

*Пихтар М.П.,
Славутицька філія Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут»
Трунова О.В.,
Чернігівський національний технологічний університет*

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ СТУДЕНТОМ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

У статті розглянуто алгоритм процесу визначення рівня засвоєння студентом дисципліни з урахуванням передбачених видів робіт, які включають адаптивне тестування. Модель базується на основі теорії нечітких множин і дозволяє проводити інтегральний облік кількісних і якісних факторів.

***Ключові слова.** рівень засвоєння студентом дисципліни, нечітка модель, адаптивне тестування, лінгвістична змінна, функція належності.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку України суттєвим є вдосконалення системи традиційного вузівського навчання. У нинішній системі підготовки фахівців у вищих навчальних закладах, попри безумовні досягнення в ній, існують певні недоліки, а саме: відсутність стимулів до якісної й систематичної роботи, низький рівень активності та самостійності, можливість необ'єктивного оцінювання знань.

Створення стимулюючої системи контролю навчальної роботи студентів є одним із важливих засобів підвищення ефективності навчального процесу. Навчання у вищому навчальному закладі потенційно має бути орієнтоване не тільки на якісну предметну підготовку майбутніх професіоналів відповідно до їх спеціалізації, але й на підготовку фахівців, що володіють знаннями та навичками щодо ефективного оцінювання своїх навчальних досягнень.

Реформування системи вищої освіти вимагає нового змісту та пошуку нових ефективних форм, засобів і методів підготовки, створення відповідної навчальним можливостям студентів моделі навчання [1]. Суттєвою особливістю вищої освіти є складність кількісного оцінювання процесу навчання. Однозначного переліку відповідних показників не існує оскільки відсутні чіткі уявлення про те, які кількісно вимірні фактори впливають на якість підготовки, якими достовірно оцінюючими показниками вона виражається, яка вірогідність цих показників і т. д.

Створення та впровадження системи державних стандартів вищої освіти вимагають подальшого вдосконалення та пошуку нових методів оцінювання успішності студентів у вищих навчальних закладах.

Аналіз основних досліджень. У педагогічній практиці проблема контролю знань студентів та учнів має широке наукове обґрунтування та високий ступень дослідженості (І. Є. Булах, М. Г. Дайрі, Н. Д. Наумов, І. Т. Огородніков, Л. О. Одерій, В. О. Онищук, В. Г. Розумовський, М. М. Жрецький та інші). Особливості рейтингової системи оцінки досліджують А. О. Андрощук, Ю. В. Бондарчук, О. Г. Водолазька, В. А. Казаков, Г. С. Юзбашева та інші.

Найголовнішими принципами оцінювання знань студентів є індивідуальний характер оцінки знань, тематична спрямованість, диференційованість, вимогливість, об'єктивність, умотивованість і системність.

Контроль засвоєння студентом кожної дисципліни пропонується здійснювати в рамках накопичувальної бально-рейтингової системи, що відповідає вимогам визначеним європейською системою кредитів – ЄКТС. Система оцінювання знань студентів з кожної дисципліни включає поточний, модульний і семестровий контроль знань, оцінювання результатів практик і державну атестацію за певним освітньо-кваліфікаційним рівнем [1]. Поточний контроль здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, практичних, лабораторних, семінарських занять, тощо. Такі методи контролю успішності студентів нині використовують більшість навчальних закладів. Вибір форм контролю залежить від мети, змісту, методів, часу та місця. Одна з форм контролю – це тести, які здебільшого проводяться у вигляді автоматизованих процедур опитування [2]. Автоматизована процедура масової оцінки, що не містить емоційного забарвлення і застосовується однаково до всіх випробовуваних, зменшує необ'єктивність і прискорює час оцінювання. Однак вона має слабкі місця, на які не слід закривати очі. Неможливо автоматичними засобами перевірити й об'єктивно оцінити вміння: викладати думки, знаходити нестандартні рішення, навчати й навчатися.

