



KAPITEL 2 / CHAPTER 2²

METHODS FOR DEVELOPING THE THEORY OF FUZZY MULTIPLE STUDENTS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-17-02-028

Вступ.

Розумовий процес людини має певні особливості, серед яких абстрактність, невизначеність, неточність мислення є характерними. Людині властиві емоційне забарвлення, не кількісні висновки та суперечливі твердження. І хоча, на перший погляд, це є недоліком розумового процесу, з іншого, саме така абстрактність дозволяє успішно справлятися зі складними нелінійними, невизначеними та стохастичними задачами. Зокрема, задачі розпізнання образів, незрозумілого почерку, аналіз, оцінювання і прогнозування на основі фрагментарних даних легко піддаються людині.

Тож на сучасному етапі розвитку вважати класичну двозначну математичну логіку взірцем ідеального мислення науки не є правильним. Методи класичної логіки, яка ще отримала назву «чіткої логіки», для гуманітарних досліджень частіше всього виявляються неефективними через неформалізовані якісні характеристики. Пошук нових ефективних інструментів опису для таких характеристик призвів до розуміння того, що мислення, яке базується не на прямому переборі набору альтернатив, а на якісній оцінці, є доцільним і може бути успішно застосовуватись у гуманітарних дослідженнях. Отже, за умови розробки математичного інструментарію нечітка логіка може забезпечувати ефективний аналіз неточностей та невизначеностей.

Спектр застосування моделей нечіткої логіки занадто широкий, оскільки некоректні і неформалізовані задачі існують в усіх предметних областях. Управління людськими ресурсами, технічними, фінансовими, логістичними процесами, педагогічні дослідження, медична діагностика – це неповний перелік задач, у яких точні результати отримати майже неможливо, можливо лише максимально наблизитися до них. Саме для таких задач розроблені методи представлення нечітких знань і механізми виведення результатів на їх основі.

У таких задачах застосовується багатокритеріальний аналіз певних характеристик, які мають «розмитий» характер. Зокрема, у таких як «недостатнє фінансування», «низька якість», «більш-менш сприятливі умови», «кращий

²Authors: Rudenko Yulia Oleksandrivna



менеджер» особливо чітко простежується потреба в інструментарії, який передбачає не тільки чіткі відповіді «так-ні», а й різні проміжні значення, які втілюють відносний відсоток впевненості у твердженні.

Опанування теорії нечіткої проблематики («м'яких розрахунків»), зважаючи на її значущість, потребує детального розгляду і актуалізації проблеми її навчання студентів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Засновником нечіткої логіки, в основу якої покладена теорія нечітких множин вважається Лафті Заде [1]. Саме йому належить ідея того, що спосіб мислення, характерний для людини, не може бути описаним у рамках традиційної формалізованої математики. Він зробив перший крок до поєднання точності класичної математики з нечіткістю реального світу. Новій області науки Л.Заде надав назву «fuzzy logic» (нечітка логіка). За прагматичну мету вчений поставив задачу створення такого формалізованого математичного апарату, який би моделював людські міркування та пояснював людські прийоми прийняття рішень.

Завдяки прогресивному розвитку ІТ-технологій, зокрема, штучному інтелекту, математичний апарат, який переводить неформалізовані висловлювання на мову чіткої формалізованої математики почав отримувати широке прикладне поширення і став предметом численних досліджень.

Сьогодні теорія нечітких множин широко застосовується в нейронних мережах, системах штучного інтелекту та експертних системах, а у світі представлена достатня кількість наукових доробків на зазначену тематику.

Значна роль у поширенні ідей Л. Заде належить Б. Коско. У його наукових працях представлені теоретичні основи теорії нечітких множин [2]. Зокрема, у теоремі FAT (Fuzzy Approximation Theorem) Б. Коско доводить, що будь-яка класична математика може бути апроксимована засобами нечіткої логіки [3]. Після того, як у 1988 році експертна система, розроблена на основі теорії нечітких множин, спрогнозувала світову біржову кризу, теорема Б.Коско, заснована на ідеях Л.Заде отримала широке визнання і поширення [4].

