

*Math. Monthly* 111 (2004) 118–136. 3. Бронштейн И. Н., Семедяев К. А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов*. – М.: Наука, 1981. – 523 с. 4. Дрогомирецька Х. Т. Про інтегрування спеціальних Атеб-функцій // *Вісник Львівського університету. Серія механіко-математична*. – 1997. – Вип. 46. – С. 108–110. 5. Дронюк І. Розроблення бітових карт методом амплітудно-модульованого растрівання / І. Дронюк, О. Городецька // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2011. – № 719. – С. 88–94. 6. Корн Г. А., Корн Т. М. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. – М.: Наука, 1974. 7. Самойленко А. М. *Свойства периодических Атеб-функций и их применение при построении решений нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка* / А. М. Самойленко, А. М. Возний. – К.: Институт математики АН УССР, 1984. – 51 с. – (Препринт / НАН України, Ін-т математики ; 84.20). 8. Сенік П. М. Обернення неповної Beta-функції. // *УМЖ*. 1969. 21.– № 3. – С. 325–333. 9. Сенік П. М. Про Атеб-функції // *ДАН УРСР. Сер. А*. – 1968. – № 1. – С. 23–26. 9. Sokolov D. D. (2001), “Lame curve”, in Hazewinkel, Michiel, *Encyclopedia of Mathematics*, Springer. 10. Кунпхан Г. *Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства; пер. с нем.* – М.: МГУП, 2003. – 1280 с.

УДК 519.8; 004.94

А. Штимак

ДВНЗ “Ужгородський національний університет”,  
кафедра системного аналізу і теорії оптимізації

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВИПУСКНИКА ВНЗ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

© Штимак А., 2015

Запропоновано технологію для визначення рівня компетентності випускника вузу з використанням теорії нечітких множин та алгоритмів нечіткого логічного виведення. Особливістю технології є формування нечіткої бази знань про успішність випускника ВНЗ протягом навчання та використання алгоритмів нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю. Розроблена технологія надає можливість кількісного оцінювання рівня компетентності не тільки окремого випускника вузу, але й усього контингенту випускників, тобто можливість проведення системних досліджень з проблем оцінювання компетентності у вузі.

**Ключові слова:** технологія, компетенція, компетентність, рівень компетентності, нечітке логічне виведення.

The technology to determine the competence of graduate using the theory of fuzzy sets and fuzzy logic inference algorithms was proposed. The peculiarity of technology is forming fuzzy knowledge base of success for graduate studies and algorithms using fuzzy inference validity weighted. The technology allows to quantify the level of competence not only of individual graduate, but the whole contingent of graduates, i.e. the possibility of systematic research on assessment competence in high school.

**Key words:** technology, competence, competency, competence level, fuzzy logic output.

### Постановка проблеми

В умовах інтеграції національної системи вищої освіти до європейського освітнього середовища та сучасних суспільних трансформацій висуваються нові вимоги до майбутніх фахівців у контексті демонстрації ними високого рівня професійної компетентності, готовності до забезпечення європейської якості освіти. Компетентнісно-орієнтована освіта означила нові вимоги

до якості підготовки випускників вузів та визначила їх у вигляді сформованих компетенцій та відповідного рівня компетентності випускника вузу. Підвищення якості вищої освіти є однією з ключових проблем вищої школи. Результати освіти і формування компетенцій є ключовим моментом реформування освіти. Результати освіти – це очікувані і вимірювані конкретні досягнення студентів-випускників, які визначають, що здатен робити випускник після закінченню всієї або частини освітньої програми.

У зв'язку з переходом системи освіти на компетентнісно-орієнтований підхід актуальною є проблема оцінювання результатів навчання. Перехід на нові галузеві стандарти вищої освіти (ГСВО), ґрунтовані на компетентнісному підході, потребують застосування кількісних методик оцінювання компетенцій та визначення рівня компетентності загалом. На жаль, ні нові ГСВО, ні наявні професійні стандарти не містять критеріїв та об'єктивних методик оцінювання якості підготовки фахівців за компетентнісним підходом. У освітніх стандартах пропонується ВНЗ орієнтуватися на професійні стандарти якості підготовки фахівців, розроблені роботодавцями. Однак нинішня ситуація з професійними стандартами свідчить про те, що ВНЗ мають самостійно розробляти оцінкові засоби для контролю якості освоєння основних освітніх програм як у процесі навчання, так і після його закінчення.

Оцінка якості навчання є одним з основних факторів підвищення ефективності освітнього процесу у вищій школі. В умовах забезпечення індивідуального підходу до кожного студента важливим є питання коректного проведення якісного і кількісного аналізу їх знань і умінь, навичок та особистих якостей. Такий аналіз є складною багатофакторною залежністю з великою кількістю змінних. Проведення подібного аналізу часто вимагає великих затрат сил і часу на проведення необхідних розрахунків. Тому оцінювання якості навчання з використанням інформаційних (комп'ютерних) технологій дає змогу значно скоротити час і трудовитрати аналізу, а також підвищує інформативність результатів. Розроблення таких технологій ґрунтується на комплексному дослідженні процесів формування компетентності випускника. На основі системного підходу до вивчення проблеми, запропонована технологія визначення рівня компетентності випускника вузу з використанням алгоритмів нечіткого логічного виведення.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Компетентність є мірою освоєння компетенцій, а компетенції – засобом опису предметів і видів діяльності фахівців, які підлягають освоєнню в процесі його підготовки. Компетенції і компетентність – найважливіші інструменти компетентнісного підходу в освіті: компетенції є найзначущими ідентифікаторами результатів навчання, а компетентність – засобом вимірювання якості освіти, що досягається при випробуванні очікуваного результату навчання та виражається в балах прийнятої шкали вимірювання компетентності. При цьому результати навчання є мовою компетенцій, які роблять ясними і зрозумілими цілі підготовки, зокрема і для самого студента. На думку вчених, зміни в системі оцінювання результатів освіти є головною відмінністю компетентнісного підходу від традиційного. При традиційному підході об'єктом оцінювання є знання і вміння, а за компетентнісним підходом оцінюються складніші результати, а знання і вміння при цьому – як показники компетентності.

Проблема оцінювання компетенцій та рівня компетентності залишається однією з найскладніших в умовах реалізації компетентнісного підходу в освіті. Ідея компетентнісного підходу ґрунтується на тому, щоб надати практичну скерованість процесу навчання, побачити реальні результати освіти – компетенції. Але адекватно оцінити ці результати освіти доволі важко. На думку багатьох дослідників цієї проблеми, оцінювання компетенцій та визначення рівня компетентності представляють великі труднощі, а процес оцінювання компетентності – найскладніший як у теоретичному, так і в практичному аспектах.

