



ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.15875126>

Фізична модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання

Дервянчук 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: 28.06.2025 | Опубліковано: 10.07.2025

Анотація. У статті представлено структурно-функціональну схему фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, яку розроблено з урахуванням вимог ринку праці та через потребу в підвищенні ефективності підготовки майбутніх фахівців у сфері професійної освіти.

Фізичну модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання розроблено на основі існуючої логічної моделі з урахуванням концептуальної моделі, результатів нечіткого когнітивного моделювання, аналізу наукових публікацій та власного педагогічного досвіду. У



контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, розроблена фізична модель є завершальним етапом побудови трирівневої архітектури, яка складається з концептуальної, логічної та фізичної моделей. Метою фізичної моделі є реалізація системного моніторингу та аналізу рішень для забезпечення якості підготовки педагогів професійного навчання.

Розробка фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання є актуальним завданням, оскільки така модель дає змогу структурувати засоби освітньої системи за рівнями та блоками, підвищувати ефективність її функціонування. Фізичну модель структуровано за рівнями освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти. На кожному рівні розроблено блоки засобів моніторингу, аналізу та коригування, компоненти яких описують відповідні апаратно-програмні засоби. Програмна реалізація засобів моніторингу та засобів аналізу виконується за допомогою прикладних програм (Python) та середовищ розробки (Orange Data Mining, MATLAB, Mental Modeler). Зворотній зв'язок між блоками в межах рівнів та передавання даних між рівнями дає змогу цілеспрямовано впливати на освітній процес з метою підвищення його якості. У блоці «Результати» відображаються результати фізичної моделі.

У побудованій моделі широко використовуються цифрові технології та засоби на основі методів інтелектуального аналізу освітніх даних, що відповідає результатам нечіткого когнітивного моделювання та вимогам сучасного освітнього процесу.

Побудована фізична модель забезпечує раціональне використання всіх засобів освітньої системи та підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання. Впровадження фізичної моделі в освітній процес сприяє прийняттю ефективних управлінських рішень, що особливо важливо у контексті цифрової трансформації. Розроблена фізична модель може



використовуватися як для розробки нових освітніх програм, так і для оптимізації існуючих.

Ключові слова: системний аналіз, якість освіти, педагоги професійного навчання, фізична модель, інтелектуальний аналіз освітніх даних, цифрові технології.

Physical Model of System Analysis of the Quality of Vocational Teacher Training

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 presents the structural-functional scheme of the physical model of system analysis of the quality of vocational teacher training, which has been developed taking into account labor market requirements and the need to improve the efficiency of training future professionals in the field of vocational education.*

The physical model of system analysis of the quality of vocational teacher training was developed based on the existing logical model, taking into account the conceptual model, the results of fuzzy cognitive modeling, the analysis of scientific publications, and the author's own pedagogical experience. In the context of system analysis of the quality of vocational teacher training, the developed physical model represents the final stage in constructing a three-level architecture, which consists of



conceptual, logical, and physical models. The purpose of the physical model is to implement system monitoring and decision analysis to ensure the quality of vocational teacher training.

The development of the physical model of system analysis of the quality of vocational teacher training is a relevant task, as such a model enables the structuring of the educational system's tools by levels and blocks, thereby increasing the efficiency of its functioning. The physical model is structured according to the levels of educational programs, academic disciplines, and learners. At each level, blocks of monitoring, analysis, and adjustment tools have been developed, with components that describe the corresponding hardware and software tools. The software implementation of monitoring and analysis tools is carried out using application programs (Python) and development environments (Orange Data Mining, MATLAB, Mental Modeler). Feedback within blocks at each level and data transmission between levels allow for a targeted influence on the educational process to improve its quality. The «Results» block reflects the outcomes of the physical model.

The developed model extensively utilizes digital technologies and tools based on educational data mining methods, which correspond to the results of fuzzy cognitive modeling and meet the requirements of the modern educational process.

The constructed physical model ensures the rational use of all tools of the educational system and enhances the quality of vocational teacher training. The implementation of the physical model in the educational process contributes to effective decision-making, which is especially important in the context of digital transformation. The developed physical model can be used both for the development of new educational programs and for the optimization of existing ones.