Моделям і перспективам використання нечіткої логіки присвячені роботи В. Арнольд [6]. Проектування інтелектуальних навчальних систем з використанням «м'яких» розрахунків розглядає С.Таркановський [7]. Автор створив і описав автоматизоване середовище побудови індивідуальних траєкторій для медичних послуг. А. Смирнов розглядає можливість застосування апарату теорії нечітких множин при організації електронного (дистанційного)



навчання [8]. Потенціал нечіткої логіки у гуманітарних дослідженнях вивчали М.И. Вершинін, Л.П. Вершиніна [5]. Автори наукового доробку доводять, що класичний кількісний аналіз має свої межі, за якими втрачається якість розрахунків. Натомість, застосовуючи, нечітку логіку, можна побудувати і застосувати раціональну шкалу для вимірювання властивостей гуманітарних об'єктів.

Широке коло можливостей нечітких моделей у процесі експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів висвітлено В.Пасічник, В.Юнчик. Автори детально описують особливості нечіткого моделювання у програмних середовищах MATLAB і fuzzyTECH Ю.Андросюк. Велике значення теорії нечітких множин у своїх педагогічних дослідженнях приділяє О.Рева [9]. Автор розробив модель «полегшеної шкали оцінювання» для вимірювання якісних характеристик на кшталт «поведінка студентів» [10], [11], [12].

За думкою Є. Чайковської, К.Бушуєва, В.Петренко та інших дослідників, теорія нечітких множин має широке поле застосування для вирішення кола завдань, спрямованих на оцінку проєктів в умовах невизначеності. При цьому цей інструментарій надає широкі можливості для проведення і автоматизації досліджень педагогу, економісту, фінансисту, менеджеру тощо [13], [14]. Розв'язання проблем прийняття рішень за лінгвістичною інформацією, лінгвістичному аналізу рішень присвячена праця Ф.Херрера [15]. Втім, якщо майбутні ІТ-спеціалісти глибоко вивчають теорію нечітких множин та механізми їх використання, то у навчанні студентів інших спеціальностей увага до вивчення нечіткої логіки майже не приділяється.

Вищезазначене зумовлює актуальність розгляду методики навчання основам нечіткої логіки студентів університетів, спеціалізація яких простирається у економічній, управлінській галузях.

Мета статті - обґрунтування доцільності навчання майбутніх фахівців економічних спеціальностей, основам нечіткої логіки. Виявлення проблем, що перешкоджають успішному навчанню та висвітлення ефективних і доступних методів їх подолання.

Опис проведеного дослідження. Впродовж 2022 року у Сумському національному аграрному університеті тривав експеримент з удосконалення навчання нечіткій логіці студентів, що навчаються за спеціальностями «Економіка підприємства», та «Менеджмент». Він складався з констатувального та формульовального етапів. На констатувальному етапі були визначені труднощі,



що перешкоджають процесу опанування студентами теорії нечітких множин, обґрунтовано перспективність і значущість «м'яких» розрахунків, актуалізована мотивація до навчання; на формувальному етапі були апробовані розроблені заходи і педагогічні методики, що сприяють покращенню процесу навчання. Загальна кількість учасників склала 60 студентів університету. Експеримент відбувався у процесі вивчення дисципліни «Вибрані питання ІТ» студентами II-го курсу і передбачав перевірку отриманих результатів методами математичної статистики.

У програму курсу «Вибіркові питання ІТ» включена тема «Основи нечіткої логіки». Але через обмежену кількість годин студенти вивчають математичний апарат фрагментарно і поверхнево опановують навички нечіткого моделювання. Теоретичний матеріал супроводжується, лабораторними роботами у програмі MatLab . Досвід викладання зазначеної теми у розрізі курсу, показав, що студенти мають певні труднощі з виконанням лабораторних робіт. Відзначаємо недостатнє розуміння ними сутності теорії нечітких множин і потенціалу прикладного застосування теорії нечіткої логіки, репродуктивність виконання робіт «Розробка системи нечіткого виведення в інтерактивному режимі» і «Вирішення типових завдань», а також значні труднощі із розробкою власного завдання - експертної системи.