Розвиток компетентності студента стає одним з основних завдань будь-якого навчального закладу. Аналіз літератури показує, що сьогодні не вироблено єдиної думки про проблему компетенцій і компетентності. Більшість робіт, присвячених проблемі компетентнісного підходу в освіті, спрямовані на вирішення завдань оновлення змісту навчального процесу (навчальних планів,

робочих програм і т.д.), при цьому проблема оцінювання рівня компетентності студентів належно не стандартизована, що є дуже важливим при кількісному визначенні рівня володіння студентом необхідними компетенціями. Для забезпечення якості підготовки фахівців вищих навчальних закладів за основу береться політика держави у сфері якості освіти, державні стандарти, методичні інструкції за напрямками діяльності, нормативи. Система підтвердження якості містить регулярні оцінки за певними критеріями; опитування співробітників, студентів, роботодавців; визначення рівня освоєння студентами навчальних дисциплін; державну атестацію випускників. Гнучкість і динамічність різних форм і методик оцінювання дозволяє використовувати їх для вирішення конкретних цілей і завдань формування компетентності відповідно до потреб суспільства та конкретних роботодавців.

Питаннями оцінювання компетентності як результату освіти присвячено роботи як українських, так і зарубіжних вчених, зокрема В. Байденка, Н. Єфремової, І. Зимньої, Е. Зеєра, Н. Бібік, О. Овчарук, Є. Калицького, Н. Шкодіної, А. Хуторського, D. Castle, G. Elkin, A. Furnhara, B. Spellman, W. Tracey та ін. Ю. Лега, В. Мельник, І. Цимбалюк пропонують оцінювати компетентність фахівця з визначенням коефіцієнта ефективності за різними видами діяльності; В. Шадриков, І. Кузнецова – з використанням компетентнісних портретів фахівця; В. Богословський, Б. Караваєва, А. Шехонін – із застосуванням структурної матриці комплексного оцінювання. Т. Браже вважає, що процедуру оцінювання потрібно здійснювати “на виході” за результатами цілеспрямованої підготовки та за умови виконання фахівцем практико-орієнтованого проекту [1–3].

Не менш важливою є проблема рівневої градації компетентності. Як показує аналіз публікацій, у більшості випадків дослідники розрізняють три рівні компетентності: низький, середній, високий. Іноді як варіант пропонують застосовувати підхід до оцінювання компетентності, що використовує п’ять рівнів компетентності: неприйнятний рівень, рівень розуміння, базовий рівень, рівень досвіду та рівень майстерності. Такий поділ здійснюється у зв’язку з існуючими рівнями засвоєння знань: розуміння, осмислення, відтворення, застосування та вдосконалення. Н. Шкодіна визначає такі рівні компетентності: початковий, елементарний, просунутий, високий і професійний. На її думку, початковий рівень – рівень узагальненого уявлення про вибрану професію; елементарний рівень – рівень сформованості окремих практичних навичок у вибраній професії; просунутий рівень – рівень наявності основоположних теоретичних і практичних навичок за фахом; високий рівень – рівень конкурентоздатного працівника, який усвідомлює важливість формування професійних компетентностей у становленні себе як фахівця; професійний рівень характеризується нею як рівень, за якого в об’єкта навчання є креативний менталітет і вміння аналізувати діяльність, пов’язану з розв’язанням професійних завдань у будь-яких ситуаціях [4]. У Великобританії і США впродовж багатьох років діє трирівнева система оцінювання компетентності: підготовчий рівень, рівень практика і рівень просунутого практика. Всі вони поділені на ділянки. Володіння компетенціями і навичками всіх ділянок одного рівня – необхідна умова для переходу на наступний рівень [5]. Білоруські вчені Є. М. Калицький, М. В. Ільїн, Н. М. Сикорська обґрунтували чотириступінчасту оцінку рівнів засвоєння навчального матеріалу (компетентності): рівень представлення, рівень розуміння, рівень застосування, рівень творчості [6].

Представлені підходи до рівневої градації компетентності фахівців мають доволі багато загальних позицій і не суперечать одна одній. При визначенні рівня компетентності випускника на підставі оцінок, одержаних в процесі навчання, ми будемо опиратись на трирівневу градацію рівнів компетентності за дисциплінами і циклами: низький, середній, високий та чотирирівневу градацію компетентності випускника загалом: елементарний, пороговий, підвищений та професійний.

Розробленню та дослідженню методів і технологій оцінювання компетенцій, визначення рівня компетентності присвячено роботи О. Берестневої, О. Марухіної, І. Сібікіної та ін. Зокрема вони запропонували такі підходи:

- критеріально-рівневе оцінювання компетентності випускника вузу, яке ґрунтується на наборі об’єктивних, якісних критеріїв, які можуть бути пов’язані з одним із введених рівнів проявлення компетентності;

- рейтингові моделі, які визначають ступінь просування студента сходинками успіху в однотиповому середовищі;
- тестові технології вимірювання компетентності студентів ВНЗ, які найчастіше призначені для визначення рівня засвоєння того або іншого виду компетентності, потребують розроблення відповідних тестів та шкал вимірювання;
- діагностика компетентності студентів у процесі навчання на основі моделі Раша, яку використовують для вимірювання латентних змінних, якими є компетенції;
- тести “на застосування” для визначенні предметних і міжпредметних компетенцій;
- кейс-методи, портфоліо;
- технології оцінювання компетентності на основі експертних та експертно-статистичних методів [7–10].

Але ці дослідження не повністю вирішують проблеми, пов’язані з оцінюванням компетенцій та визначенням рівня компетентності випускника ВНЗ; деякі з підходів напрямлені на оцінювання і діагностику сформованості певних видів компетентності. Тому проблема визначення рівня компетентності залишається актуальною, потребує вдосконалення запропонованих підходів і технологій та розроблення нових.

### **Формулювання цілі статті**

Метою статті є розроблення технології визначення рівня компетентності випускника вищого навчального закладу на основі теорії нечітких множин з використанням процедур нечіткого логічного виведення, на підставі оцінок, одержаних в процесі навчання за одним з освітньо-кваліфікаційних рівнів. Це дасть змогу значно скоротити час і трудовитрати аналізу, а також сприятиме підвищенню інформативності результатів оцінювання якості навчання. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: розробити схему оцінювання якості навчання випускника ВНЗ у термінах компетенцій; запропонувати інструментарій для обробки інформації, отриманої в результаті дослідження процесу навчання та окремих складових освітнього процесу; розробити процедури визначення рівня компетентності на окремих етапах освітнього процесу.

У такій постановці задача може бути віднесена до задач багатофакторного оцінювання, в основу яких покладено необхідність встановлення залежності

$$R = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – множина вхідних величин (рейтингових оцінок);  $R$  – деяка вихідна величина (рівень компетентності випускника).