Keywords: *system analysis, quality of education, vocational education teachers, physical model, educational data mining, digital technologies.*

Постановка проблеми. Система підготовки педагогів професійного навчання на даний час динамічно змінюється, що зумовлено вимогами ринку



праці та впровадженням сучасних цифрових технологій. В освітньому процесі застосовується значна кількість методів викладання, програмних засобів, середовищ розробки, інформаційних технологій і методів інтелектуального аналізу освітніх даних (ІАОД). Ефективне використання множини таких методів, засобів і технологій потребує системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, який передбачає їх узгоджене та цілеспрямоване застосування.

Окреме застосування цифрових технологій та різноманітного програмного забезпечення в освітньому процесі не забезпечує цілісної підготовки здобувачів освіти, призводить до дублювання та нераціонального застосування таких засобів. Попередньо розроблена логічна модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання вирішує завдання узгодженого використання методів у освітньому процесі, проте не описує використання апаратно-програмних засобів.

Тому завдання розробки фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання є актуальним, оскільки така модель дає змогу структурувати засоби освітньої системи за рівнями та блоками, підвищувати ефективність її функціонування. Реалізація зворотних зв'язків у межах рівнів між блоками засобів моніторингу, аналізу та коригування дозволить розробленій моделі гнучко реагувати на зміну вхідних даних. Побудова фізичної моделі сприятиме раціональному використанню всіх засобів освітньої системи та підвищенню якості підготовки педагогів професійного навчання.

Аналіз останніх публікацій. Огляд сучасної літератури засвідчує зростання інтересу до моделювання на фізичному рівні при дослідженні та оптимізації різноманітних інформаційних систем, що є важливим у контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

У роботі Н.Б. Шаховської, В.В. Литвина [1] показано, що моделювання баз даних виконується на концептуальному, логічному та фізичному рівнях. На



фізичному рівні виконується детальний опис моделі з вказанням її програмної реалізації в конкретній системі керування базами даних (СКБД). За аналогією, в системному аналізі якості підготовки педагогів професійного навчання моделювання на фізичному рівні передбачає опис апаратно-програмної реалізації компонентів моделі.

Згідно з дослідженням М.З. Згуровського, Н.Д. Панкратова, однією з процедур системного аналізу є структурно-функціональний аналіз, який «дає змогу визначити необхідний рівень потенційних можливостей функціональних елементів складної системи і ступінь взаємозв'язків і взаємозалежностей її функціональних елементів для досягнення заданих цілей функціонування системи в ситуації, що складається апріорі» [2]. Тому при дослідженні фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання доцільно будувати саме структурно-функціональну схему моделі. Залежно від складності та вирішуваних завдань в моделі виділяють ряд рівнів [2].

Системний аналіз у роботі П. М. Грицюка, О. І. Джоші, О. М. Гладкої [3] розглядається як окрема наукова дисципліна, яка виникла внаслідок спроб практичного застосування результатів теорії систем до задач керування складними системами. При цьому, системний аналіз об'єктів та процесів конкретизується в послідовності: методологія – метод – нотація – засіб. Нотації призначені для опису структури системи та елементів даних у вигляді графів, діаграм, таблиць, блок-схем тощо. Засоби розглянуті як інструментарій для реалізації та підтримки методів. У контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання засоби можна розглядати як апаратно-програмну реалізацію методів у фізичній моделі.

Окрему увагу в сучасних наукових дослідженнях приділено моделюванню на фізичному рівні, що пов'язане з обробкою фізичних даних та виявленням структурних взаємозв'язків між змінними. Так, у роботі Г. Барлетта, Дж. Трецца, Е. К'яваццо (*G. Barletta, G. Trezza ma E. Chiavazzo*) [4] представлено підходи до виявлення ефективних змінних на основі фізичних даних шляхом застосування



методів машинного навчання. Автори демонструють, як шляхом регресійного й класифікаційного аналізу, можна виділити групи змінних, що зберігають інваріантність фізичних властивостей. Ці підходи апробовано на прикладі процесів теплопередачі та гравітаційної взаємодії, що підтверджує релевантність фізичного моделювання для аналізу складних систем. У контексті системного аналізу якості освіти це дослідження підтверджує доцільність використання фізичних моделей як інструменту формалізації взаємозв'язків між освітніми змінними й параметрами, зокрема, при побудові фізичної моделі освітнього процесу.