Один із варіантів визначення рівня знань – це адаптивне тестування, яке полягає у зміні рівня складності наступного питання тестування залежно від відповіді на попереднє: за позитивної відповіді рівень складності підвищується, за негативної – знижується. Слід зазначити, що адаптивне тестування можливе, якщо заздалегідь визначено складність тестових завдань, що передбачає їх попередню апробацію та обробку результатів із використанням методів дисперсійного аналізу і теорії тестування для визначення надійності, валідності та дискримінативності [4].

Оцінювання результатів навчальної діяльності студентів має бути об'єктивною, систематичною й послідовною. Складність оцінювання в тому, що вона багатоаспектна [3]. Нечіткість цих параметрів не дозволяє застарілим методам математичного моделювання отримувати адекватні кількісні описи досліджуваних параметрів, а тому змушує шукати розв'язання класичних задач освітнього процесу неklasичними методами.

Нині існує чимала кількість різних математичних моделей і підходів, які описують ті чи інші стадії процесу контролю знань, що спираються на різні розділи математики. Використовуються теорія ймовірності й математична статистика, теорія графів, теорія латентноструктурного аналізу, теорія прийняття рішень і дослідження операцій, комбінаторна топологія і теорія фракталів тощо. У статті [5] для розв'язання сформульованої задачі використовується теорія нечітких множин, нечітка логіка, пропонується ставити у відповідність бальній оцінці нечітку множину.

Метою статті є дослідження можливостей застосування теорії нечітких множин для моделювання процесу визначення рівня засвоєння студентом дисципліни з урахуванням передбачених видів роботи.

Виклад основного матеріалу. Оцінювання роботи студента проводиться за 100-бальною шкалою по кожному контрольованому виду навчальної роботи, а також за конкретним модулем, дисципліні. Оцінка виставляється в ході поточного контролю знань

протягом семестру, а також при – складання заліків та іспитів і відображає якість засвоєння навчального матеріалу або рівень набутих компетенцій [4].

При інтегральному оцінюванні знань студента з використанням лінгвістичних змінних необхідно вести облік кількісних і якісних факторів. У результаті проведення пасивних експериментів проводиться оцінювання досліджуваних характеристик, для яких задаються обмеження у вигляді порогових значень.

Зупинимося на рейтинговій системі оцінювання знань (PCOЗ), яка включається в систему внутрішнього показника якості підготовки і застосовується в багатьох вузах. PCOЗ має мету знизити суб'єктивізм, що виявляється між викладачами та студентами, а також усунути інші (можливо приховані) чинники, що заважають об'єктивно оцінити рівень підготовки студентів.

Розглянемо PCOЗ, що застосовується для виставлення підсумкової оцінки з однієї дисципліни, яка полягає в тому, що студент накопичує бали за роботу протягом семестру, а потім сумарний підсумок переводиться в звичну для всіх оцінку. Але, по-перше, види робіт з пропонованого переліку очевидно вимірюються в різних одиницях, а тому проблематична пряма накопичувальна система. По-друге, як правило, методика перекладу сумарного підсумку в оцінку або залишається за межами роботи з використанням нечіткої логіки [2], або застосовується стандартний підхід роботи з випадковими величинами [4].

При побудові моделі формування лінгвістичної оцінки успішності засвоєння дисципліни студентом, на наш погляд, в якості вхідних змінних необхідно використовувати як кількісні фактори (Q - кількість запитань, b_k - кількість правильних відповідей, Σ - сумарний бал), так і якісні фактори (x_1 - рівень засвоєння на 2 (незадовільно); x_2 - рівень - на 3 (задовільно); x_3 - рівень - на 4 (добре); x_4 - рівень - на 5 (відмінно)) [2].

Модель лінгвістичної оцінки рівня знань студента (F) у загальному вигляді можна зобразити таким чином (рис. 1).



Рис. 1. Модель формування лінгвістичної оцінки рівня знань, де S – сума балів, яку отримав студент, $x_1 - x_4$ – рівні оцінки.