### **Виклад основного матеріалу**

Незважаючи на термінологічні неузгодженості в науковій літературі щодо використання понять “компетенція” і “компетентність”, зазначимо, що їхню сутність вирізняє когнітивна, діяльнісна й емоційно-ціннісна готовність суб’єкта навчання до використання набутих знань і пізнавального досвіду в реальних життєвих ситуаціях. Запровадження компетентнісного підходу вимагає перегляду не лише змісту і методів навчання, а й впливає на систему освіти загалом, зокрема на контролювальну та оцінкову діяльність викладача. За таких умов викладач не може обмежитися лише когнітивним складником, завданнями з перевірки предметних знань, умінь і навичок, а повинен оцінити здатність студентів застосовувати їх у різноманітних ситуаціях, як правило, практичного спрямування, виявити ціннісне ставлення студентів до здобутого пізнавального досвіду тощо. Це зумовлює розроблення нових підходів до контролю й оцінювання навчальних досягнень студентів та запровадження іншого інструментарію, націленого на вимірювання рівня сформованості різнопланових структур успішності навчальної діяльності студента. У такому разі оцінювання компетентності студентів має базуватись на комплексному результаті, який відображає взаємопов’язані когнітивні, функціональні, особистісні, ціннісні та надпредметні (метапредметні) компетенції [11].

Когнітивні компетенції складають знання в широкому розумінні, здобуті в процесі навчання або особистісного пізнавального досвіду, тобто вони відтворюють зміст освіти не лише в контексті “що це означає”, але й доповнюється контекстом розуміння того, як це можна використати при поясненні того чи іншого факту, явища, події, процесу тощо. Функціональні компетенції характеризують потенційні можливості студентів застосувати набуті знання в практичній діяльності, тобто їх формують ті практичні вміння і навички, які потрібні студентам у пізнавальній практиці для розв’язання реальних життєвих завдань. Особистісні компетенції відображають вчинкові особливості студента, які проявляються в готовності ефективно і якісно діяти в тих чи інших ситуаціях. Ціннісні компетенції окреслюють коло особистісних якостей студентів, які позначають їхню здатність приймати обґрунтовані рішення, виявляти громадянську позицію і ставлення до навколишнього світу, володіти світоглядними переконаннями, давати ціннісні характеристики подіям і явищам суспільного й особистого життя, нести відповідальність за прийняті рішення тощо. Надпредметні компетенції відображають ту частку змісту освіти, яка характеризує освітній результат, що не пов’язаний з конкретною предметною галуззю і відіграє роль базису для формування і розвитку інших компетенцій.

Компетентність студента з навчальної дисципліни формується з вищенаведених п’яти видів компетенцій, проте питома вага кожної з них може бути різною: для одних навчальних дисциплін вагомішою буде когнітивна чи функціональна компетенція, для інших – особистісна чи ціннісна. Але немає жодної дисципліни, в якій хоча б один із складників не був би представлений, не мав жодного значення чи був би нереалізованим. Тому в цілісному уявленні варто говорити про багатовимірну структуру компетентності, кожен зі складників якої несе своєрідне навантаження, має свою особливу функцію. Відповідно, за компетентнісного підходу до оцінювання результатів навчання викладач чи навчальний заклад не може скористатися лише традиційними контрольними вимірювальними засобами, які з’ясовують рівень засвоєння предметних знань і вмінь студентів. У своїй методиці оцінювання потрібно використовувати нові засоби, які надають можливість оцінювати рівень володіння компетентністю як багатовимірною структурою, тобто ці засоби повинні містити компетентнісно-орієнтовані завдання, які визначатимуть увесь спектр здібностей студентів до використання набутих предметних знань, умінь і ціннісних ставлень у практичній діяльності.

Сьогодні у вищих навчальних закладах України запроваджено Європейську кредитно-трансферну систему (ЄКТС), яка сприяє академічній мобільності здобувачів вищої освіти. Вона ґрунтується на визначенні навчального навантаження здобувача вищої освіти, необхідного для досягнення визначених результатів навчання, та обліковується у кредитах ЄКТС. Система ЄКТС оснований на оцінюванні всіх видів навчальної діяльності здобувача вищої освіти, необхідних для досягнення очікуваних результатів навчання.

Відомо, що формами організації освітнього процесу у ВНЗ є: навчальні заняття, самостійна робота, практична підготовка, контрольні заходи. Вищий навчальний заклад на підставі освітньо-професійної програми підготовки фахівця за кожною спеціальністю розробляє навчальний план, який визначає перелік та обсяг навчальних дисциплін у кредитах ЄКТС, послідовність їх вивчення, форми проведення навчальних занять та їх обсяг, форми поточного і підсумкового контролю. Розподіл балів, з яких формується рейтинг та відповідний рівень компетентності студента, відбувається між поточним та підсумковим контролем. Рейтинг та рівень компетентності студента з навчальної дисципліни містить рейтинг компетентності з навчальної роботи, з підсумкового контролю, і якщо студент виявляє бажання займатися іншими видами діяльності, то йому додатково до підсумкового рейтингу з дисципліни можуть бути зараховані бали за ці види робіт. Оцінювання здійснюється шляхом виставлення відповідних балів за 100-бальною шкалою. Бали – це не число, яке одержують у результаті вимірювань і обчислень, а приписане оцінкове судження науково-педагогічного працівника, яке обґрунтовують за логікою та чинними критеріями. Загальний рейтинг з дисципліни визначається як сума балів, отриманих за всіма видами робіт з відповідної навчальної дисципліни, і відповідний рівень компетентності студента з дисципліни залежить від набраної суми балів. Нечіткість, суб’єктивність в оцінкових судженнях науково-

педагогічних працівників зумовлює необхідність застосовувати апарат нечітких множин та алгоритми нечіткого логічного виведення для визначення рівня компетентності випускника ВНЗ.

Етапи нечіткого логічного виведення можуть бути реалізовані неоднозначно, оскільки містять окремі параметри, які повинні бути фіксовані або специфіковані. Тобто, вибір конкретних варіантів параметрів на кожному з етапів визначає певний алгоритм, який в повному обсязі реалізує нечітке виведення в системах правил нечітких продукцій.

Система нечіткого логічного виведення для одержання узагальнених оцінок об'єктів має  $n$  входів та один вихід – результат нечіткого логічного виведення. На вхід системи нечіткого логічного виведення подаються вхідні величини (впливові фактори)  $x_i, i=1,2,\dots,k$ . На виході система видає узагальнену чітку оцінку, що є результатом системи нечіткого логічного виведення для заданих вхідних значень.