Спостереження підтвердили результати опитування студентів наприкінці вивчення зазначеної теми. В опитувальнику ставились такі запитання: «Як ви вважаєте, чи є тема «Основи нечіткої логіки» важливою для майбутніх фахівців?», «Оцініть за 10-бальною шкалою рівень ваших знань після вивчення теми», «Що у навчальному матеріалі викликало найбільші труднощі?», «Чи є у вас бажання продовжувати вивчати теорію нечітких множин?».

Результати аналізу відповідей на запитання опитувальника представлені на діаграмах 1-4.

Результати анкетування свідчать про неусвідомлення студентами важливості теорії нечітких множин у майбутній професійній діяльності. 36% респондентів не розуміють значущості «м'яких розрахунків» і 39% взагалі не вважають їх необхідними для вивчення.

Результати оцінювання респондентами власного рівня знань за 10-бальною шкалою представлений на діаграмі 2.

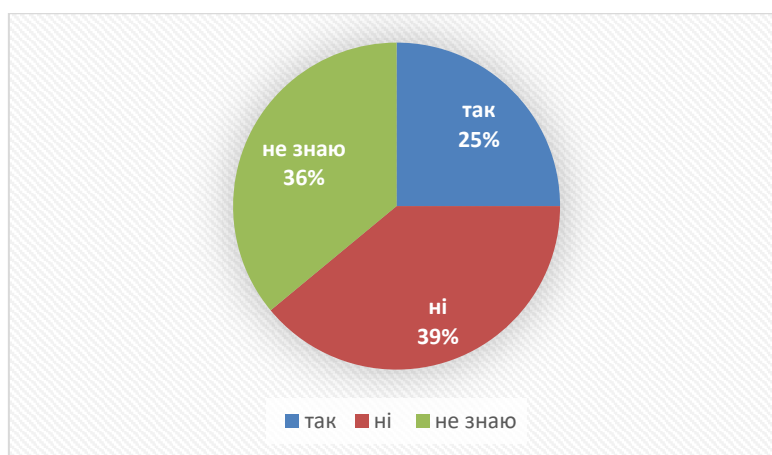


Рисунок 1 - Розподіл відповідей на запитання опитувальника «Як ви вважаєте, чи є тема «Основи нечіткої логіки» важливою для майбутніх фахівців?»

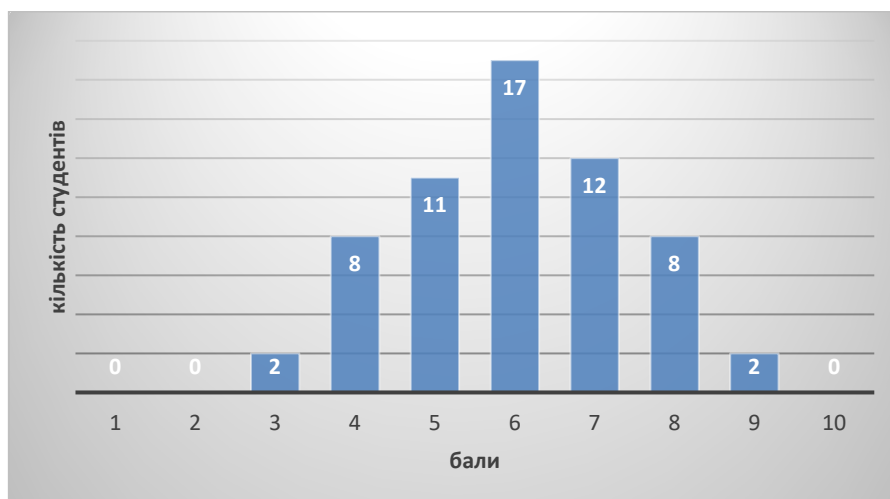


Рисунок 2 - Розподіл відповідей на запитання «Оцініть за 10-бальною шкалою рівень ваших знань після вивчення теми»

Результати самооцінювання демонструють найвищий показник – 6 балів у 17 студентів. 21 студент оцінив свою знання на нижче 6 балів. Можемо стверджувати, що тема є достатньо важкою і незрозумілою для їх розуміння.