Алгоритм формування лінгвістичної оцінки успішності освоєння дисципліни (модуля) студентом полягає в наступному:

1. Провести нормування накопиченої суми балів на відрізьку $[0;100]$ за рівнями.

Визначити допоміжні змінні x_i , $i = \overline{1,4}$ нормуючі накопичену суму балів на відрізьку $[0;100]$ незалежно від кількості запитань у тесті:

$$x_1' = S - (2k_1(\text{int}(\frac{Q}{15}) + \text{int}(\frac{Q-5}{15})) + k_1 \text{int}(\frac{Q-10}{15}));$$

$$x_2' = \begin{cases} S - (3k_1(\text{int}(\frac{Q}{10}) + 2k_1(\frac{Q}{10} - 1,5)), & \text{якщо } Q - \text{непарне } (Q \bmod 2 \neq 0); \\ S - (3k_1 + 2k_1) \cdot (\frac{Q}{10} - 1), & \text{якщо } Q - \text{парне } (Q \bmod 2 = 0); \end{cases}$$

$$x_3' = \begin{cases} S - (2k_2(\text{int}(\frac{Q}{10}) + 3k_2(\frac{Q}{10} - 1,5)), & \text{якщо } Q - \text{непарне } (Q \bmod 2 \neq 0); \\ S - (2k_2 + 3k_2) \cdot (\frac{Q}{10} - 1), & \text{якщо } Q - \text{парне } (Q \bmod 2 = 0); \end{cases}$$

$$x_4' = \frac{S \cdot (k_3 \cdot (Q - 2) + 1)}{((k_3 \cdot (Q - 2) + 1) + 4 \cdot \frac{Q - 10}{5})};$$

$$S = k_1 b_1 + k_2 b_2 + k_3 b_3;$$

де S - накопичена сума балів;

Q - кількість запитань у тесті, при $Q \geq 10$, $Q \bmod 2 = 0$;

b_1 - кількість правильних відповідей на рівень складності 1;

b_2 - кількість правильних відповідей на рівень складності 2;

b_3 - кількість правильних відповідей на рівень складності 3;

k_1 - коефіцієнт за правильність відповіді на питання 1 рівня складності; k_2 - коефіцієнт за правильність відповіді на питання 2 рівня складності; k_3 - коефіцієнт за правильність відповіді на питання 3 рівня складності; при $0 < k_1 < k_2 < k_3$; int - функція ділення, що повертає ціле число; mod - функція ділення, що повертає залишок.

Змінна x_i , $i = \overline{1,4}$ (x_1 - рівень на незадовільно; x_2 - рівень на задовільно; x_3 - рівень на добре; x_4 - рівень на відмінно) нормується залежно від значень допоміжної змінної x_i' на відрізок $[0;100]$:

$$x_i = \begin{cases} 20x_i', & \text{якщо } x_i' \leq 1,2, \\ 24 + 62,5(x_i' - 1,2), & \text{якщо } 1,2 < x_i' \leq 1,6, \\ 49 + 20(x_i' - 1,6), & \text{якщо } 1,6 < x_i' \leq 2, \\ 57 + 12,8(x_i' - 2), & \text{якщо } 2 < x_i' \leq 2,7, \\ 66 + 11,4(x_i' - 2,7), & \text{якщо } 2,7 < x_i' \leq 3,4, \\ 74 + 4,5(x_i' - 3,4), & \text{якщо } 3,4 < x_i' \leq 5,4, \\ 100 - 3(7,4 - x_i'), & \text{якщо } 5,4 < x_i' < 7,4, \\ 100, & \text{якщо } x_i' \geq 7,4. \end{cases}$$

Формули складені відповідно 100-бальної шкали, що використовується для перетворення балів в традиційну оцінку і числовим значенням x_i , $i = \overline{1,4}$, отриманим в процесі експерименту (див. табл.1). Наприклад, значення 7,4 відповідає максимальному значенню x_4 при проходженні адаптивного тесту, який починається з 1 рівня складності; значення 3,4, 2 і 1,2 - середнім значенням x_3 , x_2 , x_1 значення 1,6, 2,7 та 5,4 отримані шляхом додавання лівого значення і різниці між сусідніми значеннями, розділеної навпіл ($1,6 = 1,2 + (2-1,2)/2$; $2,7 = 2 + (3,4-2)/2$ і т. д.).