Актуальність фізичного моделювання в умовах цифрової трансформації також підтверджується дослідженнями у сфері штучного інтелекту. Так, Дж. Ван (*J. Wang*) та співавтори [5] проаналізували можливості генеративного штучного інтелекту (*generative artificial intelligence, GAI*) для підтримки інтегрованих систем зондування та зв'язку (*integrated sensing and communication, ISAC*) на фізичному рівні. У статті обґрунтовано, що GAI не лише генерує контент, а й ефективно функціонує як інструмент моделювання й аналізу даних у фізичному середовищі. Запропонований авторами підхід базується на дифузійній моделі та демонструє здатність GAI моделювати фізичні процеси з високою точністю, що вказує на потенціал застосування фізичних моделей у складних системах. Такий підхід релевантний для освітнього контексту, де фізичне моделювання може забезпечити формалізацію освітніх процесів на рівні реалізації рішень, моніторингу та керування якістю підготовки.

Істотний внесок у теоретичне обґрунтування моделювання на фізичному рівні зроблено у дослідженні І. М. Греки та М. А. Морейри (*I. M. Greca, M. A. Moreira*) [6], де аналізується взаємозв'язок між фізичними, математичними та ментальними моделями в процесі викладання фізики. Автори стверджують, що адекватне розуміння фізичного явища досягається тоді, коли прогнозування на його основі можливе без попереднього математичного формалізму. Фізичні моделі визначають, яким чином слід інтерпретувати класи явищ, а побудова



ментальних моделей виступає ключовим етапом у формуванні розуміння. Такий підхід є релевантним і для освітнього аналізу, де фізична модель може відігравати роль семантичного каркасу освітньої теорії, надаючи змогу структурно представити зв'язки між елементами системи підготовки педагогів. Отже, фізичне моделювання в освіті слід розглядати не лише як інструмент візуалізації, а як глибоку когнітивну практику, що формує основи для прийняття рішень і розуміння якості.

У сучасній науковій літературі також акцентується увага на важливості фізичної узгодженості моделей у складних системах. Зокрема, М. Бонавіта (*M. Bonavita*) [7] зазначає, що низка новітніх моделей машинного навчання, попри високу точність на глобальному рівні, не забезпечують реалізму на мезомасштабному рівні через ігнорування фундаментальних фізичних принципів. Це підкреслює критичну роль фізичного моделювання у збереженні цілісності та достовірності результатів, що є актуальним і для системного аналізу якості освітнього процесу.

У контексті цифрової трансформації освіти зростає інтерес до інтеграції фізичних моделей із віртуальними репрезентаціями, що зумовлює потребу в системному підході до їх моделювання. При такому моделюванні, важливу роль відіграє забезпечення зв'язку між фізичною та віртуальною моделями. У дослідженні Х. Цзяна та співавторів (*H. Jiang et al.*) [8] запропоновано механізм зв'язку між фізичним рівнем виробничої системи та її цифровим відображенням у межах концепції цифрового двійника (*digital twin*). Визначення ключових компонентів фізичної системи, формалізація логіки їхньої взаємодії, а також побудова віртуального середовища дозволили реалізувати стійкий канал взаємодії між реальним і симуляційним середовищем. Такий підхід є цінним і для системного аналізу якості підготовки педагогів, де фізична модель може виконувати роль проміжного рівня, що зв'язує концептуальні конструкції з цифровими інструментами моніторингу, управління та оцінювання освітнього процесу.



Фізичне моделювання широко застосовується для дослідження процесів у мережах шляхом побудови імітаційних моделей, як показано в роботі Л. О. Уривського, А. В. Мошинської та С. О. Осипчук [9]. Тут моделювання охоплює процеси на фізичному, каналному та мережевому рівнях відповідно до моделі взаємодії відкритих систем.