Відкрите запитання «Що із зазначеної теми викликало найбільші труднощі?» ставило за мету виявити конкретні чинники, що гальмують процес опанування. Серед відповідей звучали найчастіше: «складний математичний апарат»; «важкі розрахунки»; «не розумію навіщо це все потрібно».

Передбачувано, що на запитання щодо необхідності у подальшому вивчати теорію нечітких множин 83% студентів відповіли «Ні», 7% не визначились.



Проведений аналіз анкетування відповідей респондентів супроводжувався проведенням контрольного зрізу знань за шкалою якості знань: «незадовільна, низька, достатня, висока». Наведемо характеристики рівнів:

«Незадовільна» - відсутність розуміння предметної області, невміння застосовувати математичний апарат.

«Низька» - слабкі уявлення про коло завдань, що вирішуються із застосуванням нечіткої логіки; репродуктивне відтворення поставлених завдань;

«Середня» - розуміння і застосування знань з моделювання, побудови алгоритму вирішення та аналізу задач з «нечіткими» множинами;

«Висока» - глибоке розуміння фундаментальних понять, механізмів і процесів, проєктування, аналіз і синтез отриманих результатів, здатність застосовувати знання і навички у практичних ситуаціях. Діаграма 3 свідчить про переважання результатів (понад 50%) за рівнями якості «Незадовільна» та «Низька».

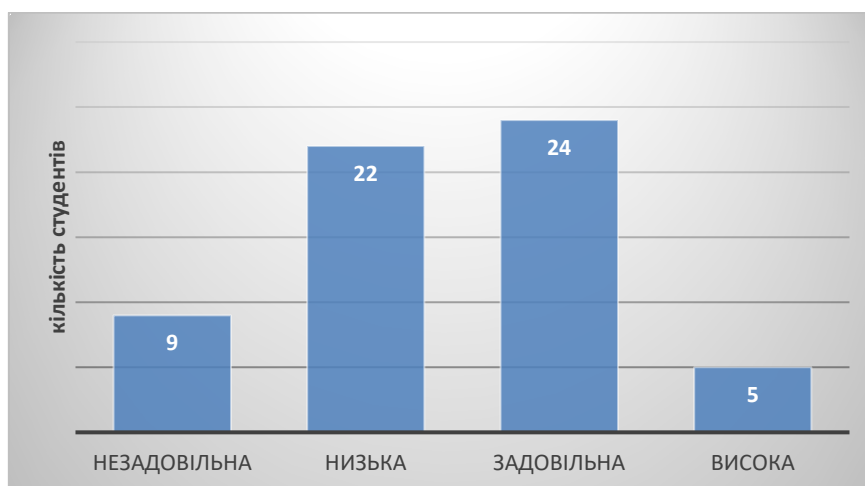


Рисунок 3 - Розподіл якості знань студентів на початку експерименту

Отже, власний досвід, спостереження, вивчення методичної літератури, опитування студентів, зріз знань показали: теорія нечіткої логіки у процесі навчання викликає такі труднощі:

- 1) неусвідомлення потенціалу, значущості нечіткої логіки;
- 2) механічне запам'ятовування, репродуктивно виконання завдань без розуміння їх сутності;
- 3) труднощі з математичними з розрахунками;
- 4) недостатній час для вивчення теми;

Припускаємо, що удосконалення педагогічних методів при вивченні теми



«Основи нечіткої логіки» покращить якість знань студентів.

Другий (формувальний) етап експерименту був спрямований на впровадження удосконалених методів при вивченні нечіткої логіки.

