



ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.15790424>

Оптимізація концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання за допомогою інтелектуальних сценаріїв

Деревянчук Олександр Володимирович

кандидат фізико-математичних наук, доцент, докторант кафедри професійної підготовки, документознавства та публічного управління

Навчально-наукового інституту публічного управління та адміністрування

Українського державного університету імені Михайла Драгоманова,

м. Київ, Україна,

доцент кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики

Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича,

м. Чернівці, Україна,

<https://orcid.org/0000-0002-3749-9998>

Прийнято: 19.05.2025 | Опубліковано: 29.05.2025

Анотація. У статті досліджено процес розробки та застосування інтелектуальних сценаріїв для оптимізації концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання. В умовах трансформації освітніх систем і зростаючої ролі цифрових технологій, актуалізується потреба у створенні інтегрованих моделей, здатних враховувати складну й динамічну природу взаємозв'язків між чинниками, що визначають якість освітнього процесу.

Проаналізовано сучасні науково-методичні підходи до впровадження системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, з



особливою увагою до можливостей нечіткого когнітивного педагогічного моделювання як інструмента для формування інтелектуальних сценаріїв, виявлення, структурування та оптимізації ключових концептів концептуальної моделі.

Концептуальна модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання включає перелік релевантних груп концептів: «Вхідні концепти (задані)», «Вхідні концепти (змінні, які можливо корегувати)», «Концепти забезпечення якості освітнього процесу (проміжні)» та «Вихідні концепти», які визначають якість підготовки педагогів професійного навчання.

Завдяки застосуванню програмного середовища *Mental Modeler*, було реалізовано нечітке когнітивне педагогічне моделювання системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання моделі у вигляді нечіткої когнітивної карти, що реалізує та візуалізує причинно-наслідкові зв'язки між ключовими концептами системного аналізу якості.

У межах дослідження проведено аналіз сценаріїв, що відображають динаміку змін у системі під впливом різних параметрів. Представлено етапи роботи з програмою, зокрема введення початкових значень, оцінку типів концептів (*driver, receiver, ordinary*), побудову матриці ваг зв'язків та інтерпретацію результатів моделювання. Оцінювання станів концептів дало змогу виявити найбільш значущі з них та сформулювати обґрунтовані висновки для стратегічного планування та удосконалення системи підготовки педагогів професійного навчання.

Результати дослідження засвідчують доцільність інтеграції нечіткого когнітивного моделювання в освітню аналітику як ефективного інструменту для візуалізації складних причинно-наслідкових зв'язків, розробки інтелектуальних сценаріїв розвитку концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання та підтримки ухвалення стратегічно обґрунтованих управлінських рішень.



Введено ряд критеріїв якості S_V , V_{min} , S_p , P_{min} та S_K для кількісної оцінки результатів нечіткого когнітивного моделювання в середовищі Mental Modeler.

У результаті моделювання отримано оптимальні значення концептів «Вартість навчання», «Вимоги роботодавця» та «Рівень вимог до освітніх досягнень». Показано, що для підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання потрібно максимізувати значення концептів «ІАОД» та «Цифрові технології».

Розроблені інтелектуальні сценарії концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання становлять ефективний інструмент для проведення наукового аналізу, реалізації освітнього моніторингу та адаптації процесу професійної підготовки до викликів цифрової трансформації освітнього середовища.

***Ключові слова:** цифрові технології, системний аналіз, нечіткі когнітивні карти, нечітке когнітивне педагогічне моделювання, педагоги професійного навчання.*

Optimization of the Conceptual Model of Systemic Analysis of the Quality of Vocational Teacher Training Using Intelligent Scenarios

Oleksandr Derevyanchuk

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Doctoral Candidate of the Department of Professional Training, Document Science,
and Public Administration Educational and Scientific Institute of Public
Administration and Management Dragomanov Ukrainian State University,
Kyiv, Ukraine,
Associate Professor of the Department Professional and Technological Education and
General Physics, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Chernivtsi, Ukraine,

<https://orcid.org/0000-0002-3749-9998>



Abstract. *The article explores the process of developing and applying intelligent scenarios to optimize the conceptual model of systemic analysis of the quality of vocational teacher training. Under the conditions of transformation of educational systems and the growing role of digital technologies, the need to create integrated models capable of taking into account the complex and dynamic nature of interrelations between the factors that determine the quality of the educational process becomes relevant.*

Modern scientific and methodological approaches to the implementation of system analysis of the quality of vocational teacher training are analyzed, with particular attention to the possibilities of fuzzy cognitive pedagogical modeling as a tool for forming intelligent scenarios, identifying, structuring, and optimizing key concepts of the conceptual model.

The conceptual model of system analysis of the quality of vocational teacher training includes a list of relevant groups of concepts: «Input concepts (preset)», «Input concepts (variables that can be adjusted)», «Concepts of ensuring the quality of the educational process (intermediate)», and «Output concepts», which determine the quality of vocational teacher training.

Using the Mental Modeler software environment, fuzzy cognitive pedagogical modeling of the system analysis of the quality of vocational teacher training was implemented in the form of a fuzzy cognitive map, which realizes and visualizes the cause-and-effect relationships between key concepts of quality system analysis.

Within the study, an analysis of scenarios reflecting the dynamics of changes in the system under the influence of various parameters was carried out. The stages of working with the software are presented, including the input of initial values, assessment of concept types (driver, receiver, ordinary), construction of the weight matrix of connections, and interpretation of modeling results. The evaluation of concept states made it possible to identify the most significant ones and to formulate justified conclusions for strategic planning and improvement of the vocational teacher training system.



The results of the study confirm the feasibility of integrating fuzzy cognitive modeling into educational analytics as an effective tool for visualizing complex cause-and-effect relationships, developing intelligent scenarios for the development of the conceptual model of system analysis of the quality of vocational teacher training, and supporting the adoption of strategically justified management decisions.

A set of quality criteria – S_V , V_{min} , S_p , P_{min} , and S_K – was introduced for the quantitative evaluation of fuzzy cognitive modeling results in the Mental Modeler environment.

As a result of the modeling, optimal values were obtained for the concepts «Cost of Training», «Employer Requirements», and «Level of Educational Achievement Requirements». It was shown that in order to improve the quality of vocational teacher training, the values of the concepts «Educational Data Mining» and «Digital Technologies» need to be maximized.

The developed intelligent scenarios of the conceptual model of system analysis of the quality of vocational teacher training constitute an effective tool for conducting scientific analysis, implementing educational monitoring, and adapting the process of professional training to the challenges of digital transformation in the educational environment.

Keywords: *digital technologies, systems analysis, fuzzy cognitive maps, fuzzy cognitive pedagogical modeling, vocational teacher training.*

Постановка проблеми. Підготовка педагогів професійного навчання в умовах сучасної освіти характеризується глибокими трансформаціями, зумовленими цифровізацією [1-7], динамічними змінами на ринку праці [8] та зростанням обсягів інформаційних потоків [9]. Застосування цифрових технологій та методів інтелектуального аналізу освітніх даних (ІАОД) [10-18] відкриває нові можливості для оцінювання якості освіти. У зв'язку з цим зростає потреба у впровадженні системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, що дозволяє структурувати освітні дані, оптимізувати



взаємодію між учасниками освітнього процесу та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Сучасному освітньому середовищу притаманні невизначеність, неповнота та взаємозалежність даних, що зумовлює доцільність використання нечітких когнітивних карт (НКК; англ. FCM – *Fuzzy Cognitive Maps*), які запропоновані американським науковцем Бартом Ендрю Коско (1986) [19]. Вони поєднують можливості когнітивного моделювання та нечіткої логіки, дозволяючи створювати адаптивні моделі [20], здатні до сценарного прогнозування та візуалізації складних взаємозв'язків між концептами моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

Таким чином, виникає потреба у розробці інтелектуальних сценаріїв, інтегрованих у концептуальну модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, які забезпечують динамічне моделювання, оцінювання впливу окремих параметрів та формування стратегічно обґрунтованих управлінських рішень.

Результатом роботи є розробка інтелектуальних сценаріїв концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання

Аналіз останніх публікацій. Останніми роками значно зросла увага до застосування нечітких когнітивних карт (FCM) у різних освітніх контекстах. Дослідники Тех Е. Х. (*Teh E. H.*) і Кудус С. А. (*Kudus S. A.*) провели бібліометричний огляд 54 публікацій з 2000 по жовтень 2023 року, продемонструвавши, що FCM відіграють важливу роль у аналітичних, стратегічних і рефлексивних завданнях педагогіки, дозволяючи моделювати складні, когнітивно-багатовимірні освітні системи [21]. Лепоре М. (*Lepore M.*) запропонував цілісну концептуальну модель моделювання когнітивних процесів здобувачів освіти в математичній освіті з використанням нечітких когнітивних карт (FCM) [22]. Методологічні підходи до FCM також висвітлено в роботах [23; 24], які обґрунтували використання Mental Modeler у поєднанні з Delphi-методом для групового експертного моделювання в культурній екології та



соціоекологічних системах.

Можливості використання інформаційно-когнітивних технологій у підготовці фахівців транспортного профілю розглянуто у дослідженні [25]. Показано перспективність застосування сучасних технологій, зокрема, мультимедійних технологій, скрайбінгу, віртуальної та доповненої реальності, проєктних технологій для підвищення якості підготовки здобувачів освіти.

Прикладні дослідження в соціальних, екологічних і гуманітарних галузях свідчать про потенціал FCM у побудові освітніх моделей системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Незважаючи на наявність окремих досліджень з питань застосування нечітких когнітивних карт в освіті, недостатньо опрацьованою залишається проблема формалізації інтелектуальних сценаріїв у межах концептуальних моделей системного аналізу якості, що базуються на НКК. Зокрема, бракує методичних підходів до розробки сценаріїв, які враховують взаємодію вхідних, проміжних і вихідних концептів, визначають оптимальні шляхи досягнення бажаних станів системи та підтримують ухвалення управлінських рішень в умовах невизначеності.

Мета статті полягає в розробці інтелектуальних сценаріїв на основі нечітких когнітивних карт, інтегрованих у концептуальну модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, для забезпечення динамічного моделювання, прогнозування освітніх ситуацій і підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності.

Виклад основного матеріалу. Важливе значення має впровадження апаратно-програмних комплексів, заснованих на нечіткій логіці [17; 26-29], для ефективного аналізу та управління освітніми процесами. Використання таких систем може не тільки збільшити точність аналізу освітніх даних, але й слугувати основою для створення більш дієвих та індивідуалізованих освітніх стратегій. Пропонований підхід має значний потенціал для оптимізації освітнього процесу,



особливо через точніше визначення освітніх потреб майбутніх педагогів професійного навчання та адаптацію навчальних ресурсів, відповідно до цих потреб [30].

Нечітке когнітивне педагогічне моделювання у контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання розглядається як методологічний інструмент, який сприяє визначенню взаємодії та впливу різноманітних освітніх та соціально-економічних факторів на процес формування компетенцій майбутніх педагогів. Цей підхід дозволяє аналізувати слабко структуровані системи освіти, які характеризуються динамікою змін, наявністю численних взаємозалежних факторів і часто недостатньою кількістю інформації про внутрішні процеси.

Складнощі системного аналізу у сфері професійної освіти впливають з мінливості освітніх тенденцій та потреб ринку праці, що вимагає постійного оновлення дидактичних підходів та методів оцінювання якості навчання. Завдяки когнітивному моделюванню можна систематизувати та оптимізувати процеси взаємодії всіх учасників освітнього процесу, що сприяє кращому розумінню та управлінню цими складними системами.

Традиційні математичні методи часто ускладнюють аналіз освітніх систем через їх нелінійний та динамічний характер. Тому нечітке когнітивне педагогічне моделювання являє собою привабливий альтернативний підхід, що забезпечує можливість врахування численних факторів та їх взаємодій при проектуванні і реалізації освітніх стратегій.

Засобами Mental Modeler розроблено нечітку когнітивну карту концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання (рис. 1) [31]. Структура НКК подається у вигляді орієнтованого графа, у якому вершини (концепти) презентують ключові фактори моделі, а дуги відображають причинно-наслідкові зв'язки між ними [19; 23]. Кожен концепт описується однією змінною, а зв'язки між концептами характеризують напрям і ступінь їхньої взаємодії.

Модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання включає наступні концепти:

1. Вхідні концепти (задані) – «Освітні досягнення», «Стилі навчання здобувачів», «Вимоги роботодавців».

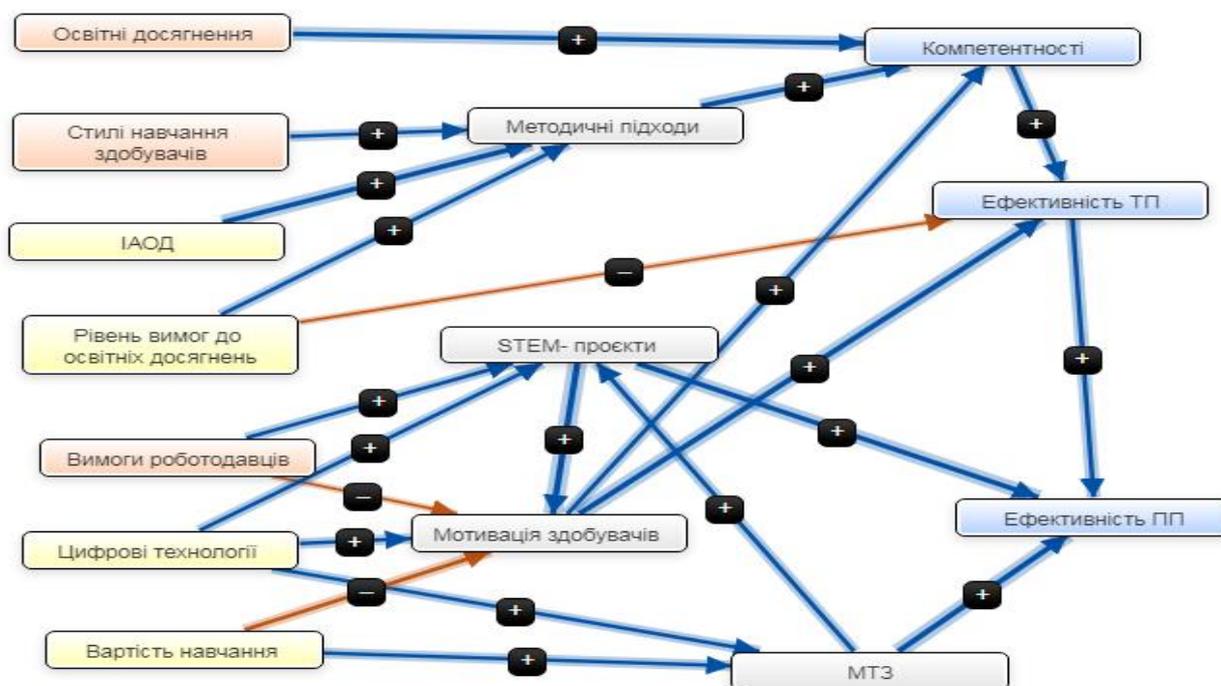
2. Вхідні концепти (змінні, які можливо корегувати) – «Цифрові технології», «Інтелектуальний аналіз освітніх даних», «Рівень вимог до освітніх досягнень», «Вартість навчання».

3. Концепти забезпечення якості освітнього процесу (проміжні) – «Матеріально-технічне забезпечення», «Методичні підходи», «Мотивація здобувачів», «STEM-проекти».

4. Вихідні концепти – «Компетентності», «Ефективність практичної підготовки» та «Ефективність теоретичної підготовки».

Рисунок 1

НКК концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання у вигляді графа



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Початкові значення концептів у процесі нечіткого когнітивного моделювання задаються вручну у вкладці «Matrix» інтерфейсу Mental Modeler – програмного засобу для побудови НКК у соціально-освітніх системах [23]. Тут встановлюються взаємовпливи між концептами та їхні початкові значення відповідно до заданого сценарію (рис. 2).

Результати моделювання відображаються чисельно (від -1 до +1) та графічно, що дозволяє виявити ключові концепти, провести структурний аналіз і підтримати прийняття стратегічних рішень щодо вдосконалення системного аналізу якості підготовки педагогів. Це дозволяє в реальному часі візуалізувати та аналізувати динамічні взаємодії між концептами, що сприяє оптимізації функціонування концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

Рисунок 2

Ваги зв'язків НКК концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання

	Освітні досягнення	Стилі навчання здобувачів	Вимоги роботодавців	ІАОД	Цифрові технології	Рівень вимог до освітніх досягнень	Мотивація здобувачів	Методичні підходи	МТЗ	STEM-проекти	Ефективність ТП	Компетентності	Ефективність ПП	Вартість навчання
Освітні досягнення												0.9		
Стилі навчання здобувачів								0.6						
Вимоги роботодавців							-0.3			0.75				
ІАОД								0.9						
Цифрові технології							0.8		0.6	0.75				
Рівень вимог до освітніх досягнень								0.7			-0.2			
Мотивація здобувачів											0.85	0.8		
Методичні підходи												0.85		
МТЗ										0.7			0.95	
STEM-проекти							0.85						0.85	
Ефективність ТП													0.8	
Компетентності											0.8			
Ефективність ПП														
Вартість навчання							-0.5		0.8					

Джерело: розробка автора на основі використання [31]



Значення концептів моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання відображаються у вкладці «Preferred State & Metrics» інтерфейсу Mental Modeler. У цій вкладці подано інформацію про вхідний (*indegree*), вихідний (*outdegree*) та сумарний вплив (*centrality*) кожного концепту в межах побудованої моделі. Крім того, для кожного концепту визначено його тип відповідно до функціональної ролі в моделі – керівний (*driver*), реагуючий (*receiver*) або нейтральний (*ordinary*), а також задано бажані (цільові) значення у стовпці «Preferred State». Отримані показники дозволяють здійснити кількісну оцінку взаємозв'язків у моделі, проаналізувати рівень її складності (*complexity score*), щільність мережі (*density*), а також кількість компонентів з провідною, прийнятною чи нейтральною функцією. Ці дані є основою для подальшого сценарного моделювання та оптимізації системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

Наступним етапом у процесі розробки є глибокий аналіз складності моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, що здійснюється відповідно до визначених критеріїв у програмному середовищі Mental Modeler. Такий аналіз охоплює оцінювання як структурних, так і функціональних характеристик системи із застосуванням показників ефективності, масштабованості, рівня взаємодії між компонентами, а також здатності моделі до адаптації в умовах зміни зовнішніх впливів та вимог. Комплексний підхід дає змогу виокремити ключові вузли для подальшої оптимізації, підвищення функціональної продуктивності системи, забезпечення її стійкості та довготривалої ефективності функціонування (рис. 3) [23].

Початкові значення концептів встановлено в ручному режимі у вкладці «Preferred State & Metrics» інтерфейсу Mental Modeler. У вікні відображення результатів моделювання за обраним сценарієм виводяться значення рівня оцінки концептів, обраних для моделювання їх стану (графічно і в чисельному вигляді [-1, +1]). Аналіз результатів моделювання дозволяє виявити найбільш впливові концепти для системи, що проектується.

Сценарій моделювання включає ітераційний процес, у рамках якого відбувається обчислення нових значень концептів. Процес обчислень триває до того моменту, коли значення концептів стабілізуються та перестають змінюватися, досягаючи заздалегідь встановленої точності. Цей механізм забезпечує точність та надійність результатів моделювання, що є ключовим для досягнення об'єктивності в аналізі системних концептів.

Рисунок 3

Ваги зв'язків НКК концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання

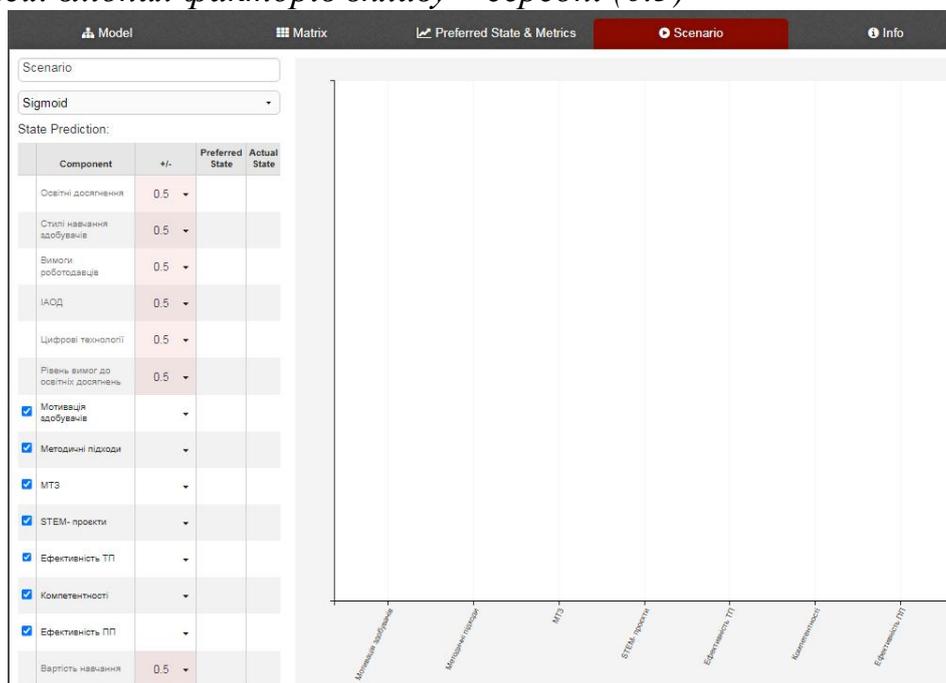
Model	Matrix	Preferred State & Metrics	Scenario	Info		
Total Components 14	Component	Indegree	Outdegree	Centrality	Preferred State	Type
	Освітні досягнення	0	0.9	0.9		driver
Total Connections 21	Стилі навчання здобувачів	0	0.6	0.6		driver
	Вимоги роботодавців	0	1.05	1.05		driver
Density 0.1153846154	ІАОД	0	0.9	0.9		driver
	Цифрові технології	0	2.1500000000000004	2.1500000000000004		driver
Connections per Component 1.5	Рівень вимог до освітніх досягнень	0	0.8999999999999999	0.8999999999999999		driver
	Мотивація здобувачів	2.45	1.65	4.1		ordinary
Number of Driver Components 7	Методичні підходи	2.2	0.85	3.0500000000000003		ordinary
	МТЗ	1.4	1.65	3.05		ordinary
Number of Receiver Components 1	STEM- проекти	2.2	1.7	3.9000000000000004		ordinary
	Ефективність ТП	1.85	0.8	2.8500000000000004		ordinary
Number of Ordinary Components 6	Компетентності	2.5500000000000003	0.8	3.3500000000000005		ordinary
	Ефективність ПП	2.5999999999999998	0	2.5999999999999998		receiver
Complexity Score 0.1428571429	Вартість навчання	0	1.3	1.3		driver

Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Виконано моделювання впливу вхідних факторів (концепти «Освітні досягнення», «Стилі навчання здобувачів», «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)», «Цифрові технології», «Вартість навчання», «Рівень вимог до освітніх досягнень», «Вимоги роботодавців») на якість роботи системи (концепти «Компетентності», «Ефективність ТП (теоретичної підготовки)», «Ефективність ПП (практичної підготовки)»). Спочатку значення всіх факторів впливу встановлені як середні (0.5), тому прогнозовані параметри якості рівні 0 (рис. 4).