Проведений огляд наукових публікацій підтверджує, що моделювання на фізичному рівні (фізичне моделювання) є універсальним інструментом, який дозволяє встановлювати структуровані зв'язки між реальними процесами та їх цифровими або аналітичними репрезентаціями. Таке моделювання забезпечує основу для точного відображення фізичних характеристик, взаємодій і динаміки систем, що уможлиблює побудову ефективних механізмів управління та прогнозування. У контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання фізична модель може слугувати основою для реалізації методів моніторингу та аналізу освітнього процесу на різних рівнях – від освітніх програм до здобувачів освіти. Це сприяє впровадженню персоналізованих підходів, підвищенню ефективності управлінських рішень та забезпеченню якості освітнього середовища в умовах цифрової трансформації.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Незважаючи на наявність окремих досліджень, присвячених застосуванню системного аналізу в освітньому середовищі, недостатньо опрацьованою залишається проблема розроблення фізичних моделей, які забезпечують опис способів апаратно-програмної реалізації складових системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання. Обмежено представлені теоретико-методичні підходи до побудови фізичних моделей, які інтегрують засоби моніторингу, аналізу та коригування освітніх даних, забезпечують зворотний зв'язок і дозволяють здійснювати цілеспрямоване коригування педагогічної підготовки. В умовах цифровізації та зростаючої складності освітніх процесів також актуальним є питання створення фізичних моделей, які використовують релевантні засоби для підвищення якості підготовки педагогів



професійного навчання.

Мета статті полягає в розробці фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, яка дозволяє структурувати за рівнями та блоками ключові компоненти освітнього процесу, встановити між ними причинно-наслідкові зв'язки, забезпечити опис апаратно-програмної реалізації методів моніторингу, аналізу та коригування даних для їх ефективного впровадження в освітній процес.

Виклад основного матеріалу. Фізичну модель (англ. *Physical Model*) системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання розроблено на основі логічної моделі (рис. 1) з урахуванням концептуальної моделі [10], результатів моделювання на основі нечіткої когнітивної карти (НКК) [11; 12], теоретичного аналізу літературних джерел (методологічні, організаційні та наукові аспекти підготовки педагогів професійного навчання), а також враховуючи власний педагогічний досвід.

У контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, моделювання на фізичному рівні слугує завершальним етапом побудови трирівневої архітектури (концептуальна – логічна – фізична моделі). Таке моделювання передбачає створення реальних або віртуальних систем, що формалізують освітні процеси у вигляді вимірюваних, спостережуваних та керованих об'єктів.