На кожному з отриманих відрізків перебували коефіцієнти відповідності числових значень балам. Наприклад, між $[3,4; 5,4]$ знаходяться бали від 74 до 83, тому числове значення одиниці на цьому відрізку відповідає 4,5 бали $((83-74)/(5,4-3,4))$.

Таблиця 1. Числові значення, необхідні для формування аргументу x функції належності якості вихідної змінної

Коефіцієнт переходу	0		1,2		1,6		2,0		2,7		3,4		5,4		7,4
Числове значення функції належності		20		62,5		20		12,8		11,4		4,5			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	0		24		49		57		66		74		83		100
Оцінка за національною шкалою	x_1 - незадовільно						x_3 - задовільно			x_3 - добре			x_4 - відмінно		
Оцінка ECTS	F			FX			E	D	C	B	A				

2. Задати класифікаційну шкалу лінгвістичних змінних $x_i, i = \overline{1,4}$. Лінгвістичні змінні: x_1 - рівень засвоєння на 2 (незадовільно); x_2 - рівень - на 3 (задовільно); x_3 - рівень - на 4 (добре); x_4 - рівень - на 5 (відмінно), інтерпретуємо у вигляді терм-множини з тривимірною шкалою $T2 = \{NB, BH, CB\}$, де значення NB – «не відповідає рівню засвоєння на (2, 3, 4 або 5)», BH – «відповідає незначним чином» і CB – «цілком відповідає».

3. Задати функції належності якості змінних $x_i, i = \overline{1,4}$.

Кожна з лінгвістичних змінних «рівень - на 2 (3, 4, 5)» має одну трикутну криву належності (1) і дві T- подібних кривих належності (2) ($\mu_{x_i}^{HB}, \mu_{x_i}^{BH}, \mu_{x_i}^{CB}, i = \overline{1,4}$), у загальному вигляді які можуть бути задані виразами:

$$\mu_{\Delta}^j(x_i, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c, \\ 0, & c < x, \end{cases} \quad (1)$$

де $i = \overline{1,4}$; $j \in \{T2\}$; a, b, c - деякі числові параметри, що характеризують основу трикутника (a, c) і його вершину (b), до того ж має виконуватися умова: $a \leq b \leq c$.

$$\mu_T^j(x_i, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b, \\ 1, & b < x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d, \\ 0, & d < x, \end{cases} \quad (2)$$

де $i = \overline{1,4}$; $j \in \{T2\}$; a, b, c, d - деякі числові параметри, що характеризують нижню основу трапеції (a, d) і верхню основу трапеції (b, c), що набувають довільні дійсні значення і впорядковані відношенням: $a \leq b \leq c \leq d$.

З урахуванням (1) і (2) функції належності нечітких терм-множин лінгвістичної змінної «рівень на 2 (3, 4, 5)» (x_1, x_2, x_3, x_4) будуть мати наступний вигляд:

- 1) $\mu_{T_{x_1}}^{HB}(x_1, 0, 0, 15, 30)$; $\mu_{\Delta x_1}^{BH}(x_1, 20, 35, 50)$; $\mu_{\Delta x_1}^{CB}(x_1, 40, 55, 100, 100)$;
- 2) $\mu_{T_{x_2}}^{HB}(x_2, 0, 0, 20, 40)$; $\mu_{\Delta x_2}^{BH}(x_2, 30, 50, 70)$; $\mu_{\Delta x_2}^{CB}(x_2, 60, 70, 100, 100)$;
- 3) $\mu_{T_{x_3}}^{HB}(x_3, 0, 0, 50, 70)$; $\mu_{\Delta x_3}^{BH}(x_3, 55, 70, 85)$; $\mu_{\Delta x_3}^{CB}(x_3, 70, 90, 100, 100)$;
- 4) $\mu_{T_{x_4}}^{HB}(x_4, 0, 0, 70, 80)$; $\mu_{\Delta x_4}^{BH}(x_4, 70, 80, 90)$; $\mu_{\Delta x_4}^{CB}(x_4, 80, 90, 100, 100)$.