**Система нечіткого логічного виведення.** Нечітке логічне виведення визначає відображення вектора вхідних даних у скалярне вихідне значення за допомогою нечітких правил. Система нечіткого логічного виведення складається з трьох основних компонентів: фазифікатора, механізму логічного виведення та дефазифікатора. Фазифікатор визначає ступінь належності вхідних значень  $x_i, i=1,2,\dots,k$  до нечітких множин входу  $K_{x_i} = \{K_{x_i}^1, K_{x_i}^2, \dots, K_{x_i}^{m_{x_i}}\}$ , де  $m_{x_i}$  – кількість лінгвістичних змінних з відповідної лінгвістичної шкали для  $i$ -го входу. Необхідність у введенні процедури фазифікації зумовлена використанням у системі нечіткого логічного виведення лінгвістичних правил і здійснюється вона для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

Основою механізму логічного виведення є нечітка база правил, яка містить лінгвістичні правила. Вони можуть бути задані експертним шляхом чи отримані із деяких інших міркувань. Зазначимо, що це один із найбільш трудомістких та ресурсовитратних етапів нечіткого логічного виведення.

Механізм логічного виведення відображає вхідні нечіткі множини  $K_{x_i}^j, i=1,2,\dots,k$  кожного правила у вихідну множину  $K_y^j$  з набору вихідних лінгвістичних змінних  $K_y = \{K_y^1, K_y^2, \dots, K_y^{m_y}\}$ . Загалом, у нечіткій базі  $j$ -ве правило ( $j=1,2,\dots,r$ ) формулюється так:

$$\text{ПРАВИЛО } j : \text{“Якщо } x_1 \in K_{x_1}^j \text{ і } x_2 \in K_{x_2}^j \text{ і } \dots \text{ і } x_k \in K_{x_k}^j \text{ то } y \in K_y^j \text{”} . \quad (2)$$

Вихідні нечіткі множини  $y_j, j=1,2,\dots,r$  кожного правила об'єднуються в одну нечітку множину виведення  $\bar{y}$ . Потім дефазифікатор відображає нечітку множину виведення  $\bar{y}$  у чітке число  $\hat{y}$ , яке і буде результатом системи нечіткого логічного виведення для заданих вхідних значень  $x_i, i=1,2,\dots,k$ . Часто вживаними методами дефазифікації є центроїдний метод, методи максимуму, метод центру максимумів, висотна дефазифікація [12].

**Нечіткий алгоритм Мамдані** [12]. У цьому алгоритмі процес нечіткого логічного виведення будується так. База знань складається з нечітких правил у вигляді (2). На етапі фазифікації визначаються ступені належності вхідних значень  $x_i, i=1,2,\dots,k$  до нечітких множин входу, тобто визначаються ступені істинності  $\mu_i^j(x_i)$  для кожної передумови кожного  $j$ -го правила. Потім для кожного правила на основі ступенів істинності передумов  $\mu_i^j(x_i)$  розраховується ступінь його виконання  $\alpha_j$ . Для цього застосовують композицію на основі оператора мінімуму:

$$\alpha_j = \min \{ \mu_1^j(x_1), \mu_2^j(x_2), \dots, \mu_k^j(x_k) \}, j=1,2,\dots,r . \quad (3)$$

Для кожного правила на основі ступеня виконання  $\alpha_j$ ,  $j=1,2,\dots,r$  розраховується результат його виконання – вихідна нечітка множина з усіченою функцією належності  $\bar{\mu}^j(y)$ . Визначають усічену функцію належності також за допомогою оператора мінімуму:

$$\bar{\mu}^j(y) = \min\{\alpha_j, \mu^j(y)\}, \quad j=1,2,\dots,r. \quad (4)$$

Механізм логічного виведення завершується тим, що вихідні нечіткі множини виконаних правил за допомогою оператора максимуму агрегуються в нечітку множину виведення  $\bar{y}$ , функція належності якої має вигляд:

$$\mu_{\bar{y}} = \max\{\bar{\mu}^1(y), \bar{\mu}^2(y), \dots, \bar{\mu}^r(y)\}. \quad (5)$$

**Нечіткий алгоритм Ларсена** [12]. За цим алгоритмом фазифікація проводиться так само, як і за алгоритмом Мамдані. На відміну від використання оператора мінімуму в (4), функцію належності  $\bar{\mu}^j(y)$  результату виконання кожного правила розраховують на основі оператора добутку:

$$\bar{\mu}^j(y) = \alpha_j \cdot \mu^j(y), \quad j=1,2,\dots,r. \quad (6)$$

Механізм логічного виведення завершується так само, як і за алгоритмом Мамдані. Для приведення до чіткості проводять процедуру дефазифікації нечіткої множини. Метод дефазифікації вибирають залежно від конкретної задачі. Придатним для багатьох класів задач та найпоширенішим є центроїдний метод, що полягає у знаходженні центру ваги (центроїду) нечіткої множини, який і обирається за кінцевий результат.

**Нечіткий алгоритм Цукамото** [12]. Цей алгоритм використовують у тому випадку, коли функції належності вхідних та вихідних величин є монотонними. Фазифікація входів проводиться так само, як і за алгоритмом Мамдані. Для кожного  $j$ -го правила на основі ступенів істинності передумов  $\mu_i^j(x_i)$  розраховується ступінь його виконання  $\alpha_j$ . Для цього застосовують композицію на основі оператора мінімуму (3). Механізм логічного виведення завершується тим, що розв'язуються рівняння виду

$$\alpha_j = \bar{\mu}^j(y), \quad j=1,2,\dots,r \quad (7)$$

і визначаються чіткі значення для кожного правила. Чітке значення вихідної величини знаходиться як зважене середнє.

**Нечіткий алгоритм Сугено** [12]. У цьому алгоритмі нечіткого логічного виведення база правил складається з правил, у яких виходом є чітке значення, що визначається лінійною функцією:

$$\text{ПРАВИЛО } j: \text{ "Якщо } x_1 \in K_{x_1}^j \text{ і } x_2 \in K_{x_2}^j \text{ і } \dots \text{ і } x_k \in K_{x_k}^j \text{ то } \bar{y}^j = \sum_{i=1}^k a_i^j x_i, \quad (8)$$

де  $a_i^j$  – константи.

Остаточний результат логічного виведення  $\hat{y}$  розраховується як зважене середнє чітких результатів  $\bar{y}^j$  виконаних правил, в якому ваговими коефіцієнтами є ступені виконання правил  $\alpha_j$ .