Рисунок 4

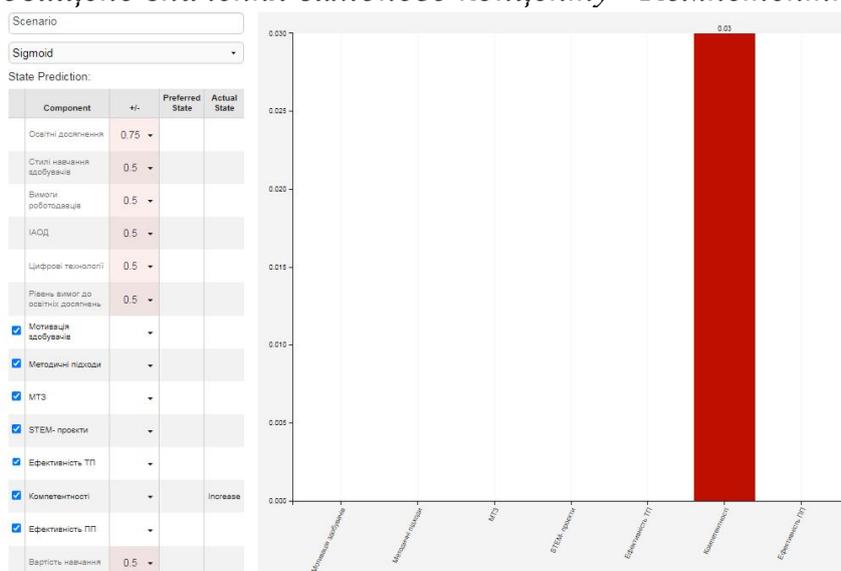
Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи системи; значення всіх вхідних факторів впливу – середні (0.5)



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Рисунок 5

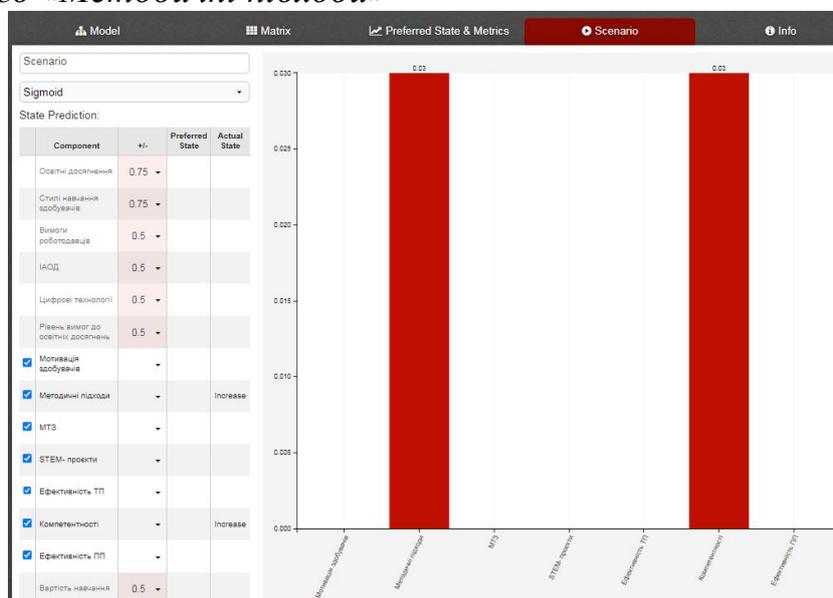
Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи системи; збільшено значення концепту «Освітні досягнення» до вище середнього (0.75), у результаті підвищено значення вихідного концепту «Компетентності»



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Рисунок 6

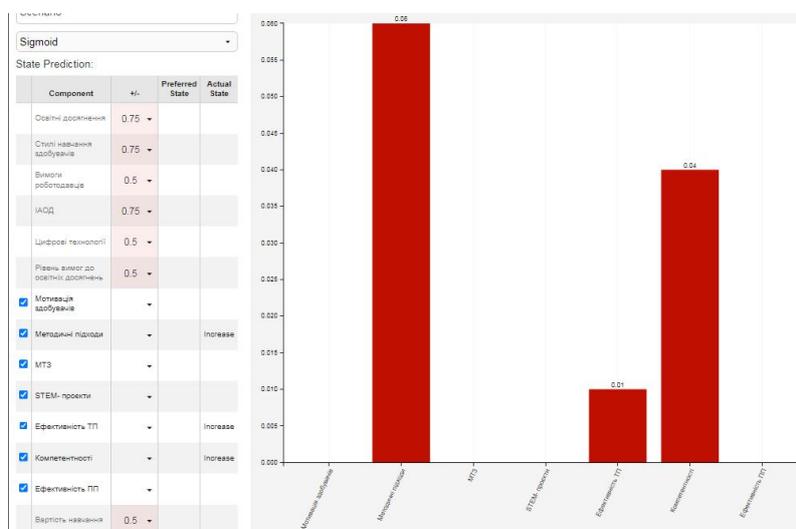
Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи системи; збільшено значення концепту «Стилі навчання здобувачів» до вище середнього (0.75), у результаті підвищено значення вихідного концепту «Компетентності» та проміжного «Методичні підходи»



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Рисунок 7

Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи системи; збільшено значення концепту «ІАОД» до вище середнього (0.75), у результаті підвищено значення вихідних концептів «Компетентності», «Ефективність ТП» та проміжного «Методичні підходи»



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Рисунок 8

Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи моделі; збільшено значення концепту «Цифрові технології» до вище середнього (0.75), у результаті підвищено значення всіх вихідних концептів (концепти «Компетентності», «Ефективність ТП», «Ефективність ПП» – приймають значення 0.04, 0.01, 0.01); проміжні концепти «Мотивація здобувачів», «Методичні підходи», «МТЗ», «STEM-проекти» – приймають значення 0.05, 0.06, 0.03 та 0.03 відповідно



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

При подальшому моделюванні, послідовно збільшувалося значення одного з факторів впливу, при цьому спостерігалось збільшення якості роботи системи (концепти «Компетентності», «Ефективність ТП (теоретичної підготовки)», «Ефективність ПП (практичної підготовки)») (рис. 5 – 8).

Отриманий результат (рис. 8) демонструє позитивний вплив «ІАОД» та «Цифрових технологій» на якість освітнього процесу.

Досліджено вплив концепту «Вартість навчання» на якість роботи моделі (рис. 9 – 10). Значення концепту «Вартість навчання» змінювалося від мінімального (-1) до максимального (1).



Вплив концепту «Вартість навчання» на проміжні та вихідні концепти показано в таблиці 1, а вплив даного концепту на критерії якості моделі показано в таблиці 2. Використано критерії якості моделі S_V , V_{min} , S_P , P_{min} , S_K , які визначають якість підготовки педагогів професійного навчання.

Критерій S_V обчислюється як сума значень вихідних концептів

$$S_V = V_1 + V_2 + V_3, \quad (1)$$

де V_1 , V_2 , V_3 – значення концептів «Компетентності», «Ефективність ТП», «Ефективність ПП» відповідно.

Критерій V_{min} обчислюється як мінімальне значення вихідних концептів

$$V_{min} = \min(V_1 + V_2 + V_3). \quad (2)$$

Критерій S_P обчислюється як сума значень проміжних концептів

$$S_P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (3)$$

де P_1 , P_2 , P_3 , P_4 – значення концептів «Мотивація здобувачів», «Методичні підходи», «МТЗ», «STEM-проекти» відповідно.

Критерій P_{min} обчислюється мінімальне значення проміжних концептів

$$P_{min} = \min(P_1 + P_2 + P_3 + P_4). \quad (4)$$

Результуючий критерій якості S_K обчислюється за емпіричною формулою

$$S_K = \begin{cases} S_V + V_{min} + \frac{S_P}{Q_P} + \frac{P_{min}}{Q_P}, & \text{якщо } P_{min} > 0 \\ S_V + V_{min}, & \text{якщо } P_{min} \leq 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$Q_P = 4$ – кількість проміжних концептів.

У формулі (5) значення критеріїв S_P та P_{min} діляться на кількість проміжних концептів Q_P , оскільки проміжні концепти у меншій мірі визначають якість функціонування моделі, порівняно з вихідними концептами.

За умови $P_{min} \leq 0$ критерій якості S_K обчислюється без урахування значень проміжних концептів (критерії S_P та P_{min}), оскільки в такому випадку значення проміжних концептів не забезпечують якісне функціонування моделі.

Таблиця 1.
Вплив концепту «Вартість навчання» на проміжні та вихідні концепти

№ п/п	Концепт «Вартість навчання»	Проміжні концепти				Вихідні концепти			Рисунок
		Мотивація здобувачів	Методичні підходи	МТЗ	STEM-проекти	Компетентності	Ефективність ТП	Ефективність ПП	
	I_1	P_1	P_2	P_3	P_4	V_1	V_2	V_3	
1	-1	0.17	0.06	-0.25	0	0.05	0.03	-0.03	рис.9, а
2	-0.5	0.14	0.06	-0.16	0.01	0.03	0.05	-0.01	рис.9, б
3	-0.25	0.12	0.06	-0.11	0.02	0.02	0.05	-0.01	рис.9, в
4	0.25	0.07	0.06	-0.01	0.03	0.02	0.04	0	рис.9, г
5	0.5	0.05	0.06	0.03	0.03	0.04	0.01	0.01	рис.8
6	0.75	0.02	0.06	0.07	0.04	0.01	0.04	0.01	рис.9, д
7	1	0	0.06	0.11	0.04	0	0.03	0.02	рис.9, е

Таблиця 2.
Вплив концепту «Вартість навчання» на критерії якості моделі

№ п/п	Концепт «Вартість навчання»	S_V	V_{min}	S_P	P_{min}	S_K
1	-1	0.05	-0.03	-0.02	-0.25	-0.235
2	-0.5	0.07	-0.01	0.05	-0.16	0.0325
3	-0.25	0.06	-0.01	0.09	-0.11	0.045
4	0.25	0.06	0	0.15	-0.01	0.095
5	0.5	0.06	0.01	0.17	0.03	0.12
6	0.75	0.06	0.01	0.19	0.02	0.1225
7	1	0.05	0	0.21	0	0.05

Критерій якості моделі описує в якій мірі вихідні концепти моделі забезпечують якість освітнього процесу.

Для значень концепту I_1 «Вартість навчання», рівних мінімальному ($I_1 = -1$), дуже низькому ($I_1 = -0.5$), низькому ($I_1 = -0.25$) та нижче середнього ($I_1 = 0.25$) отримано низькі значення вихідного концепту «Ефективність ПП» (рис. 9, а – г). Існує тенденція до підвищення значень вихідного концепту «Ефективність ПП» при збільшенні значень концепту «Вартість навчання».

При збільшенні значення концепту «Вартість навчання» до вище середнього (0.75) збільшено значення вихідного концепту «Ефективність ПП» (рис. 9, д). Проте, при збільшенні значення концепту «Вартість навчання» до максимального (1) значення вихідного концепту «Ефективність ПП» зменшено (рис. 9, е).