Серед цих методів:

1) *Підвищення мотивації студентів.*

– демонстрація соціальної значущості, потреби, перспектив застосування нечітких множин, універсальності для гуманітарних досліджень у яких оперують лінгвістичними нечіткими змінними);

– розвиваючий контекст навчання (майбутнім професіоналам корисно знати і уміти володіти апаратом для конструювання людського процесу мислення);

– цифрова компетентність (уміння ефективно користуватись інформаційними технологіями і програмним забезпеченням).

На етапі мотивації студентам важливо було довести перспективність використання основ нечіткої логіки. Акцентувалась увага на тому, що нечітке адаптивне планування і системи управління у режимі реального часу стають все більш поширеними у маркетингу, менеджменті при інтелектуальному аналізі даних.

2) *Візуалізація навчального матеріалу.*

Основні ідеї нечіткої логіки висвітлювались через аналогію з класичною логікою, ідеями штучного інтелекту, через моделі представлення знань, алгоритми роботи експертних систем. Достатньо складна теорія була збагачена великою кількістю прикладів застосування «м'яких розрахунків».

Труднощі з розумінням термінології - понять нечітких множин, лінгвістичної змінної, функції належності, терму корисності вирішувались через аналогію з класичною теорією множин. Основна ідея теорії - сутність нечіткої логіки полягає в інтуїтивному розумінні спільності властивостей елементів множини але в більшій чи меншій мірі, і саме це зумовлює їх належність до множини з різними степенями належності.

Характеристикою нечіткої множини є функція належності, яка позначається як $MF_c(x)$. Нечіткою множиною C називають множину пар виду $C = \{MF_c(x)/x\}$, $MF_c(x) [0,1]$. $MF_c(x)=0$ визначає відсутність належності, $MF_c(x)=1$ визначає повну належність множині.

Наприклад, формалізація нечіткого визначення «Температура чаю» має



такий вигляд.

$$C = \left\{ \frac{0}{0}; \frac{0}{10}; \frac{0}{20}; \frac{0,1}{30}; \frac{0,2}{40}; \frac{0,5}{50}; \frac{0,7}{60}; \frac{0,9}{70}; \frac{1}{80}; \frac{1}{90}; \frac{1}{100} \right\},$$

де

x – шкала температури у градусах Цельсія (область міркувань).

Множина характеризує міркування людей про ступінь нагріву чаю за температурою. Для всіх людей чай при температурі 100°C вважається гарячим, а температура 70°C для чаю для одних вважається гарячою, для інших теплою. Саме так демонструється нечіткість певної множини.

На нечіткі множини, як і на множини класичної логіки, поширюються основні логічні операції: перетин, об'єднання, різниця, симетрична різниця, доповнення, алгебраїчне доповнення, множення на число. Відмінність полягає лише у впровадженні для перетину множин операторів мінімуму і для об'єднання двох нечітких множин - оператора максимуму [13].

У формулах (1) множина A задана функцією $MF_A(x)$, множина B - $MF_B(x)$, множина C - функцією $MF_C(x)$. Множина C є результатом операцій перетину, об'єднання, інвертування (1).

$$C = A \cap B: MF_C(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x));$$

$$C = A \cup B: MF_C(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x));$$

$$C = A: MF_C(x) = 1 - MF_A(x) \quad (1)$$

У прикладі формалізації нечіткого визначення «Температура чаю» поняття «Гарячий чай» є назвою лінгвістичної змінної. Базова терм-множина складається з трьох нечітких змінних «Холодний», «Теплий», «Гарячий», а областю міркувань є проміжок $[0,100]$.

Механізм логічного виведення складається з таких етапів: введення нечіткості (фазифікація), нечітке виведення, формування бази правил для нечіткого логічного виведення та дефазифікація (приведення до чіткості).

3. Прикладне застосування теорії нечітких множин.

Розв'язується наступне завдання: на основі бінарних нечітких множин побудувати модель, що консультує менеджера по кадрах у розподілі посад на підприємстві.

Нехай, нечітка множина X – множина посад. $X = \{\text{«маркетолог»}, \text{«програміст»}, \text{«економіст»}, \text{«фінансист»}, \text{«супервайзер»}\}$.