**Система нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю** [13]. База нечітких продукційних правил у системі нечіткого логічного виведення створюється або групою експертів, або її можна побудувати із деяких інших міркувань. Важливість всіх впливових факторів при складанні правил вважають однаковою. При застосуванні системи нечіткого логічного виведення коригують процес логічного виведення з урахуванням значень вагових коефіцієнтів усіх впливових факторів. Зазвичай вагові коефіцієнти є нормованими, і їх можна використовувати як коригувальні множники. Тобто, в системі нечіткого логічного виведення за таким методом ступінь істинності кожної передумови  $\mu_i^j$ , що відповідає фактору  $x_i$   $j$ -го правила, множиться на відповідний ваговий

коефіцієнт  $p_i$ . Тоді згідно з (3) ступінь виконання  $j$ -го правила  $\alpha_j$  при застосуванні системи нечіткого логічного виведення визначатиметься так:

$$\alpha_j = \min \{p_1 \mu_1^j(x_1), p_2 \mu_2^j(x_2), \dots, p_i \mu_k^j(x_k)\}. \quad (9)$$

Але у такому випадку значення оцінки за менш важливим фактором, якому відповідає менше значення вагового коефіцієнта, значно впливатиме на значення ступеня виконання  $\alpha_j$  всього правила, тому що у процедурах композиції (3) та імплікації (4) відповідно до логічного “і” використовується оператор мінімуму. Отже, може виникати ситуація штучного заниження значення ступеня виконання певного правила  $\alpha_j$ . Тому такий спосіб зважування ступенів істинності передумов правил для проблеми визначення рівня компетентності може бути некоректним.

Для врахування значень вагових коефіцієнтів впливових факторів та забезпечення адекватної участі кожного фактора у формуванні значення ступенів виконання правил у результаті логічного виведення пропонується для визначення ступеня виконання  $\alpha_j$  правила в процедурі композиції ступенів істинності передумов правила (2) або (8) замість оператора мінімуму використовувати спеціальний апарат зваженої агрегації значень ступенів істинності  $\mu_i^j(x_i)$  передумов правила. При цьому правило виконується, якщо значення ступенів істинності  $\mu_i^j(x_i)$  кожної передумови правила більше за нуль. В окремих випадках доцільно застосовувати в процедурі композиції (3) зваженої суми значень оцінок, тобто лінійної комбінації значень оцінок за всіма факторами та їх вагових коефіцієнтів. За такого підходу ступінь виконання  $j$ -го правила  $\alpha_j$  при застосуванні системи нечіткого логічного виведення визначатиметься так:

$$\alpha_j = \sum_{i=1}^k p_i \cdot \mu_i^j(x_i), \mu_i^j(x_i) > 0. \quad (10)$$

Описана система нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю об'єднує позитивні моменти ідей різних нечітких алгоритмів і відрізняється від зваженої системи нечіткого логічного виведення, в якій кожному правилу надається своє значення ваги.

Запропонуємо технологію визначення рівня компетентності випускника ВНЗ, використовуючи процедури нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю. Вона ґрунтується на рейтингових оцінках випускника, одержаних під час навчання у ВНЗ за одним із освітньо-кваліфікаційних рівнів (бакалавр, спеціаліст, магістр). Використання лінгвістичних змінних і алгоритмів нечіткого логічного виведення дасть змогу детальніше і адекватніше враховувати результати навчання та особливості оцінювання результатів навчання студента при визначенні рівня його компетентності. Технологія визначення рівня компетентності складається з таких етапів (рис. 1).

**1 етап.** На першому етапі технології збирають дані про навчальні досягнення випускника за період навчання згідно з освітньо-кваліфікаційним рівнем (бакалавр, спеціаліст, магістр), враховуючи результати його творчої, інтелектуальної, науково-дослідної та інших видів діяльності, виражених рейтинговими оцінками за 100-бальною шкалою ЄКТС. Будується дерево логічного виведення, причому ієрархія факторів, що впливають на визначення рівня компетентності випускника, містить такі співвідношення:

$$R = f_R(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (11)$$

$$X_1 = f_{X_1}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k_1}), \quad (12)$$

$$X_2 = f_{X_2}(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k_2}), \quad (13)$$

$$\dots$$

$$X_n = f_{X_n}(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk_n}), \quad (14)$$

де  $R$  – рівень компетентності випускника;  $X_i, i=1,2,\dots,n$  – рівень компетентності за  $i$ -м циклом навчання;  $n$  – кількість циклів навчання;  $k_j, j=1,2,\dots,n_j$  – кількість оцінок в  $j$ -му циклі;  $x_{ij}$  – рівень компетентності за  $i$ -ю дисципліною в  $j$ -му циклі.



Цим співвідношенням відповідатиме нечітке логічне рівняння, яке дає змогу визначити рівень компетентності випускника  $R$ , використовуючи алгоритми нечіткого логічного виведення.