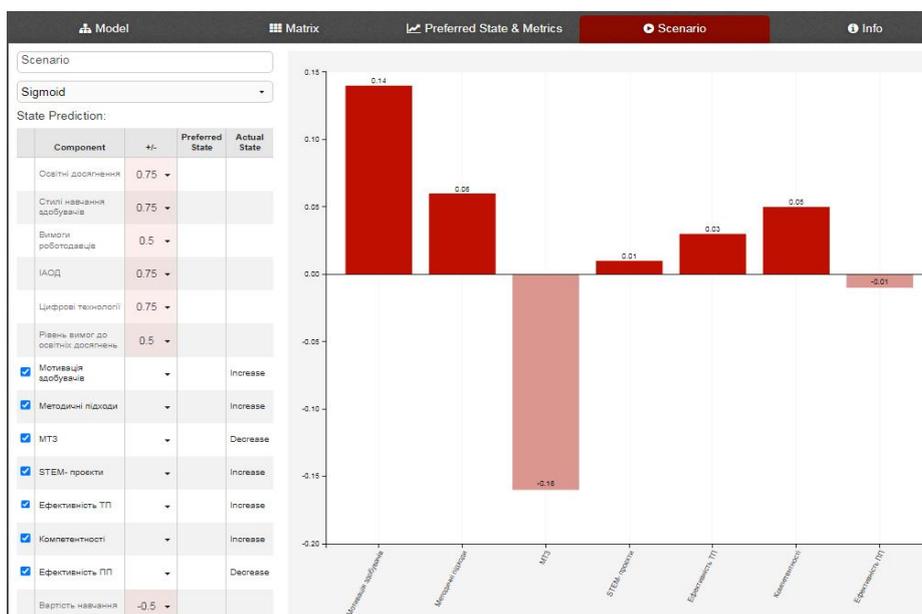
Рисунок 9

Моделювання впливу концепту «Вартість навчання» на якість роботи моделі

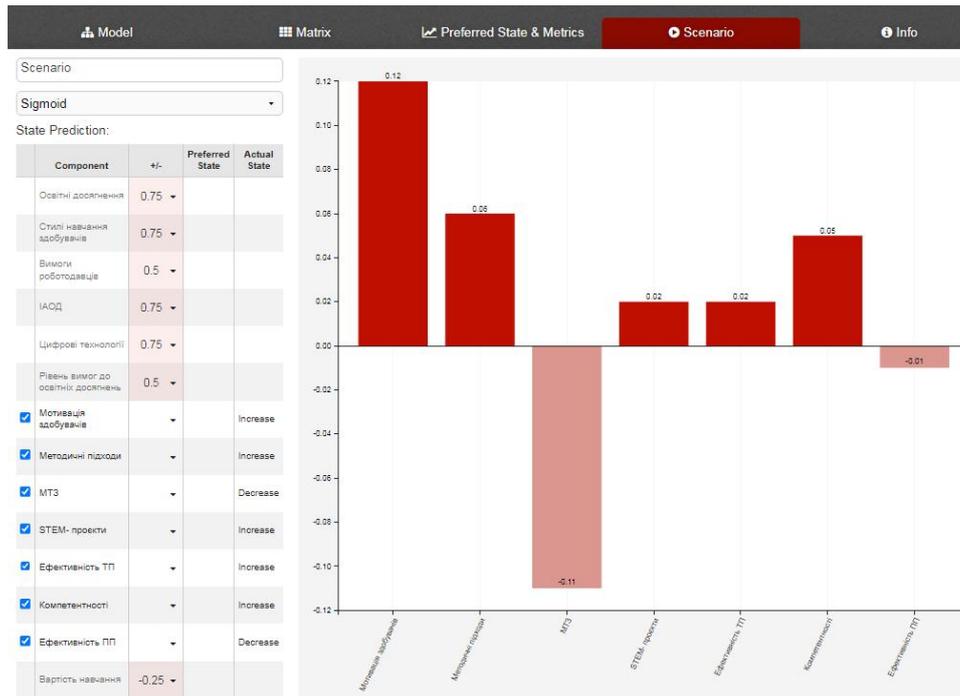
а) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = -1$



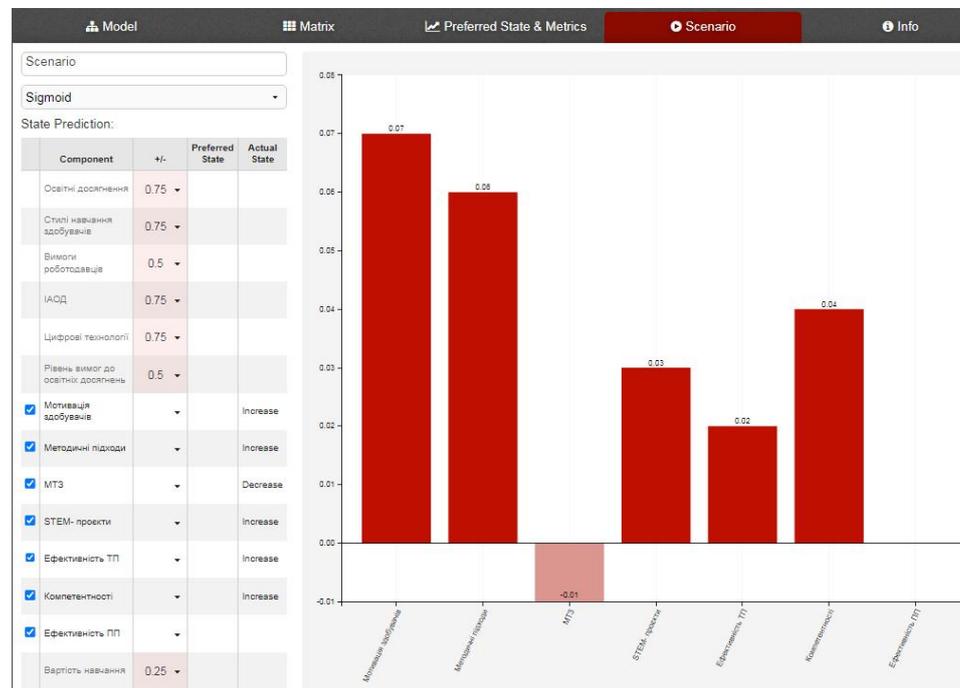
б) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = -0.5$



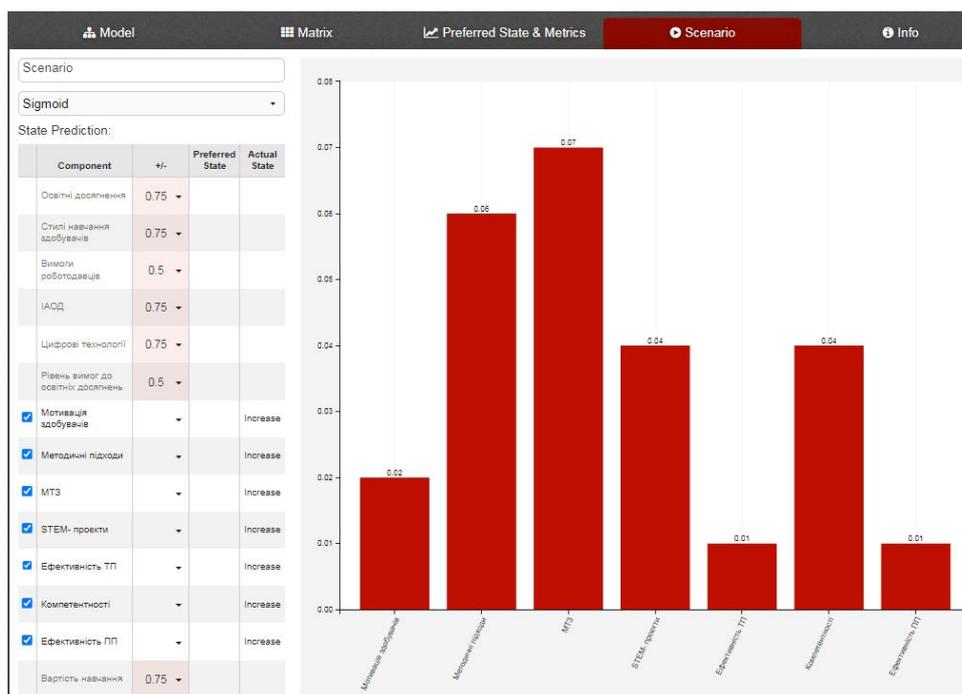
в) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = -0.25$



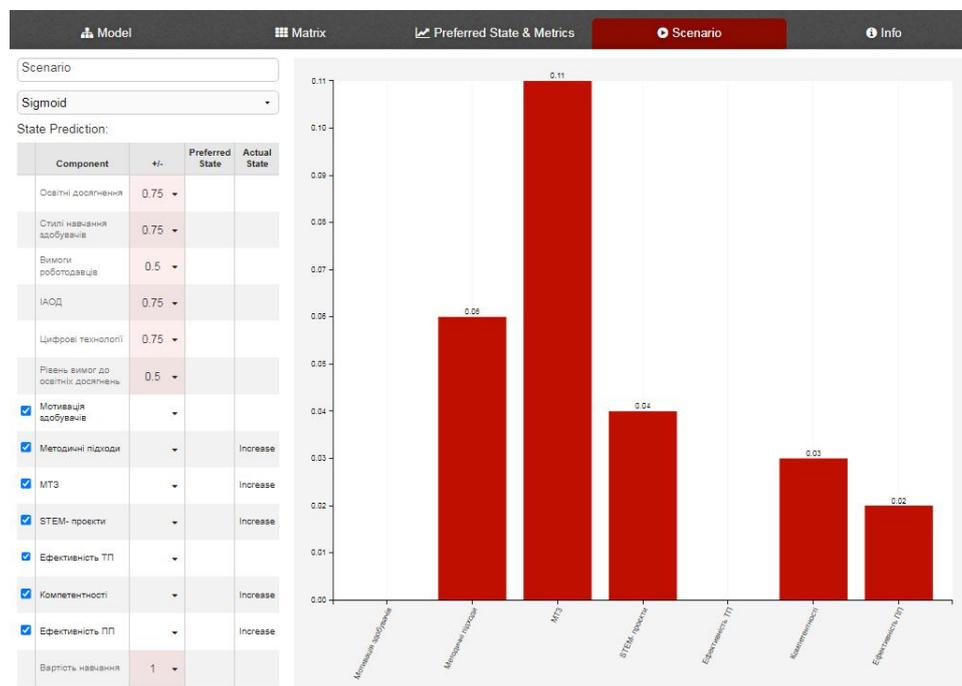
г) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = 0.25$



д) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = 0.75$



е) значення концепту «Вартість навчання» $I_1 = 1.0$



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

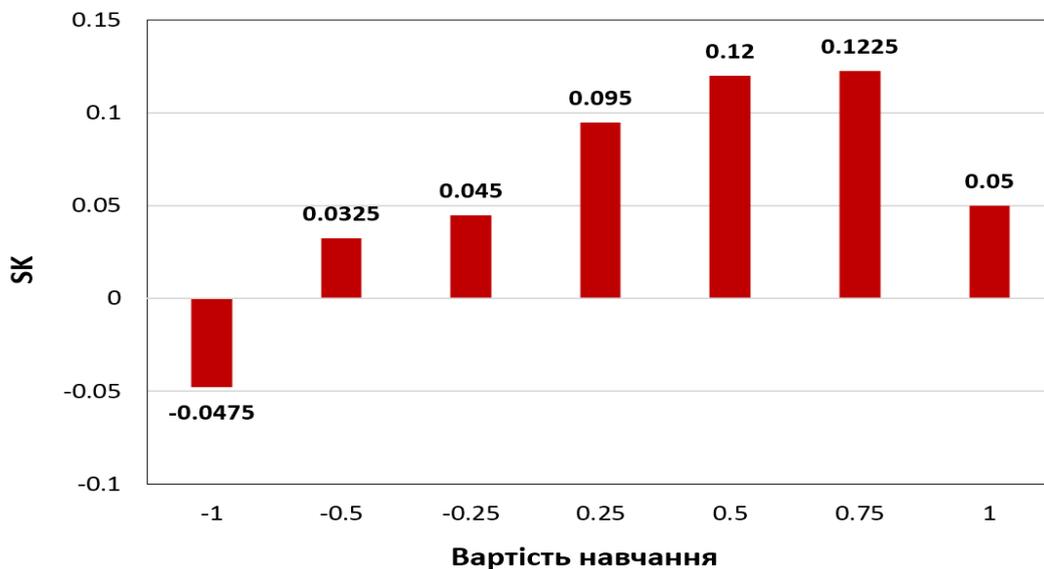
Зменшення концепту «Ефективність ТП» (рис. 9, е) пояснюється зменшенням концепту «Мотивація студентів» через підвищення вартості навчання.

Результати моделювання впливу вхідного концепту «Вартість навчання» на якість роботи системи (таблиця 2, рис. 10) показують, що за максимумом результуючого критерію якості S_K (5) отримано найкраще значення концепту «Вартість навчання» 0.75 (рис. 9, д).

При нижчому значенні концепту «Вартість навчання» погіршується Матеріально-технічне забезпечення (рис. 9, а – г), а при вищому значенні концепту «Вартість навчання» значно зменшується «Мотивація здобувачів» (рис. 9, е).

Рисунок 10

Результати моделювання впливу вхідного концепту «Вартість навчання» на результуючий критерій якості S_K (5)



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Досліджено вплив концепту «Вимоги роботодавця» на якість роботи моделі (рис. 11 – 12). Значення концепту «Вимоги роботодавця» змінювалося від мінімального (-1) до максимального (1).

Вплив концепту «Вимоги роботодавця» на проміжні та вихідні концепти показано в таблиці 3, а вплив даного концепту на критерії якості моделі показано в таблиці 4.

Таблиця 3.