Нечітка множина Y – множина професійних характеристик працівника. $Y = \{ \text{«гнучкість мислення»}, \text{«швидкість прийняття рішень»}, \text{«концентрація»}, \text{«пам'ять»}, \text{«швидкість реакції»}, \text{«комунікабельність»}, \text{«креативність»}, \text{«цілеспрямованість»}, \text{«стресостійкість»}, \text{«відповідальність»} \}$.

Нечітка множина Z – множина працівників підприємства. $Z = \{ \text{«Олексієнко»}, \text{«Іваненко»}, \text{«Петренко»}, \text{«Тищенко»}, \text{«Котенко»} \}$

Значення функцій належності для створених множин представлені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1. - Нечітка множина вибору на посаду

Професія	Множина професійних характеристик Y									
	Гнучкість мислення	Швидкість прийняття рішень	Концентрація	Пам'ять	Швидкість редакції	Комунікабельність	Креативність	Цілеспрямованість	Стресостійкість	Відповідальність
Маркетолог	0,9	0,9	0,8	0,4	0,5	0,3	0,6	0,2	0,9	0,8
Програміст	0,8	0,5	0,9	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5
Економіст	0,3	0,9	0,6	0,5	0,9	0,8	0,9	0,8	0,6	0,3
Фінансист	0,5	0,4	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	0,8

Експертні оцінки визначають степені належності до зазначених характеристик працівників.

Таблиця 2. - Нечітка множина кандидатів

Професійні характеристики	Прізвища працівників				
	Олексієнко	Іваненко	Петренко	Тищенко	Котенко
Гнучкість мислення	0,9	0,8	0,7	0,9	1
Швидкість прийняття рішень	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6
Концентрація	0,5	0,2	0,3	0,8	0,7
Швидкість редакції	1	0,6	0,5	0,7	0,4
Комунікабельність	0,4	0,5	1	0,7	0,8
Креативність	0,5	0,8	0,9	0,5	0,4
Цілеспрямованість	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5
Стресостійкість	0,8	1	0,2	0,5	0,6
Відповідальність	0,3	0,5	0,9	0,6	0,8



Розглянуті множини задовольняють формальним вимогам, необхідним для виконання нечіткої композиції за формулою 2 [2].

$$\mu_{Q-R}(< x_i, x_j >) = \max \{ \min \{ \mu_Q(< x_i, x_j >), \mu_Q(< x_j, x_k >) \} \} \quad (2)$$

Результат операції нечіткої композиції представлений в табличній формі (таблиця 3).

Таблиця 3. - Нечітка композиція двох множин

Професія	Прізвища працівників				
	Олексієнко	Іваненко	Петренко	Тищенко	Котенко
Маркетолог	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9
Програміст	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8
Економіст	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8
Фінансист	0,8	0,9	0,8	0,6	0,8
Маркетолог	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7

Значення функції належності отримано за формулами 1. Спочатку знаходимо мінімальні значення всіх пар елементів першого рядка таблиці 3 і першого стовбця таблиці 4. $\min \{0,9, 0,9\}=0,9$, $\min \{0,9, 0,8\}=0,8$ і так далі. Після знаходження всіх 10 мінімальних елементів функції належності серед них знаходимо максимальний елемент, який і є шуканим значенням $\mu_{Q-R}(< x_i, x_j >)=\max \{0,9, 0,8, 0,5, 0,4, 0,5, 0,3, 0,5, 0,2, 0,8, 0,3\}=0,9$. Аналогічно знаходиться решта значень функції.

З таблиці 3 можна зробити висновок: що найкращою посадою для Олексієнко рекомендовані посади «маркетолог», «економіст»; для Іваненко – «маркетолог», «фінансист»; для Петренко – «економіст»; для Тищенко – «програміст», для Котенко – «маркетолог».