Виконання нечіткого виводу реалізується на основі алгоритму Мамдані [Mamdani] [6].

Значення параметрів a , c , b , d можуть уточнюватися згідно з експериментальними даними. При використанні класифікаторів (тріарної та тетрарної шкал) на носії нечіткої множини значимість лінгвістичних змінних визначається на відрізьку дійсної осі $[0;1]$.

4. Визначити класифікаційну шкалу і функції належності якості досліджуваного параметра (вихідної змінної) «Оцінка успішності засвоєння дисципліни студентом» у вигляді терм-множини значень $T1=\{\text{незадовільно (Н), задовільно (З), добре (Д), відмінно (В)}\}$. Лінгвістична змінна «Оцінка успішності засвоєння дисципліни студентом» має дві трикутних кривих належності і дві Т-подібних кривих належності $(\mu_F^H, \mu_F^3, \mu_F^D, \mu_F^B)$.

З урахуванням (1) і (2) функції належності нечітких терм-множин лінгвістичної змінної «Оцінка успішності освоєння дисципліни студентом» (F) будуть має наступний вигляд: $\mu_F^H(x, 0, 0, 25, 50)$; $\mu_F^3(x, 40, 55, 70)$; $\mu_F^D(x, 60, 75, 90)$; $\mu_F^B(x, 80, 90, 100, 100)$.

5. Визначити нечіткі продукційні правила оцінки успішності засвоєння дисципліни студентом (табл. 2).

Таблиця 2. Нечіткі продукційні правила.

Правило	Вид терму	Змінна				F
		x_1	x_2	x_3	x_4	
БП1	НВ	+				F ^B - відмінно
	ВН		+	+	+	
	ЦВ				+	
БП2	НВ	+				F ^D - добре
	ВН		+		+	
	ЦВ			+		
БП3	НВ	+			+	F ^D - добре
	ВН		+			
	ЦВ		+	+		
БП4	НВ					F ^D - добре
	ВН	+				
	ЦВ					
БП5	НВ	+			+	F ³ - задовільно
	ВН	+		+		
	ЦВ		+			
БП6	НВ	+		+	+	F ³ - задовільно
	ВН	+	+			
	ЦВ					
БП7	НВ		+	+	+	F ^H - незадовільно
	ВН	+				
	ЦВ	+				
БП8	НВ				+	F ^H - незадовільно
	ВН		+	+		
	ЦВ	+				

6. Акумуляція висновку за всіма правилами проводиться із застосуванням операції *max*-диз'юнкція. До основних методів дефазифікації (перетворення нечіткого набору висновків у чітке число) належать багато методів зведення до чіткості: метод вибору максимуму функції приналежності; метод центра тяжіння; метод медіани; метод вибору центра максимумів тощо.

Експериментальні дослідження доводять, що найточніший – це метод центру тяжіння для дискретної множини значень функцій належності

$$f^g = \frac{\sum_{r=1}^{f_{\max}} f_r \mu_B(f_r)}{\sum_{r=1}^{f_{\max}} \mu_B(f_r)},$$

де f_{\max} - число елементів у f_r дискретизованій для обчислення «центру тяжіння» області F [5].

