., Tkachenko O.I. (2017). Deyaki aspekty sytuatsiyno-semantichnoho modelyuvannya skladnykh ob"yektiv, protsesiv ta system [Some aspects of situational-semantic modeling of complex objects, processes and systems] // Vodnyy transport [Water transport]. Vyp. № 1 (26). P.129-133. (in Ukrainian).
8. Smirnov S.V. Ontological analysis of subject areas of modeling. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologicheskiiy-analiz-predmetnyh-oblastey-modelirovaniya>.
9. Bondarenko M., Matorin S., Solovieva E. (2000). Features of the theory and practice of solving complex problems based on ontology//Artificial Intelligence. No.3, P. 25-33.
10. Bepal'ko V.P. (1989). Slogayemyye pedagogicheskoy tekhnologii [Components of educational technology]. Moskva: Pedagogika. 192 p.

Ткаченко К.А.

НЕЧЕТКОЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена проблематика повышения уровней знаний, умений и компетенций обучающихся (студентов, учеников, курсантов, слушателей курсов и т.п.) при использовании информационных систем дистанционного образования – информационных обучающих систем. Путем решения проблемы автором избрано моделирование экспертных знаний в информационных обучающих системах на основе онтологического подхода (анализа и соответствующей классификации). Проанализированные подходы выявили наличие проблемы в такой слабоформализуемой предметной области, как учебные курсы, которые, переходя от преподавателей, читающих их «вживую», в электронные учебные курсы, теряют индивидуализацию процесса как предоставление учебного материала, так и соответствующего тестового контроля знаний, умений и компетенций, получаемых учащимися. Именно поэтому актуальным является онтологическое моделирование экспертных знаний в информационных обучающих системах. Такое моделирование позволяет перейти к индивидуализации процессов обучения, используя теорию нечеткого

онтологического моделирования и нечеткие множества: тем, индивидуальных версий курса, вопросов, ответов и подсказок.

Использование нечеткого онтологического моделирования при формировании персональных знаний способствует увеличению степени полноты и достоверности оценки подготовки обучающихся, благодаря учитыванию различных факторов, влияющих на ответы этих лиц.

Онтологический подход позволяет сформировать достаточно полную и структурированную информационную базу для обеспечения компетентностного подхода в образовании: обновление учебных планов в тесной связи с конкретными требованиями рынка труда; обновление электронных учебных курсов в соответствии с требованиями стейкхолдеров; формирование комплекса рабочих графиков к одному и тому же учебному плану. Все это будет способствовать переходу к индивидуализации образовательного процесса с учетом индивидуальных интересов и возможностей отдельных обучающихся.

Ключевые слова: информационная обучающая система, электронный учебный курс, экспертные знания, моделирование, онтология, нечеткая онтологическая модель.

Тkachenko K.A.

FUZZY ONTOLOGICAL MODELING OF KNOWLEDGE IN INFORMATION TRAINING SYSTEMS

The problems of increasing the levels of knowledge, skills and competencies of students (students, pupils, cadets, course students, etc.) when using information systems of distance education - information training systems are considered. By solving the problem, the author chose the modeling of expert knowledge in information training systems based on the ontological approach (analysis and appropriate classification). The analyzed approaches revealed the presence of a problem in such a poorly formalized subject area as training courses, which, when passing from teachers who read them live to electronic training courses, lose the individualization of the process, both the provision of training material and the corresponding test control of knowledge, skills and competencies received by students. That is why the ontological modeling of expert knowledge in informational training systems is relevant. Such modeling allows you to move on to individualizing learning processes using the theory of fuzzy ontological modeling and fuzzy sets: topics, individual versions of the course, questions, answers, and tips.

The use of fuzzy ontological modeling in the formation of personal knowledge contributes to an increase in the degree of completeness and reliability of the assessment of student training, by taking into account various factors affecting the responses of these individuals.

The ontological approach allows the formation of a sufficiently complete and structured information base to ensure a competency-based approach to education: updating curricula in close connection with the specific requirements of the labor market; updating electronic training courses in accordance with the requirements of stakeholders; the formation of a set of work schedules for the same curriculum. All this will facilitate the transition to the individualization of the educational process, taking into account the individual interests and capabilities of individual students.

Key words: information educational system, electronic training course, expert knowledge, modeling, ontology, fuzzy ontological model.