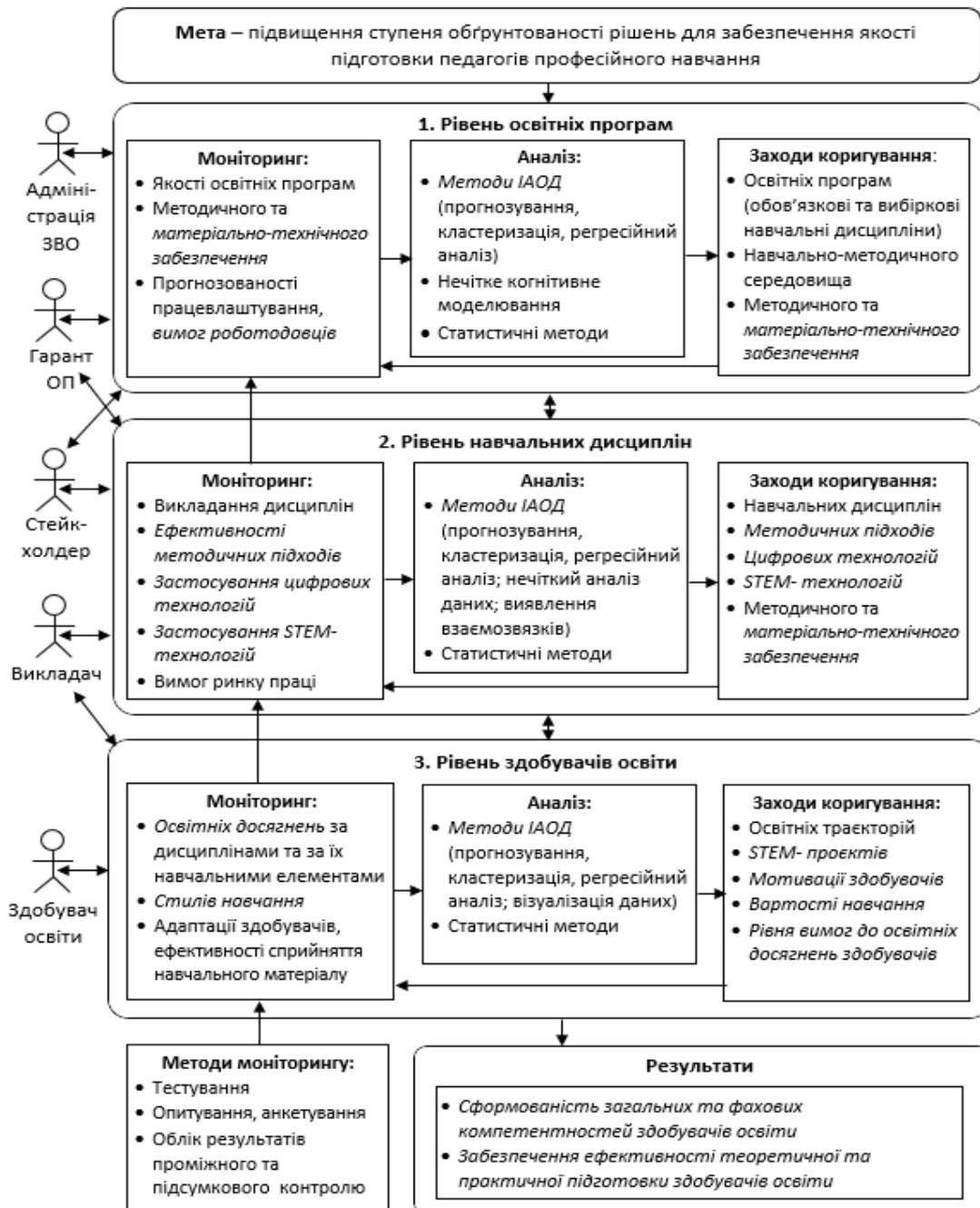
Метою фізичної моделі є реалізація моніторингу та аналізу рішень для забезпечення якості підготовки педагогів професійного навчання (рис. 2). Мету фізичної моделі сформульовано з урахуванням мети логічної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання.

При розробці фізичної моделі системного аналізу якості використано особливості моделювання баз даних на фізичному рівні [1; 13]. У контексті трисхемної архітектури ANSI/SPARC фізична модель відповідає внутрішній схемі системи, яка включає технології управління даними та реалізує взаємозв'язок між логічною моделлю і фізичним рівнем зберігання.

Запропонована у 1975 році ANSI/SPARC-модель (*American National Standards Institute / Standards Planning and Requirements Committee*) є базовим підходом до проєктування складних інформаційних систем, що забезпечує абстрагування користувача від технічних деталей зберігання даних [14].