Вплив концепту «Вимоги роботодавця» на проміжні та вихідні концепти

№ п/п	Концепт «Вимоги роботодавця»	Проміжні концепти				Вихідні концепти			Рисунок
		Мотивація здобувачів	Методичні підходи	МТЗ	STEM-проекти	Компетентності	Ефективність ТП	Ефективність ПП	
	I_2	P_1	P_2	P_3	P_4	V_1	V_2	V_3	
1	-1	0.08	0.06	0.07	-0.19	0.02	0.04	-0.01	рис.11, а
2	-0.5	0.06	0.06	0.07	-0.1	0.02	0.04	0	рис.11, б
3	-0.25	0.05	0.06	0.07	-0.06	0.01	0.04	0	рис.11, в
4	0.25	0.03	0.06	0.07	0.01	0.01	0.04	0.01	рис.11, г
5	0.5	0.02	0.06	0.07	0.04	0.01	0.04	0.01	рис.9, д
6	0.75	0.01	0.06	0.07	0.07	0.01	0.04	0.01	рис.11, д
7	1	0	0.06	0.07	0.09	0.01	0.04	0.02	рис.11, е

Таблиця 4.

Вплив концепту «Вимоги роботодавця» на критерії якості моделі

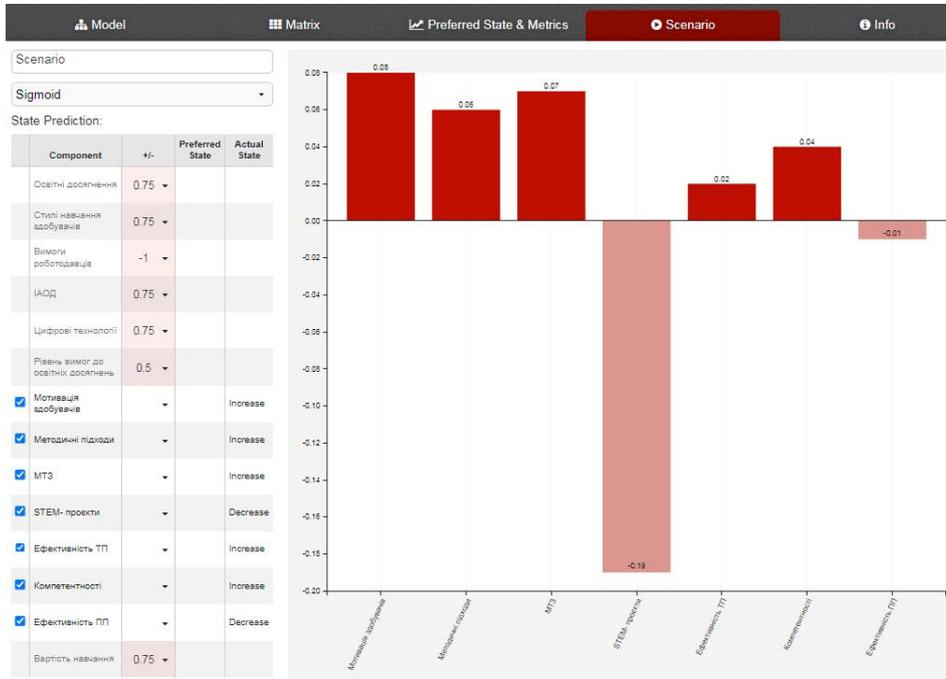
№ п/п	Концепт «Вимоги роботодавця»	S_V	V_{min}	S_P	P_{min}	S_K
1	-1	0.05	-0.01	0.02	-0.19	-0.0025
2	-0.5	0.06	0	0.09	-0.1	0.0575
3	-0.25	0.05	0	0.12	-0.06	0.065
4	0.25	0.06	0.01	0.17	0.01	0.115
5	0.5	0.06	0.01	0.19	0.02	0.1225
6	0.75	0.06	0.01	0.21	0.01	0.125
7	1	0.07	0.01	0.22	0	0.08

Для значень концепту I_2 «Вимоги роботодавця», рівних мінімальному ($I_2 = -1$), дуже низькому ($I_2 = -0.5$) та низькому ($I_2 = -0.25$) отримано низькі значення вихідного концепту «Ефективність ПП» (рис. 11, а – в). Існує тенденція до підвищення значень вихідного концепту «Ефективність ПП» при збільшенні значень концепту «Вимоги роботодавця».

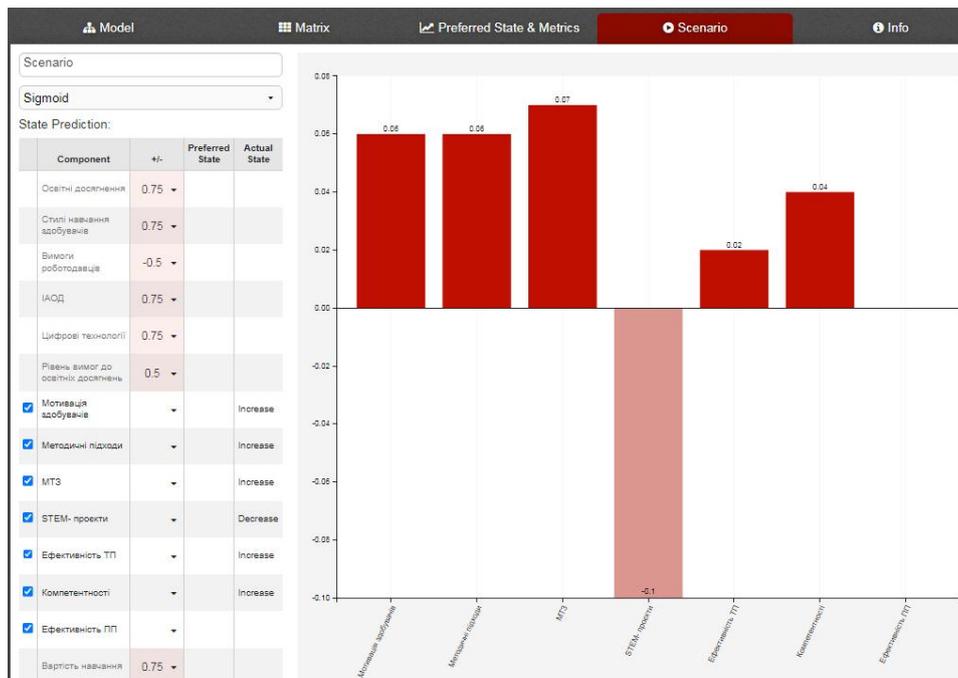
Рисунок 11

Моделювання впливу концепту «Вимоги роботодавця» на якість роботи моделі

а) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = -1$

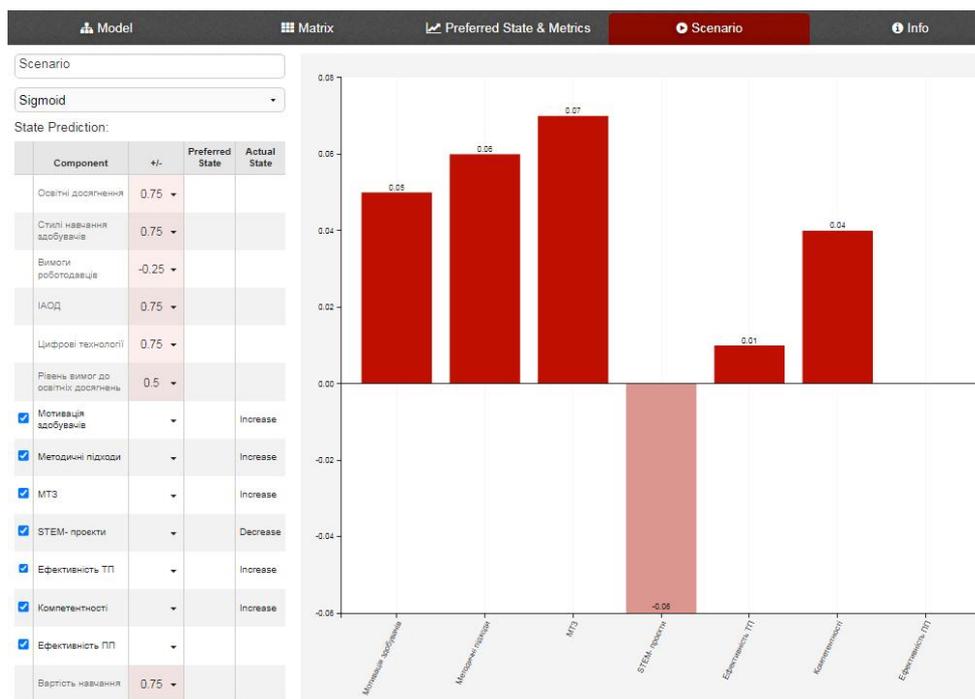


б) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = -0.5$

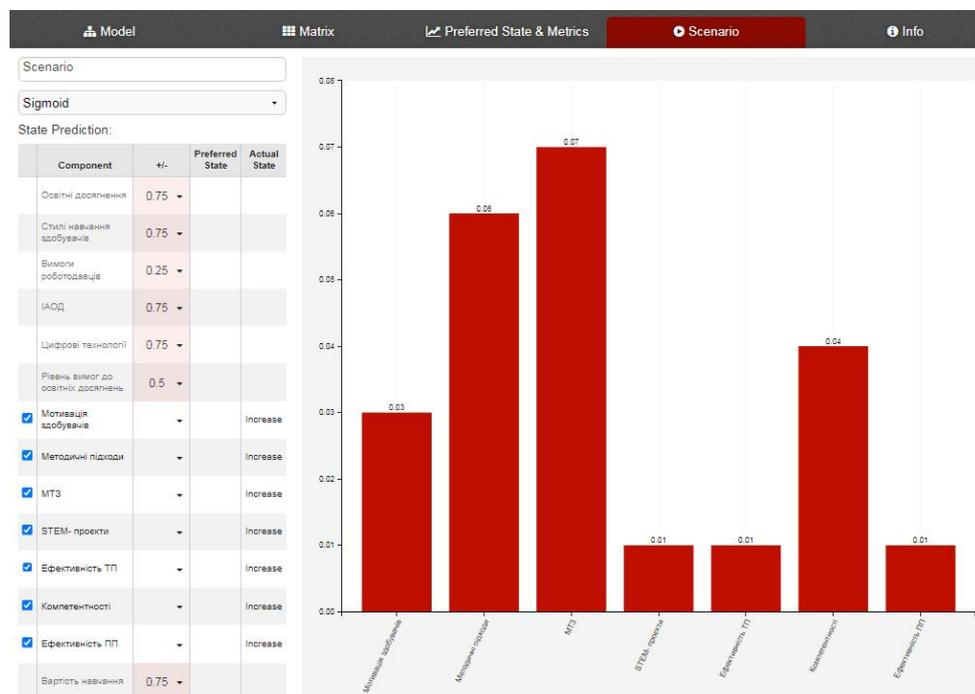




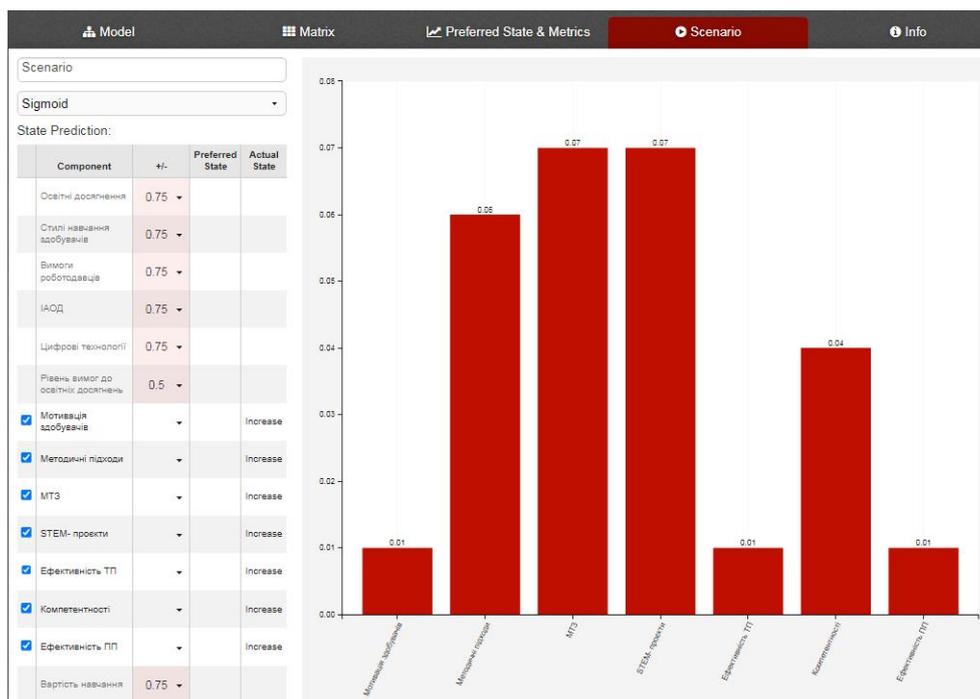
в) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = -0.25$