7. Семестрова оцінка успішності студента з навчальної дисципліни виводиться, виходячи з максимальної суми балів, що дорівнює 100 [4]. Якщо за кожним з видів навчальної роботи F_1, F_2, \dots, F_n відомі лінгвістичні оцінки $\mu(x) = (\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x))$ і визначені вагові коефіцієнти $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, тоді оператор агрегування інформації являє собою зважену суму і характеризується своєю лінгвістичною оцінкою, яка визначається функцією належності на 01-класифікаторі

$$\mu_F(x) = \sum_{i=1}^n \mu_i(x) \cdot p_i.$$

Висновки. Розроблений алгоритм оцінювання успішності засвоєння дисципліни студентом на основі теорії нечітких множин дозволяє проводити інтегральний облік як кількісних (кількість запитань, кількість правильних відповідей, сумарний бал), так і якісних факторів (x_1 - рівень засвоєння на 2 (незадовільно); x_2 - рівень - на 3 (задовільно); x_3 - рівень - на 4 (добре); x_4 - рівень - на 5 (відмінно), враховуючи невизначеність останніх. Установлюючи критерій значущості рівня надійності функцій належності якості вхідних (вихідних) змінних, можна міняти підсумкові результати залежно від рівня підготовленості студентів.

Експериментально встановлено, що застосування алгоритму оцінювання успішності засвоєння дисципліни студентом дозволяє достатньо точно виставити оцінку при проходженні адаптивного тестування.

В рамках накопичувальної модульно-рейтингової системи використання теорії нечітких множин дозволяє набирати бали за 100-бальною шкалою за всіма видами навчальної діяльності і формувати підсумковий бал залежно від максимально можливих балів, встановлених за кожен обсяг виконаної роботи [3].

Список використаної літератури

1. Національна доктрина розвитку освіти України у XXI столітті: Проект // Освіта. - 2001. - №60-62, 24-31 жовтня.

2. Домрачев В.Г., Полещук О.М., Ретинская И.В. Нечеткие модели рейтинговых систем оценки знаний [Электронный ресурс]. – http://www.ict.edu.ru/vconf/files/tm01_627.doc.
3. Трунова О.В. Организация модульно-рейтингового контроля з теорії ймовірностей і математичної статистики в економічному ВУЗі//Наукові записки: [збірник наукових статей]. К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2010.- (Серія педагогічні та історичні науки). - Випуск LXXXIX (89). С. 211-220.
4. Трунова О.В., Гребінник А.Г., Скітер І.С. Алгоритм оцінки успішності засвоєння навчальної дисципліни студентом на основі теорії нечітких множин. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2014: Дев'ята міжнародна науково-практична конференція. Тези доповідей (Чернігів-Жукин, 23-27 червня 2014р.). - Чернігів, Черніг. дер. технол. ун-т, 2014. С. 296-299.
5. Ротштейн А. П. Влияние методов дефаззификации на скорость настройки нечеткой модели / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 5. – С. 169–174.
6. Дьяконов В., Круглов В. Алгоритмы нечёткого вывода: алгоритм Мамдани и алгоритм Сугэно. // Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. — Санкт-Петербург: Питер, 2001 — С. 307–309.

Пихтарь Н.П., Трунова Е.В. Алгоритм оценивания успешности усвоения учебных дисциплин студентом на основе теории нечетких множеств.

В статье рассмотрен алгоритм процесса определения уровня усвоения студентом дисциплины с учетом предусмотренных видов работ, которые включают адаптивное тестирование.

Модель базируется на основе теории нечетких множеств и позволяет проводить интегральный учет количественных и качественных факторов.

Представлены основные этапы моделирования: нормирование накопленной суммы баллов на отрезке по уровням; задание классификационной шкалы и функции принадлежности качества лингвистических переменных; определение исходящего параметра в виде терм-множества значений; определение нечетких продукционных правил; аккумуляция вывода на основе метода центра тяжести; определение оценки уровня усвоения студентом учебной дисциплины.

Ключевые слова. *Уровень усвоения студентом дисциплины, нечеткая модель, адаптивное тестирование, лингвистическая переменная, функция принадлежности.*

Pikhtar M., Trunova O. On algorithm of assessment of learning success of discipline by students based on fuzzy sets theory.

The article describes the algorithm of the process of determining the level of mastering student discipline, taking account of the types of work that include adaptive testing. This model is based on the theory of fuzzy sets and allows the integral consideration of quantitative and qualitative factors.

Keywords. *Level of achievement a student discipline, fuzzy model, adaptive testing, the linguistic variable, membership function.*