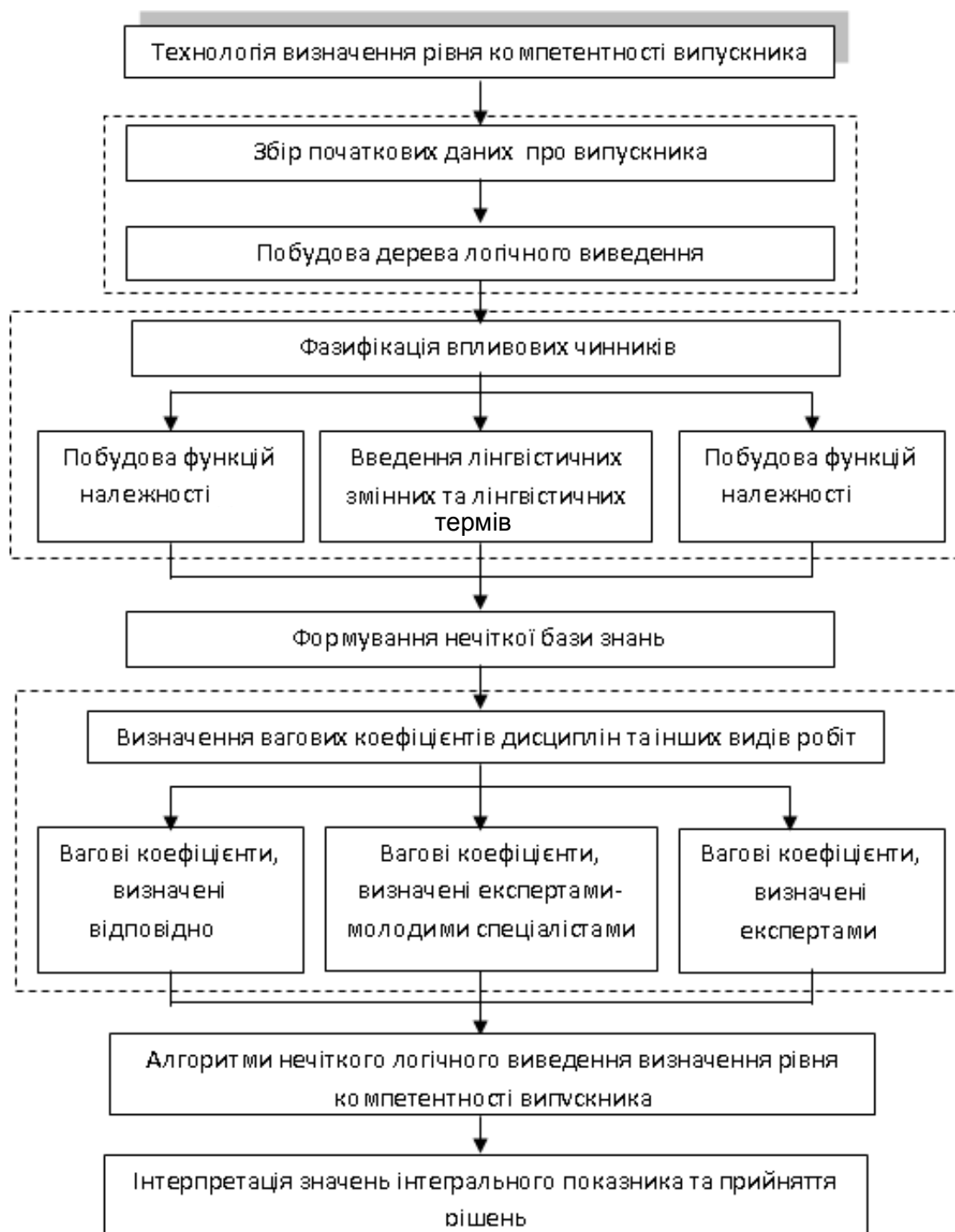


Рис. 1. Схема технології визначення рівня компетентності

**2 етап.** На другому етапі розробляють або генерують нечіткі продукційні правила та будують нечіткі бази знань, які використовуються в алгоритмах нечіткого логічного виведення. Сукупність таких правил описує стратегію управління, яка застосовується в розглядуваній задачі. Для цього в розгляд вводяться лінгвістичні змінні “рівень компетентності з дисципліни” і “рівень компетентності з циклу навчання” з лінгвістичними термами – “низький”, “середній”, “високий” та лінгвістична змінна “рівень компетентності випускника” з лінгвістичними термами – “елементарний”, “пороговий”, “підвищений”, “професійний”; будуються відповідні функції належності [14].

Для побудови функцій належності вхідних та вихідних величин, що використовуються у нечітких правилах, існує достатньо велика кількість підходів. Оскільки рейтингова оцінка з дисципліни, що відповідає одному з введених рівнів компетентності, міститься в певному діапазоні, то для побудови функцій належності пропонується метод інтервальних оцінок. У цьому випадку якщо маємо інтервал  $[h_l, h_r]$  значень оцінок, який відповідає деякому лінгвістичному терму, то з наближенням значення оцінки до правої границі можливість віднести її до відповідного терму лінійно зростає (рис. 2).

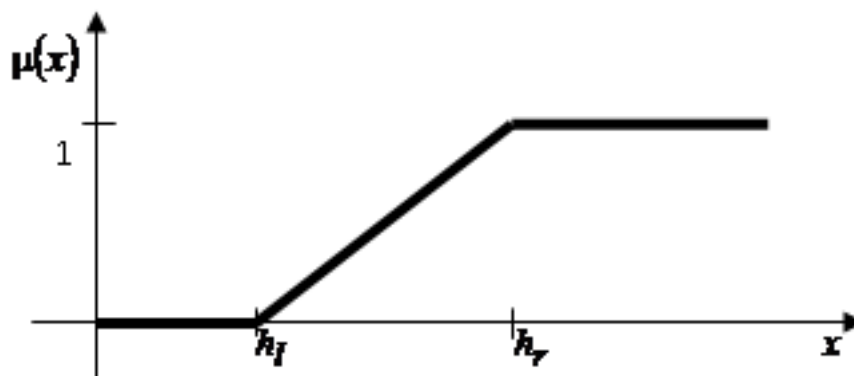


Рис. 2. Функція належності

При цьому формули для побудови функцій належності матимуть вигляд:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq h_l, \\ \frac{x - h_l}{h_r - h_l}, & \text{якщо } h_l < x < h_r, \\ 1, & \text{якщо } x \geq h_r. \end{cases} \quad (15)$$

**3 етап.** Визначення вагових коефіцієнтів – це відповідальний момент при оцінюванні факторів, що впливають на рівень компетентності. Кожен показник має свою “важливість”, або “цінність”, перебільшення або применшення якої при побудові інтегрального показника може змінити остаточну оцінку.

Оскільки неможливо в числовому вигляді точно подати значимість окремої дисципліни, то доцільно з допомогою вагових коефіцієнтів визначити, яка з них є важливішою. Згідно з освітньо-професійною програмою підготовки фахівця для вивчення дисциплін того чи іншого циклу навчання виділяється певна кількість кредитів. Тому одним з підходів до визначення вагових коефіцієнтів пропонується система кредитів, виділених для вивчення дисциплін за освітньо-професійною програмою. Для аналізу та коригування процесу підготовки фахівця певного напрямку до визначення вагових коефіцієнтів дисциплін та інших видів навчально-освітньої діяльності залучаються також експерти-роботодавці з відповідного напрямку підготовки та молоді спеціалісти – випускники певного напрямку підготовки. Для цього формується група експертів-роботодавців та група експертів – молодих спеціалістів. Перед експертами ставиться задача: в межах кожного циклу навчання, що передбачені програмою підготовки спеціаліста, за вказаною шкалою оцінити ступінь важливості або впливу дисципліни на формування компетентності випускника ВНЗ. Для визначення об’єктивності експертних даних розраховується ступінь узгодженості думок експертів. При узгодженості думок одержані дані застосовуються для визначення вагових коефіцієнтів дисциплін, що впливають на формування рівня компетентності. Аналіз існуючих способів визначення вагових коефіцієнтів експертами показує, що найпоширеніші підходи, які використовують пряме оцінювання, ранжування або попарне порівняння.

У результаті обчислень одержимо вагові коефіцієнти експертів за кожною дисципліною відповідного циклу навчання згідно з освітньо-професійною програмою підготовки здобувача вищої освіти.

**4 етап.** На четвертому етапі, використовуючи алгоритми нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю, визначають рівень компетентності випускника ВНЗ. Згідно з освітньо-професійною програмою дисципліни, що впливають на формування рівня компетентності, поділено на групи за циклами підготовки. Тому процес визначення рівня компетентності випускника, згідно з деревом логічного виведення, має ієрархічну структуру. Особливістю ієрархічних систем нечіткого логічного виведення є те, що вихід однієї бази знань подається на вхід іншої бази знань. Це дозволяє невеликою кількістю правил описати багатофакторні залежності “вхід-вихід”. Недоліком такої системи є те, що над проміжними змінними потрібно виконувати операції дефазифікації та фазифікації. Нечіткі результати проміжних логічних виводів дефазифікують, потім ці чіткі значення подають на вхід нечіткої системи наступного рівня ієрархії, і там вони фазифікуються, тобто стають нечіткими. Відповідно, і для проміжних змінних потрібно задавати функції належності.