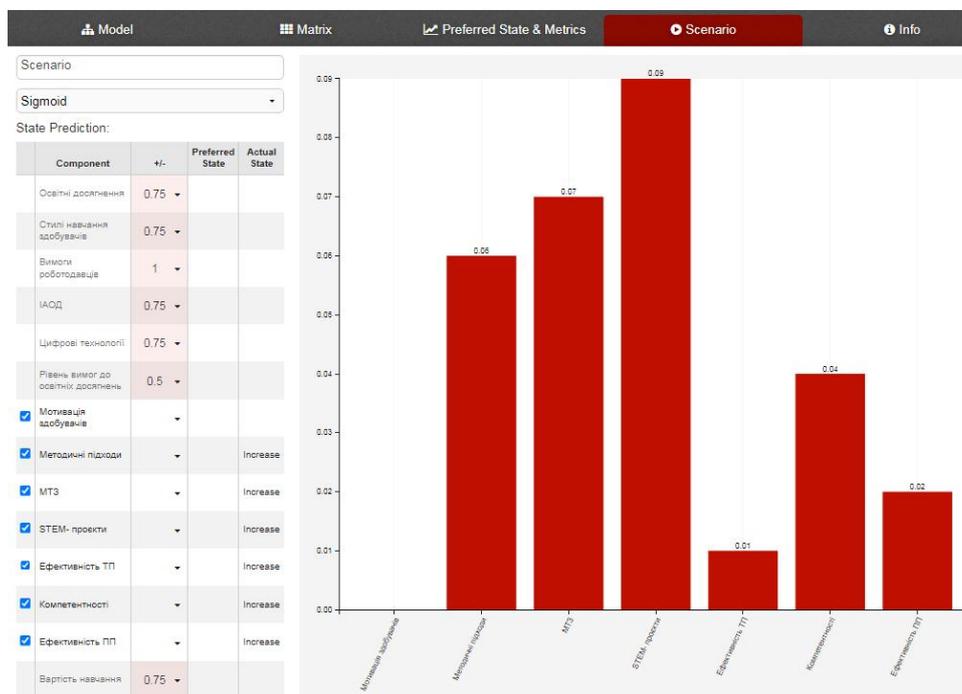
г) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = 0.25$



д) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = 0.75$



е) значення концепту «Вимоги роботодавця» $I_2 = 1.0$



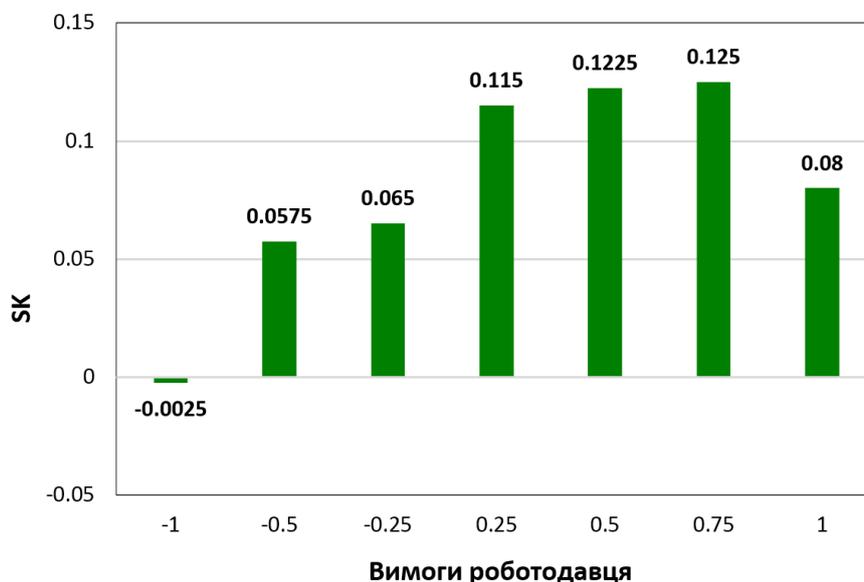
Джерело: розробка автора на основі використання [31]

При збільшенні значення концепту «Вимоги роботодавця» до нижче середнього (0.25), вище середнього (0.75) та максимального (1) збільшено значення вихідного концепту «Ефективність ПП» (рис. 11, г – е).

Результати моделювання впливу вхідного концепту «Вимоги роботодавця» на якість роботи моделі (таблиця 4, рис. 12) показують, що за максимумом результуючого критерію якості S_K (5) отримано найкраще значення концепту «Вимоги роботодавця» 0.75 (рис. 11, д).

Рисунок 12

Результати моделювання впливу вхідного концепту «Вимоги роботодавця» на результуючий критерій якості S_K (5)



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

При нижчому значенні концепту «Вимоги роботодавця», погіршується «Ефективність ПП» (рис. 11, а – г), а при вищому значенні концепту «Вимоги роботодавця» зменшується «Мотивація здобувачів» (рис. 11, е).

Досліджено вплив концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на якість роботи моделі (рис. 13 – 14).

Значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» змінювалося від мінімального (-1) до максимального (1). Вплив концепту «Рівень вимог до

освітніх досягнень» на проміжні та вихідні концепти показано в таблиці 5, а вплив даного концепту на критерії якості моделі показано в таблиці 6.

Таблиця 5.

Вплив концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на проміжні та вихідні концепти

№ п/п	Концепт «Рівень вимог до освітніх досягнень»	Проміжні концепти				Вихідні концепти			Рисунок
		Мотивація здобувачів	Методичні підходи	МТЗ	STEM-проекти	Компетентності	Ефективність ТП	Ефективність ПП	
	I_3	P_1	P_2	P_3	P_4	V_1	V_2	V_3	
1	-1	0.01	-0.15	0.07	0.07	0.05	0.01	0.02	рис.13, а
2	-0.5	0.01	-0.07	0.07	0.07	0.04	0.02	0.02	рис.13, б
3	-0.25	0.01	-0.03	0.07	0.07	0.03	0.02	0.02	рис.13, в
4	0.25	0.01	0.04	0.07	0.07	0.02	0.03	0.01	рис.13, г
5	0.5	0.01	0.06	0.07	0.07	0.01	0.04	0.01	рис.11, д
6	0.75	0.01	0.09	0.07	0.07	0	0.04	0.01	рис.13, д
7	1	0.01	0.11	0.07	0.07	-0.01	0.04	0.01	рис.13, е

Таблиця 6.

Вплив концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на критерії якості моделі

№ п/п	Концепт «Рівень вимог до освітніх досягнень»	S_V	V_{min}	S_P	P_{min}	S_K
1	-1	0.08	0.01	0	-0.15	0.0525
2	-0.5	0.08	0.02	0.08	-0.07	0.1025
3	-0.25	0.07	0.02	0.16	-0.03	0.1225
4	0.25	0.06	0.01	0.19	0.01	0.12
5	0.5	0.06	0.01	0.21	0.01	0.125
6	0.75	0.05	0	0.24	0.01	0.1125
7	1	0.04	-0.01	0.26	0.01	0.0975

Для значень концепту I_3 «Рівень вимог до освітніх досягнень», рівних мінімальному ($I_3 = -1$), дуже низькому ($I_3 = -0.5$), низькому ($I_3 = -0.25$) та нижче середнього (0.25) отримано низькі значення вихідного концепту «Ефективність

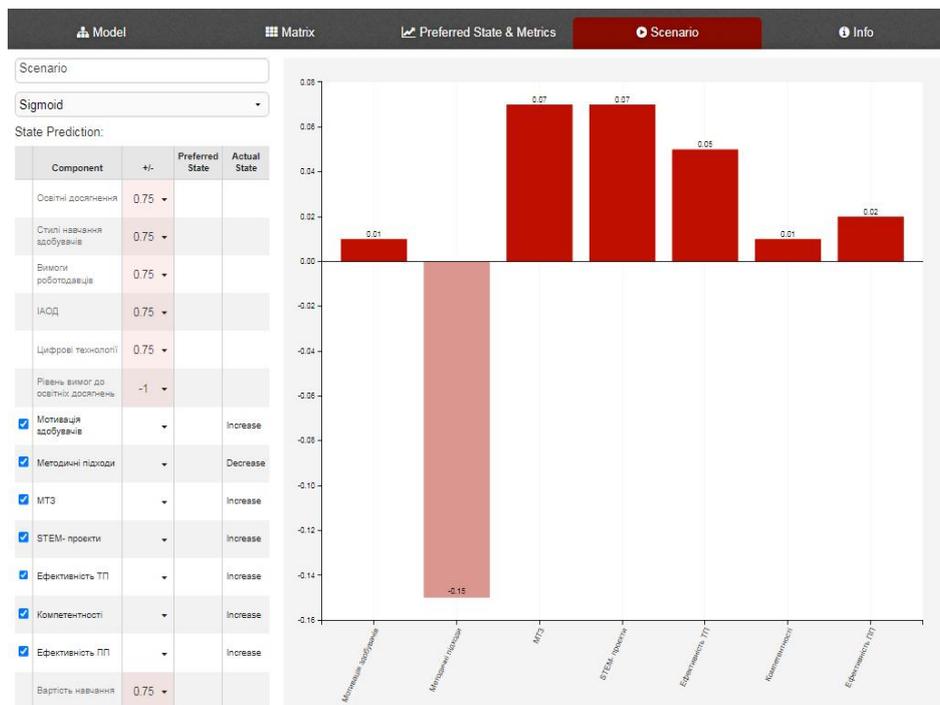
ТП» (рис. 13, а – г). Існує тенденція до підвищення значень вихідного концепту «Ефективність ТП» при збільшенні значень концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень».

При збільшенні значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» до вище середнього (0.75) та максимального (1) зменшено значення вихідного концепту «Компетентності» (рис. 13, д – 13,е).