Виконувати зазначене завдання (побудова моделі, створення функцій належності, розробка таблиць, заповнення даними) доцільно спочатку «на папері», а потім в електронній таблиці MS Excel. Завдяки такій послідовності покращується розуміння основ і сутності методів операцій з нечіткими множинами, формуються навички застосування правил логічного висновку, відстежуються помилки. Після опрацювання створеної моделі «вручну» аналогічні завдання виконувались у програмному середовищі Fuzzy в середовищі MatLAB. Навички роботи у програмі та розуміння сутності нечіткого моделювання дозволяли вже самостійно моделювати завдання на кшталт «оцінка професійних компетенцій», «вибір керівника», «якість рекламної компанії».



Самостійне виконання завдання відбувалось за алгоритмом: постановка завдання, формалізація нечітких даних, встановлення правил виведення, робота в електронних таблицях, використання Fuzzy в середовищі MatLAB, візуалізація результатів.

Повторний зріз знань за рівневою шкалою показав наступні результати (табл.2)

Таблиця 4. - Динаміка успішності навчання на початку і наприкінці експерименту

Рівні якості	На початку експерименту		На початку експерименту		Динаміка показників	
	Кількість	%	Кількість	%	Відхилення (осіб)	%
незадовільна	9	15,00	1	1,67	-8	-13,33
низька	22	36,67	7	11,67	-15	-25,00
задовільна	24	40,00	30	50,00	6	10,00
висока	5	8,33	22	36,67	17	28,33
Разом	60	100,00	60	100,00	x	x

У результаті виконання завдань за удосконаленою методикою студенти продемонстрували значне покращення якості знань з нечіткої логіки (30% студентів були оцінені за рівнем «задовільна якість» (проти 24%) і 22% за рівнем «висока» (проти 5%)). Крім цього, 69% розробили власні проекти і реалізували їх. 84% студентів виявили готовність використовувати розглянутий матеріал для вирішення прикладних завдань.

Порівняння динаміки результатів навчання на початку і в кінці експерименту представлені на діаграмі 4.



Рисунок 4 - Порівняння рівнів навчальних досягнень учнів на початку і наприкінці експерименту



Після проведеного експерименту також було проведене повторне анкетування, результати обробки запитань та відповідей свідчать: зростання відсотку задоволених від навчання основам нечіткої логіки (до 78%), збільшення кількості тих студентів, що висловили бажання поглиблювати отримані знання і продовжувати вивчати «м'які розрахунки». Повторне опитування показало, що майже 25% студентів подолали «страх» перед використанням математичного апарату готові його застосовувати і надалі..

Запропоновані методи навчання нечітким множинам суттєво покращили якість знань студентів і тому можуть бути використані для подальшого впровадження.

Висновки

Вивчення теоретичних основ і методів нечіткого моделювання, уміння їх застосовувати має величезне прикладне значення для більшості галузей людської діяльності. Значний потенціал застосування апарату нечіткої логіки є вагомим важелем для впровадження даної теми у склад професійної підготовки майбутніх фахівців технічних і гуманітарних спеціальностей, а тому вимагає перегляду причин, що перешкоджають ефективним результатам навчання.

Виявлені такі причини: неусвідомлення значущості і потенціалу для фахівця нечіткої логіки; труднощі у розумінні сутності термінології і операцій з нечіткими множинами; проблеми з математичними розрахунками; недостатній час для вивчення зазначеної теми.

Реалізовані для удосконалення методів навчання як-то: підвищення мотивації, окреслення перспектив нечіткої логіки для фахівців, візуалізація теоретичного матеріалу, збагачення його прикладами, «ручна» розробка і поетапне створення моделі, самостійна дослідницька робота суттєво покращили результати навчання, про що свідчить позитивна динаміка результатів контрольних зрізів і анкетування студентів.

Перспективним вважаємо розширення спектру використання у освітньому процесі педагогічних технологій дистанційного навчання та використання ігрових технологій у вивченні теорії нечітких множин, а також популяризація педагогічних досліджень на основі нечіткої логіки, зокрема, застосування інших програмних засобів – програми Deductor та аналітичної платформи Loginom.