Отже, реалізація цього етапу передбачає два кроки:

1) на першому кроці на підставі фазифікованих значень вхідних змінних (рейтингових оцінок) та відповідних вагових коефіцієнтів формується нечітка база знань і визначається рівень компетентності за кожним циклом навчання за описаними нечіткими алгоритмами із зваженою істинністю;

2) на другому кроці, використовуючи оцінки рівня компетентності за циклами, вагові коефіцієнти циклів формується нова нечітка база знань і визначається інтегральний показник рівня компетентності випускника вузу.

Після проведених обчислень перевіряють адекватність отриманих результатів та за необхідності надають рекомендації щодо коригування процесу підготовки фахівця, впровадження яких може оптимізувати навчальний процес та підвищити рівень компетентності випускників.

**Практична реалізація описаного підходу.** Проілюструємо технологію визначення рівня компетентності випускника ВНЗ, використовуючи описані процедури та нечіткий алгоритм Цукамото. Вибір алгоритму зумовлений тим, що згідно з (15) побудовані функції належності входів і виходів є монотонними.

Вхідними даними в розглядуваній задачі є рейтингові оцінки випускника вузу за 100-бальною шкалою, які об'єднано в групи за циклами навчання. Розглядувана за по кожним циклом має певну кількість входів, що відповідають рейтинговим оцінкам. Введемо в розгляд лінгвістичні змінні: “рівень компетентності по дисципліні” та “рівень компетентності по циклу” з лінгвістичними термами: “низький рівень”, “середній рівень”, “високий рівень”. Терму “низький рівень” відповідає діапазон оцінок [60..73], терму “середній рівень” – діапазон [74..89] і терму “високий рівень” – діапазон [90..100].

Нехай база нечітких правил містить визначені залежності рівня компетентності по циклах від рівня компетентності по дисциплінах. Декілька із можливих правил наведено в табл. 1.

Згідно з освітньо-професійною програмою підготовки, для вивчення кожної дисципліни відводиться деяка кількість кредитів, які ми приймаємо за вагові коефіцієнти у відповідному циклі.

Фазифікацію вхідних даних (рейтингових оцінок) здійснимо, використовуючи функції належності, побудовані за формулою (15) для введених діапазонів оцінок. Рейтингові оцінки випускника, їхні фазифіковані значення та нормовані значення вагових коефіцієнтів дисциплін наведено в табл. 2.

*Крок 1.* Для визначення рівня компетентності за кожним циклом агрегуємо вхідні дані за допомогою системи нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю, використовуючи нечіткий алгоритм Цукамото.

## База нечітких правил

| № пра-вила | входи |   |   | вихід | № пра-вила | входи |   |   |   | вихід | № пра-вила | входи |   |   |   |   | вихід |
|------------|-------|---|---|-------|------------|-------|---|---|---|-------|------------|-------|---|---|---|---|-------|
|            | 1     | 2 | 3 |       |            | 1     | 2 | 3 | 4 |       |            | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 |       |
| 1          | н     | н | н | н     | 10         | н     | н | н | н | н     | 19         | н     | н | н | н | н | н     |
| 2          | н     | н | с | н     | 11         | н     | н | н | с | н     | 20         | с     | н | с | н | н | н     |
| 3          | н     | с | н | н     | 12         | н     | с | н | н | н     | 21         | с     | н | н | н | в | н     |
| 4          | с     | с | с | с     | 13         | с     | с | с | н | с     | 22         | н     | с | с | с | с | с     |
| 5          | с     | с | в | с     | 14         | с     | с | в | н | с     | 23         | с     | н | с | с | с | с     |
| 6          | в     | с | с | с     | 15         | с     | в | н | в | с     | 24         | н     | с | с | в | с | с     |
| 7          | в     | в | в | в     | 16         | с     | в | в | в | в     | 25         | в     | в | с | в | в | в     |
| 8          | с     | в | в | в     | 17         | в     | с | в | в | в     | 26         | с     | в | в | в | с | в     |
| 9          | в     | в | с | в     | 18         | в     | в | в | в | в     | 27         | в     | в | в | в | в | в     |

Таблиця 2

## Початкові дані

| Цикли підготовки   | 1 цикл |      |      | 2 цикл |      |      |      |      | 3 цикл |      |      |      |
|--------------------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| Дисципліни         | 1      | 2    | 3    | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 1      | 2    | 3    | 4    |
| Оцінка ЄКТС        | 92     | 80   | 79   | 77     | 70   | 87   | 78   | 88   | 78     | 90   | 92   | 94   |
| Фазифікація        | 0,27   | 0,44 | 0,38 | 0,25   | 0,79 | 0,88 | 0,31 | 0,94 | 0,31   | 0,09 | 0,27 | 0,45 |
| Вагові коефіцієнти | 0,25   | 0,42 | 0,33 | 0,13   | 0,21 | 0,29 | 0,26 | 0,1  | 0,3    | 0,3  | 0,2  | 0,2  |

З табл. 1 і 2 видно, що для дисциплін 1-го циклу активним є правило №6; для дисциплін 2-го циклу – правило №23; для дисциплін 3-го циклу – правило №16. Ступінь виконання кожного правила визначається за формулою (10):

$$\alpha_6 = 0,25 \cdot 0,27 + 0,42 \cdot 0,44 + 0,33 \cdot 0,38 = 0,378,$$

$$\alpha_{23} = 0,13 \cdot 0,25 + 0,21 \cdot 0,79 + 0,29 \cdot 0,88 + 0,26 \cdot 0,31 + 0,1 \cdot 0,94 = 0,629,$$

$$\alpha_{16} = 0,3 \cdot 0,31 + 0,3 \cdot 0,09 + 0,2 \cdot 0,27 + 0,2 \cdot 0,45 = 0,264.$$

Механізм логічного виведення завершується розв'язуванням рівнянь виду (7) і визначаються чіткі значення для кожного активного правила:

$$\alpha_6 = \bar{\mu}^6(y_c), \quad 0,378 = \bar{\mu}^6(y_c) = \frac{y_c - 73}{16}, \quad y_c = 80,043;$$

$$\alpha_{23} = \bar{\mu}^{23}(y_c), \quad 0,629 = \bar{\mu}^{23}(y_c) = \frac{y_c - 73}{16}, \quad y_c = 83,064;$$

$$\alpha_{16} = \bar{\mu}^{16}(y_e), \quad 0,264 = \bar{\mu}^{16}(y_e) = \frac{y_e - 89}{11}, \quad y_e = 91,904.$$

Отримані агреговані дані запишемо у табл. 3.