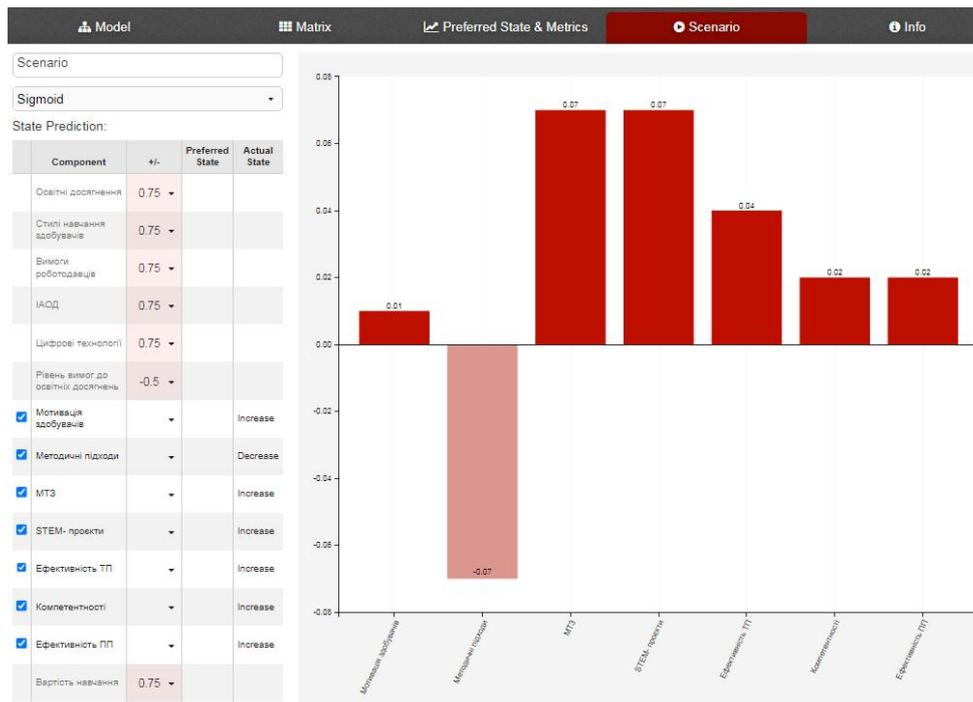
Рисунок 13

Моделювання впливу концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на якість роботи моделі

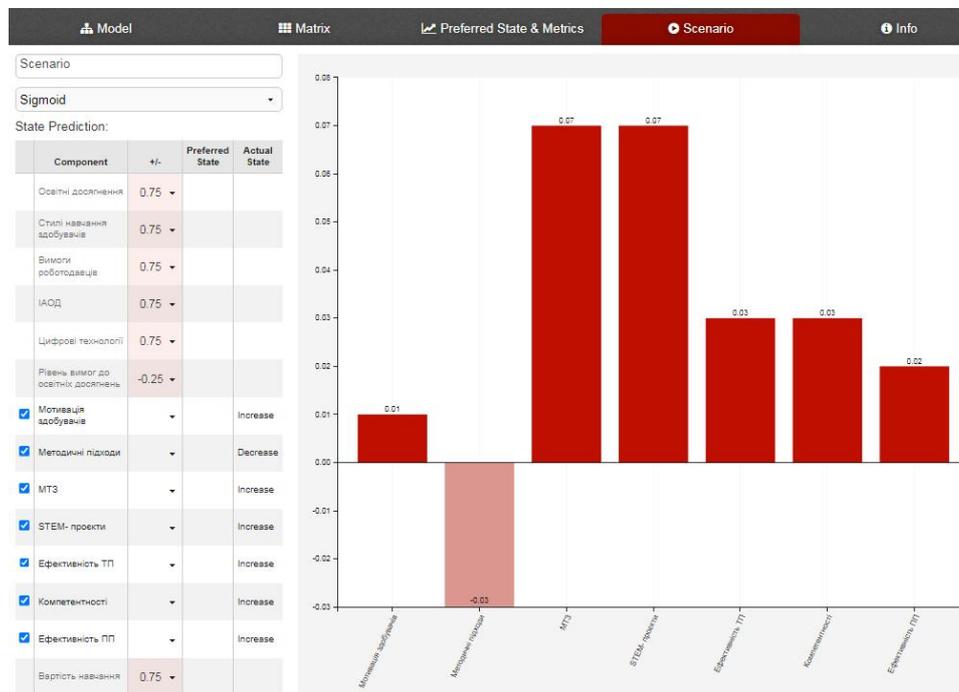
а) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = -1$



б) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = -0.5$



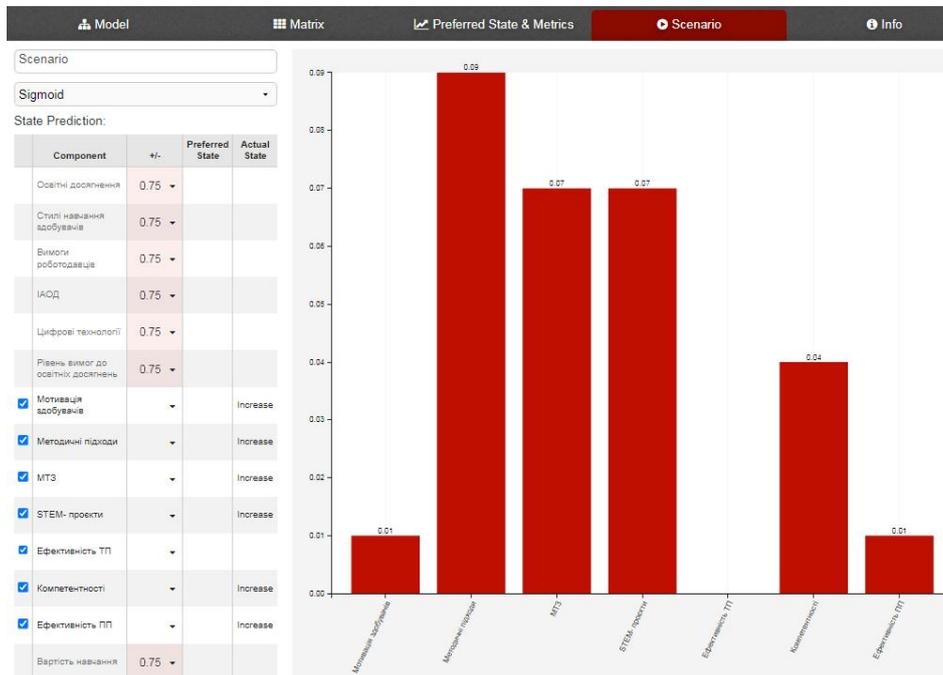
в) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = -0.25$



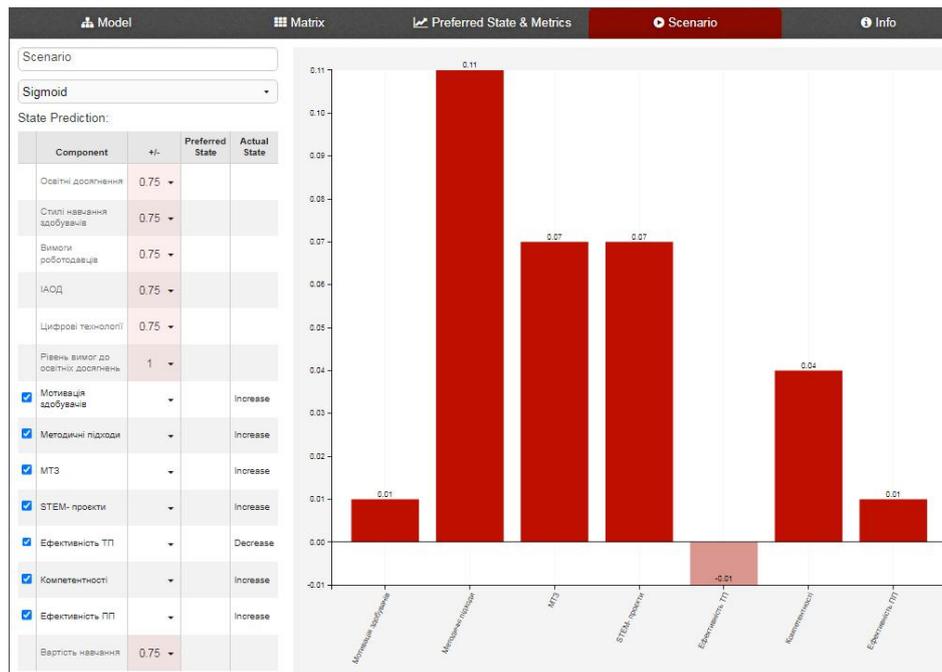
г) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = 0.25$



д) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = 0.75$



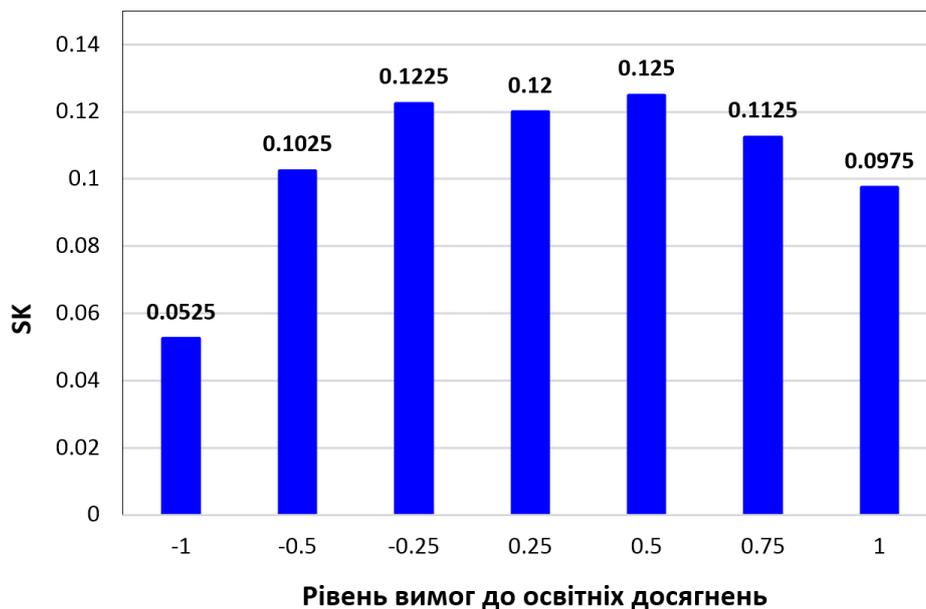
е) значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» $I_3 = 1.0$



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Рисунок 14

Результати моделювання впливу вхідного концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на результуючий критерій якості S_K (5)



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Розглянемо результати моделювання впливу вхідного концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» на якість роботи системи (таблиця 6, рис. 14). За максимумом результуючого критерію якості S_K (5) отримано найкраще значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» 0.5 (рис. 11, д).

Для подальшого моделювання використаємо значення вхідних концептів «Освітні досягнення», «Стилі навчання здобувачів» вищими середнього (0.75), що відповідає даним здобувачів освіти для досліджуваної спеціальності.

Проведемо моделювання системи шляхом зміни концептів «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)» та «Цифрові технології», які можна регулювати (рис. 15 – 17). У порівнянні з попереднім найкращим результатом (рис. 11, д) після підвищення значення концепту «ІАОД» (рис. 15) збільшено результуючий критерій якості $S_K = 0.135$.

Рисунок 15

Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи моделі; збільшено значення концепту «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)» до максимального (1), отримано результуючий критерій якості $S_K = 0.135$.

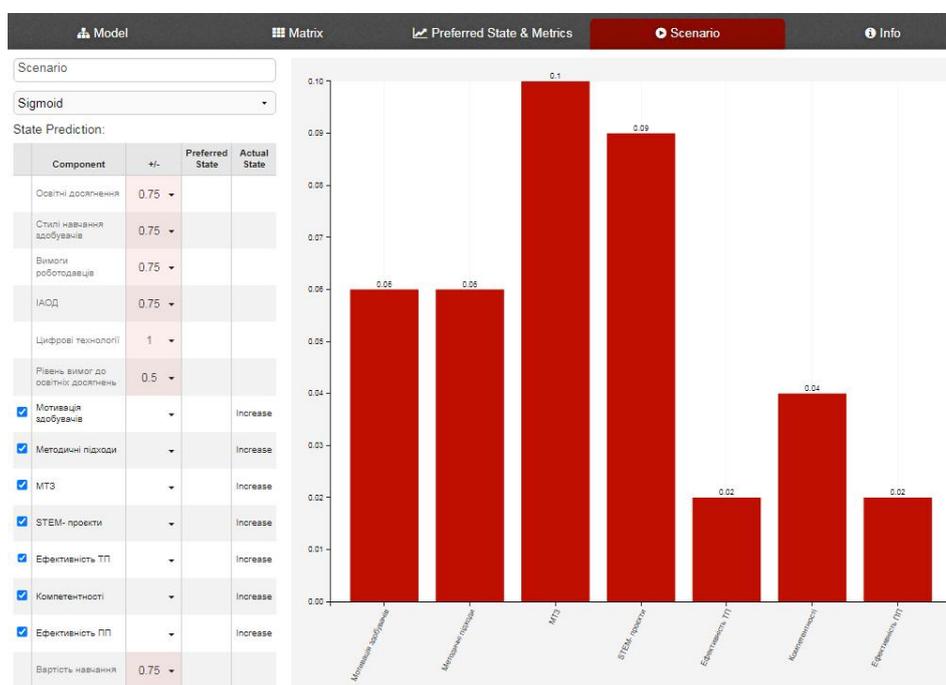


Джерело: розробка автора на основі використання [31]

У порівнянні з отриманим результатом (рис. 15) після підвищення значення концепту «Цифрові технології» (рис. 16) збільшено сумарні значення проміжних і вихідних концептів, що призвело до збільшення результуючого критерія якості $S_K = 0.1925$.