Рисунок 1

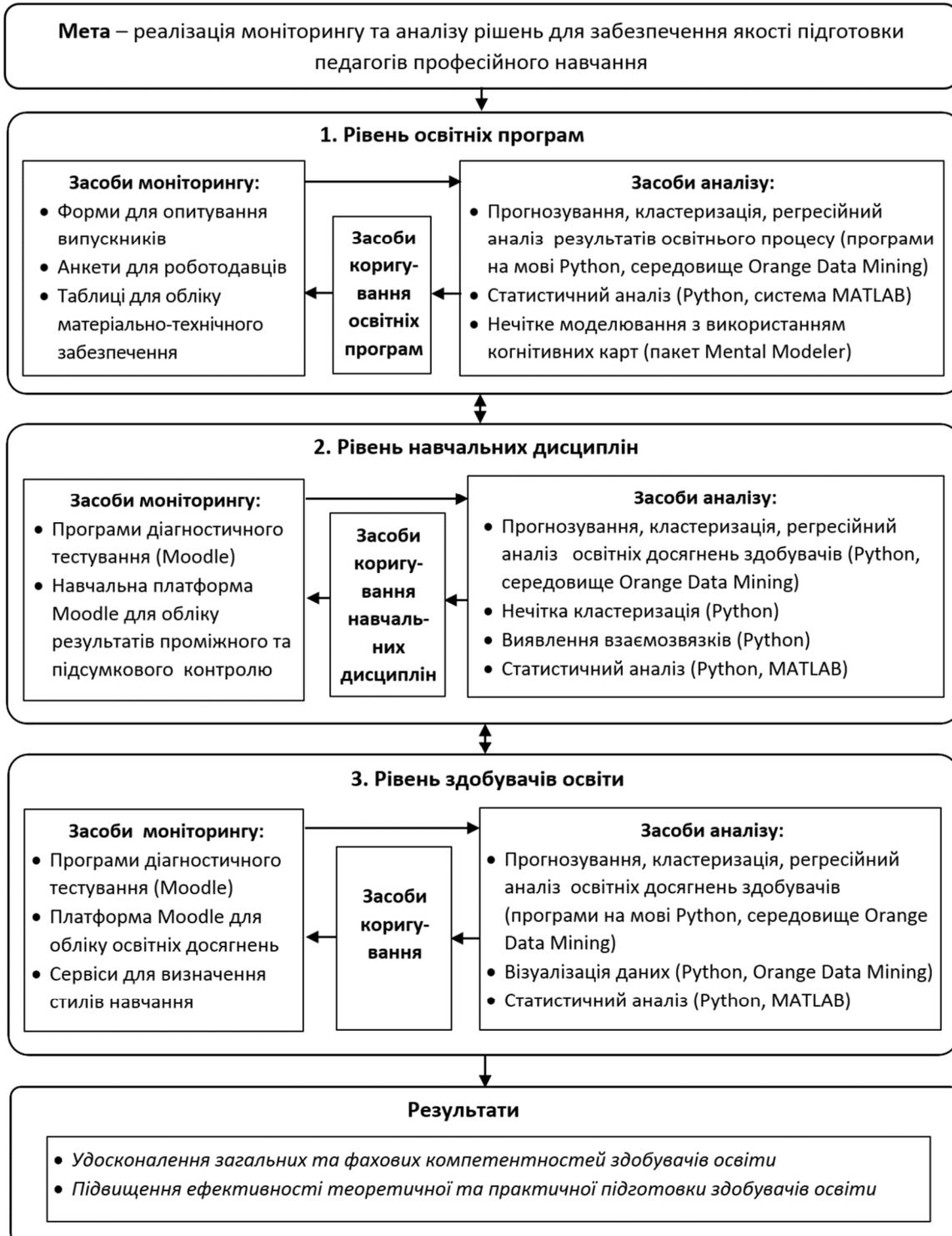
Структурно-функціональна схема логічної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання



Джерело: розробка автора на основі використання [15]

Рисунок 2

Структурно-функціональна схема фізичної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання



Джерело: розробка автора на основі використання [1-21]



Аналогічно до логічної моделі, у фізичній моделі (рис. 2) виділено три рівні: освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти. На основі блоків моніторингу та аналізу логічної моделі, у фізичній моделі розроблено блоки засобів моніторингу та засобів аналізу, компоненти яких описують апаратно-програмні засоби відповідних методів логічної моделі. Апаратна реалізація таких засобів виконується з використанням комп'ютерів, мікрокомп'ютерів (зокрема, Raspberry Pi), мережевого обладнання та периферійних пристроїв (зокрема, відеокамер). Програмна реалізація засобів моніторингу та засобів аналізу виконується за допомогою прикладних програм (Python) та середовищ розробки (Orange Data Mining, MATLAB, Mental Modeler). Для реалізації засобів моделі використано авторське програмне забезпечення, розроблене на мові Python [16-20].

Блоки засобів моніторингу призначені для отримання вхідних даних для системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання (засобами форм для опитування, анкет, програм діагностичного тестування тощо). Блоки засобів аналізу реалізують апаратно-програмну обробку вхідних даних із використанням конкретних методів (ІАОД, статистичних).

Вихідні дані блоків засобів аналізу передаються у блоки засобів коригування через зворотній зв'язок, що дозволяє цілеспрямовано впливати на освітній процес з метою підвищення його якості. Засоби коригування на відповідних рівнях спрямовані на уточнення блоків освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти.

У блоці «Результати» відображаються результати фізичної моделі, які відповідають результатам логічної моделі: удосконалення загальних та фахових компетентностей здобувачів освіти, підвищення ефективності їх теоретичної та практичної підготовки.