Таблиця 3

## Агреговані дані

| Цикли підготовки          | 1 цикл | 2 цикл | 3 цикл |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Оцінка за циклом          | 80,043 | 83,064 | 91,904 |
| Фазифікація               | 0,378  | 0,629  | 0,264  |
| Вагові коефіцієнти циклів | 0,2    | 0,63   | 0,17   |

Крок 2. Розглянемо лінгвістичну змінну “рівень компетентності випускника” з лінгвістичними термами: “елементарний рівень”, “пороговий рівень”, “підвищений рівень” та “професійний рівень”. [14] Терму “елементарний рівень” відповідає діапазон [60..69], терму “пороговий рівень” – [70..83], терму “підвищений рівень” – [84..94] і терму “професійний рівень” – [95..100]. Функції належності для входу і виходу нечітких правил будуються за формулою (15).

Нехай база нечітких правил містить визначені залежності рівня компетентності випускника від рівня компетентності за циклами. Наведемо декілька із можливих правил (табл. 4).

Таблиця 4

База нечітких правил

| № правила | Входи правила |          |          | Вихід        |
|-----------|---------------|----------|----------|--------------|
|           | 1 цикл        | 2 цикл   | 3 цикл   |              |
| 1         | низький       | низький  | низький  | елементарний |
| 2         | низький       | середній | низький  | елементарний |
| 3         | низький       | середній | середній | пороговий    |
| 4         | середній      | низький  | середній | пороговий    |
| 5         | середній      | середній | високий  | підвищений   |
| 6         | високий       | середній | високий  | підвищений   |
| 7         | високий       | високий  | високий  | професійний  |

З табл. 4 видно, що в розглядуваному прикладі активним є правило №5. Ступінь виконання цього правила визначається за формулою (10):

$$\alpha_5 = 0,2 \cdot 0,378 + 0,63 \cdot 0,629 + 0,17 \cdot 0,264 = 0,517.$$

Механізм логічного виведення завершується розв’язуванням рівняння виду (7) для активного правила:

$$\alpha_5 = \bar{\mu}^5(y_{нидв}), 0,517 = \bar{\mu}^5(y_{нидв}) = \frac{y_{нидв} - 83}{11}, y_{нидв} = 88,687.$$

Отже, випускник має підвищений рівень компетентності із значенням 88,687.

### Висновки

Підвищення рівня якості вищої освіти відкриває для студентів і викладачів нові можливості обміну досвідом з розвиненими країнами. Однак, для підвищення рівня підготовки фахівців необхідні також відповідні вимірювальні процедури і сучасні засоби діагностики. Запропонована технологія визначення рівня компетентності випускника надає можливість кількісного оцінювання рівня компетентності. Особливістю цієї технології є використання нечітких баз знань та алгоритмів нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю, що дає змогу адекватніше враховувати результати оцінювання навчальних досягнень випускників. Крім того, використання таких технологій дає можливість створювати бази даних про рівень компетентності студентів та випускників та проводити системні дослідження з проблем оцінювання компетентності випускників у ВНЗ. Використання різних систем нечіткого логічного виведення та можливість вибору вагових коефіцієнтів експертами дасть змогу не лише визначити рівень компетентності випускника ВНЗ, але й краще врахувати впливові фактори, при яких інтегральний показник компетентності набудуватиме реального значення.

Подальші дослідження можуть бути скеровані на вдосконалення підходів та методів, запропонованих цією технологією. Оскільки процес побудови нечітких правил є трудомістким, то доцільним є також проведення досліджень у напрямку розроблення підходів до спрощення і автоматизації процесу побудови бази правил систем нечіткого логічного виведення.

1. Бібік Н. М. Компетентнісний підхід: рефлексивний аналіз застосування / Н. М. Бібік // Компетентнісний підхід у сучасній освіті. Світовий досвід та українські перспективи: б-ка з освітньої політики / Н. М. Бібік, Л. С. Ващуленко, О. І. Локишина та ін.; за заг. ред. О. В. Овчарук. – К., 2004. – С. 47–52. 2. Лега Ю. Г. Концептуальні засади підготовки менеджерів вищої кваліфікації / Ю. Г. Лега, В. В. Мельник, І. М. Цимбалюк. – Черкаси : ЧДТУ, 2003. – 107с. 3. Шадріков В. Д. Методика оцінки рівня кваліфікації педагогічних працівників / В. Д. Шадріков, І. В. Кузнецова. – М.: Інститут содержания образования государственного университета – высшей школы экономики, 2010. – 211с. 4. Шкоджина Н. И. Технология формирования профессиональных компетенций специалиста СПО / Н. И. Шкоджина // Среднее профессиональное образование. – 2009. – № 9. – С. 44–45. 5. Ключова О. К. Основные компетенции специалиста по управлению персоналом в Великобритании и США / О. К. Ключова // Среднее профессиональное образование. – 2008. – №9. – С. 79–82. 6. Калицкий Э. М. Разработка средств контроля учебной деятельности: метод. рекомендации / Э. М. Калицкий и др. – Минск: РИПО, 2005. – 48 с. 7. Берестнева О. Г. Компьютерные технологии в оценке качества обучения / О. Г. Берестнева, О. В. Марухина // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 6. – С. 106–112. 8. Марухина О. В. Алгоритмы обработки информации в задачах оценивания качества обучения студентов вуза на основе экспертно-статистических методов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 164с. 9. Сибикина И. В. Процедура оценки компетентности студентов вуза, обучающихся по направлению “Информационная безопасность” / И. В. Сибикина // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика, 2011. – № 1. – С. 200–205. 10. Елисеев И. Н. Диагностика индивидуальных свойств личности в студенческой среде на основании модели Рашиа // Стандарты и мониторинг в образовании. – 2009. – №3. 11. Ляшенко О. І. Компетентність як об’єкт оцінювання навчальних досягнень учнів / О. І. Ляшенко // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна. – 2014. – Вип. 20. – С. 36–39. 12. Зайченко Ю. П. Нечёткие модели и методы в интеллектуальных системах: учеб. пособие / Ю. П. Зайченко. – К.: Изд. дом “Слово”, 2008. – 354с. 13. Коршевнюк Л. О. Система нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю / Л. О. Коршевнюк, М. Ю. Мінін // Единое информационное пространство '2004: Сб. докл. II-й Междунар. науч.-практ. конф. – Днепрпетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2004. – С. 114–117. 14. Маляр М. М. Модель визначення рівня компетентності випускника з використанням нечітких множин / М. М. Маляр, А. Ю. Штимак // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 22. – С. 151 – 157.