Рисунок 16

Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи моделі; збільшено значення концепту «Цифрові технології» до максимального (1), отримано результуючий критерій якості $S_K = 0.1925$.

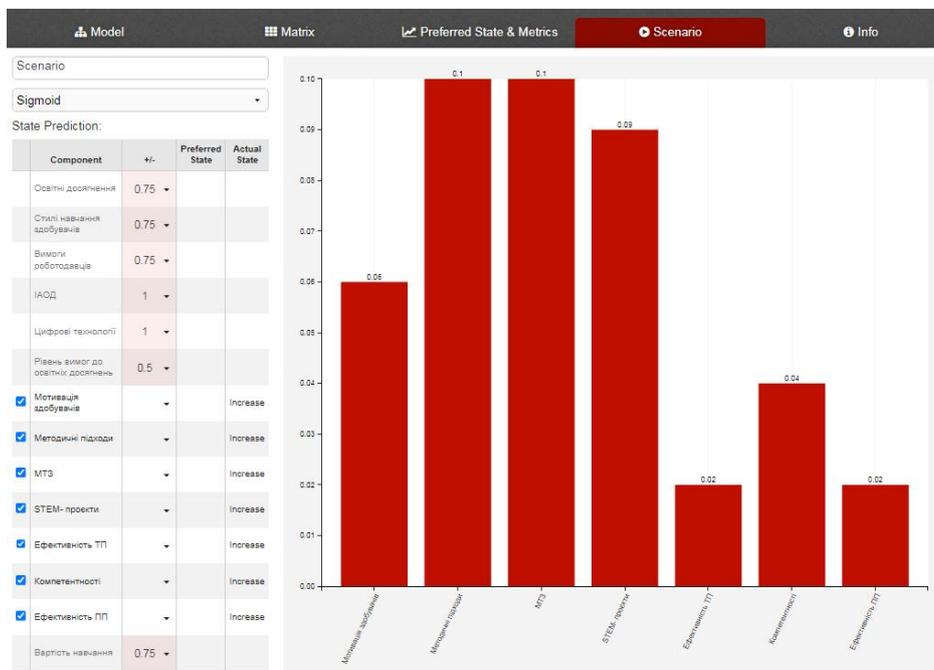


Джерело: розробка автора на основі використання [31]

У порівнянні з попереднім найкращим результатом (рис. 16) після підвищення значення концептів «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)» та «Цифрові технології» (рис. 17) збільшено сумарні значення проміжних концептів та результуючий критерій якості $S_K = 0.2025$.

Рисунок 17

Моделювання впливу вхідних факторів на якість роботи моделі; збільшено значення концептів «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)» та «Цифрові технології» до максимального (1), отримано результуючий критерій якості $S_K = 0.2025$.



Джерело: розробка автора на основі використання [31]

Таким чином, для підвищення якості освітнього процесу значення концептів «Вартість навчання», «Вимоги роботодавця» доцільно встановити на оптимальному значенні вище середнього (0.75), значення концепту «Рівень вимог до освітніх досягнень» встановити на середньому значенні (0.5). При цьому потрібно максимізувати значення концептів «ІАОД (Інтелектуальний аналіз освітніх даних)» та «Цифрові технології», оскільки їх можна регулювати (рис. 17).

При таких значеннях вхідних концептів отримуються високі значення проміжних концептів («Методичні підходи», «STEM-проекти», «Мотивація здобувачів», «Матеріально-технічне забезпечення»), а як наслідок високі значення вихідних концептів системи (концептів «Компетентності»,



«Ефективність ТП (теоретичної підготовки)», «Ефективність ПП (практичної підготовки)»), які визначають якість її роботи.

Результати моделювання підтверджують доцільність розвитку технологій ІАОД та цифрових технологій для підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання.

Висновки. У дослідженні теоретично обґрунтовано та практично реалізовано НКК концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання з використанням інструментарію нечіткого когнітивного педагогічного моделювання у середовищі Mental Modeler. Запропонований підхід дав змогу врахувати складну багатофакторну природу освітнього процесу, охопити ключові концепти, що впливають на якість підготовки фахівців, і проаналізувати їхні взаємозв'язки в межах цілісної системи.

Реалізація моделі у середовищі Mental Modeler дозволила здійснити візуалізацію когнітивної структури освітньої системи, побудувати матрицю ваг взаємозв'язків та здійснити сценарний аналіз. Результати моделювання підтвердили наявність причинно-наслідкових зв'язків між концептами, виявили домінуючі чинники, що мають вирішальний вплив на ефективність підготовки педагогів, і дозволили сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення освітнього процесу. Для кількісної оцінки результатів моделювання в середовищі Mental Modeler введено ряд критеріїв якості S_V , V_{min} , S_p , P_{min} , S_K (1-5).

У результаті моделювання з використанням НКК отримано оптимальні значення концептів «Вартість навчання» (вище середнього, 0.75), «Вимоги роботодавця» (вище середнього, 0.75) та «Рівень вимог до освітніх досягнень» (середнє, 0.5). Показано, що для підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання потрібно максимізувати значення концептів «ІАОД» та «Цифрові технології». Це підтверджує доцільність розвитку та впровадження технологій ІАОД та цифрових технологій в сучасний освітній процес.



Таким чином, застосування нечітких когнітивних карт у системному аналізі забезпечує не лише глибше розуміння структури освітньої системи, але й створює підґрунтя для подальшої адаптації освітніх стратегій до викликів цифрової трансформації, підвищення обґрунтованості управлінських рішень та розвитку аналітики в освіті.

Список використаних джерел

1. Биков В., Буров О. Цифрове навчальне середовище: нові технології та вимоги до здобувачів знань. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць*. 2020. С. 11–22.

2. Ковальчук В. І. Проблеми цифровізації фахової підготовки в закладах професійної освіти. Актуальні проблеми технологічної і професійної освіти. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 14 травня 2020 р. Глухів*. 2020. С. 40–43.

3. Kovalchuk V., Maslich S., Tkachenko N., Shevchuk S., Shchypka T. Vocational Education in the Context of Modern Problems and Challenges. *Journal of Curriculum and Teaching*. 2022. Vol. 8, № 11. [DOI: https://doi.org/10.5430/jct.v11n8p329](https://doi.org/10.5430/jct.v11n8p329)

4. Morze N. V., Strutynska O. V. Digital transformation in society: key aspects for model development. *Journal of physics: Conference serie*. 2021. Vol. 1946. P. 012021. [DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1946/1/012021](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1946/1/012021)

5. Bykov V., Spirin O., Pinchuk O. Modern tasks of digital transformation of education. *Bulletin of the UNESCO Department "Continuing professional education of the XXI century"*. 2020. №. 1. P. 27–36.

6. Pinchuk O. P., Sokolyuk O. M., Burov O. Y., Shyshkina M. P. Digital transformation of learning environment: aspect of cognitive activity of students. 2019.

7. Спирін О. М., Пінчук О. П. Цифрова трансформація освітніх середовищ: основні напрями та завдання науково-педагогічних досліджень. *Інноваційні*



трансформації в сучасній освіті: виклики, реалії, стратегії: зб. матер. V Всеукр. відкр. наук.-практ. онлайн-форуму, Київ, 20 вер. 2023 р. Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна. 2023. С. 187–190.

8. Future of Jobs Report 2023. *World Economic Forum*. May 2023. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf (Last accessed: 22.04.2025).

9. Shakhovska N., Vovk O., Hasko R., Kryvenchuk Y. The Method of Big Data Processing for Distance Educational System. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Shakhovska N., Stepashko V. (Eds.), Springer International Publishing. 2018. Vol. 689. P. 461–473. DOI:10.1007/978-3-319-70581-1_33

10. Baker R., Yacef K. The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions. *Journal of Educational Data Mining*. 2009. Vol. 1, № 1. P. 3–17. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554658>

11. R. Baker et al. Data mining for education. *International encyclopedia of education*. 2010. Vol. 7. P. 112–118.

12. Aldowah H., Al-Samarraie H., Fauzy W. M. Educational data mining and learning analytics for 21st century higher education: A review and synthesis. *Telematics and Informatics*. 2019. Vol. 37. P. 13–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.01.007>

13. Fazlikhani M., Bagheri I. Educational Computer Science Development Based on Data Mining. *5th International Conference on Science, Engineering, and role of Technology in new Busines, Copenhagen-Denamrk*. 2023. P. 1–8.

14. Derevyanchuk O., Hu Z, Balovsyak S., Holub S., Kravchenko H., Sapsai I. Complex of Specialized Methods of Educational Data Mining for the Training of Vocational Education Teachers. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2025. Vol.17, No.1. P. 28-46. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijmeecs.2025.01.03>

15. Деревянчук О. В. Впровадження спеціалізованих методів інтелектуального аналізу освітніх даних для підготовки майбутніх педагогів професійного



навчання. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. № 11. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13996939>

16. Дерев'янчук О. В. Цілі та ключові застосування спеціалізованих методів інтелектуального аналізу освітніх даних для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: педагогіка та психологія*. 2024. № 6. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2024-6-09-01>

17. Balovskyak S., Derevyanchuk O., Kravchenko H., Ushenko Y., Hu Z. Clustering Students According to their Academic Achievement Using Fuzzy Logic. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol.15, № 6. P. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijmeecs.2023.06.03>

18. Balovskyak S., Derevyanchuk O., Kovalchuk V., Kravchenko H., Ushenko Y., Hu Z. STEM project for vehicle image segmentation using fuzzy logic. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2024. V. 16, № 2. P. 45–57. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijmeecs.2024.02.04>.

19. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1986. Vol. 24, № 1. P. 65–75.

20. Gray S., Chan A., Clark D., Jordan R. C. Modeling the integration of stakeholder knowledge in social-ecological system decision-making: Benefits and limitations to knowledge diversity. *Ecological Modelling*. 2012. Vol. 229. P. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.011>.

21. Teh E. H., Kudus S. A. The Application of Fuzzy Cognitive Mapping in Education: Trend and Potential. *TEM Journal*. Volume 13, Issue 2, pages 976-991, ISSN 2217-8309, DOI: 10.18421/TEM132-13, May 2024. URL: <http://ir.unimas.my/id/eprint/45069>.

22. Lepore M. A holistic framework to model student's cognitive process in mathematics education through fuzzy cognitive maps. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, № 16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35863>.

23. Gray S.A., Gray S., Cox L. J., Henly-Shepard S. Mental Modeler: A fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management.



Proceedings of the 46th International Conference on Complex Systems. 2013. P. 963–973.

24. Gray S., Jordan R. C., Mellor D., Newman G. The use of participatory modeling to promote social learning and facilitate community disaster planning. *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 45. P. 109–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.004>.

25. Лаврентьева О. О., Крупський О. П. Теоретичні та методичні аспекти використання інформаційно-когнітивних технологій у підготовці фахівців транспортного профілю. *Вісник Університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і психологія»*. 2024. № 1(27). С. 185–197. DOI: <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2024-1-27-20>.

26. Bourahi T., Mohamed A., Belangour A. The application of fuzzy logic to improve orientation in system education in Morocco. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2021. Vol. 99, № 13. P. 3292–3305.

27. Chen T. Guaranteed-consensus posterior-aggregation fuzzy analytic hierarchy process method. *Neural Computing and Applications*. 2020. Vol. 32. P. 7057–7068. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04211-y>.

28. Tengku Petra T. Z. H., Ab Aziz M. J. Analysing student performance in higher education using fuzzy logic evaluation. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2021. Vol. 10, № 1. P. 322–327.

29. Дервянчук Олександр. Застосування методів кластеризації та нечіткої логіки для інтелектуального аналізу даних в освітньому процесі. *Науковий журнал «Інноваційна педагогіка»*. 2024. Вип. 68. Том 1. С. 130 – 137. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/68.1.25>.

30. Дервянчук О. В. Розробка та впровадження прототипів нечітких інтелектуальних систем у професійній підготовці майбутніх фахівців інженерно-педагогічних спеціальностей. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: педагогіка*. 2024. № 4. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2024-4-09-01>.



31. Fuzzy Cognitive Map. Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com>
(Last accessed: 22.04.2025).