Розглянемо детальніше рівні розробленої фізичної моделі (рис. 2).

1. Рівень освітніх програм. На цьому рівні у блоці засобів моніторингу оцінюється якість освітніх програм, яка визначається з використанням форм для



опитування випускників, анкет для роботодавців, таблиць обліку матеріально-технічного забезпечення. У блоці засобів аналізу застосовуються програмне забезпечення (програми на мові Python, середовище Orange Data Mining, система MATLAB, пакет Mental Modeler для нечіткого когнітивного моделювання), в якому реалізовано методи інтелектуального аналізу освітніх даних (ІАОД), статистичні методи та нечітке когнітивне моделювання. За результатами аналізу, в блоці засобів коригування, виконується безпосереднє уточнення освітніх програм: коригування структури освітніх програм, навчально-методичного середовища, методичного та матеріально-технічного забезпечення освітнього процесу.

Функціонування рівня освітніх програм розглянемо на такому прикладі: у блоці засобів моніторингу визначаються вимоги роботодавців шляхом їх анкетування (роботодавці за 10-бальною шкалою вказують релевантність переліку навичок до професійної діяльності майбутніх працівників), отримані дані обробляються в блоці заходів аналізу штучною нейронною мережею (яка прогнозує міру відповідності кожної вибіркової дисципліни до вимог роботодавців із урахуванням середніх значень релевантності навичок), а в блоці засобів коригування виконуються рекомендовані зміни у структурі освітньої програми (наприклад, додаються нові вибіркові дисципліни, які найбільше відповідають вимогам роботодавців).

Функціонування рівня освітніх програм виконується ітераційно за рахунок зворотних зв'язків між блоками засобів моніторингу, аналізу та коригування, внаслідок чого забезпечується адаптація освітніх програм до нових вимог. Аналогічно виконується функціонування інших рівнів фізичної моделі. Реалізовано як зв'язки у межах рівня, так і зв'язки між рівнями. Наприклад, зміни матеріально-технічного забезпечення певної дисципліни на рівні навчальних дисциплін призводять до змін матеріально-технічного забезпечення на рівні освітніх програм.



2. Рівень навчальних дисциплін. На даному рівні засоби моніторингу використовують навчальну платформу Moodle для діагностичного тестування та обліку результатів проміжного і підсумкового контролю. У блоці засобів аналізу застосовується програмне забезпечення, яке реалізує методи ІАОД (прогнозування, чітку і нечітку кластеризацію, регресійний аналіз, виявлення взаємозв'язків) та статистичні методи. У блоці заходів коригування виконуються зміни змісту навчальних дисциплін, методичних підходів, використаних цифрових і STEM-технологій, методичного та матеріально-технічного забезпечення освітнього процесу. Для підвищення мотивації здобувачів освіти та ефективності освітнього процесу на рівні навчальних дисциплін, пропонується широке впровадження STEM-проектів, для реалізації яких розроблено ряд спеціалізованих програм [17; 18; 19].

Розглянемо такий приклад функціонування рівня навчальних дисциплін: у блоці засобів моніторингу визначаються освітні досягнення здобувачів (шляхом тестування в Moodle) після введення у конкретній дисципліні STEM-проекту, програмою для регресійного аналізу виявляються закономірності між освітніми результатами та кількістю годин на реалізацію STEM-проекту (яка може бути різною для різних курсів та академічних груп), а в блоці засобів коригування встановлюється оптимальна кількість годин для реалізації STEM-проекту.

3. Рівень здобувачів освіти, на якому в блоці засобів моніторингу використовується навчальна платформа Moodle для діагностичного тестування та обліку освітніх досягнень, а для визначення стилів навчання застосовуються спеціальні сервіси (наприклад, опитування за методикою Колба). У блоці засобів аналізу застосовується програмне забезпечення, яке реалізує методи ІАОД (прогнозування, кластеризацію, регресійний аналіз, візуалізацію даних) та статистичні методи. За результатами аналізу, у блоці засобів коригування, виконуються зміни освітніх траєкторій здобувачів освіти, STEM-проектів, умов навчання та рівня вимог до освітніх досягнень.



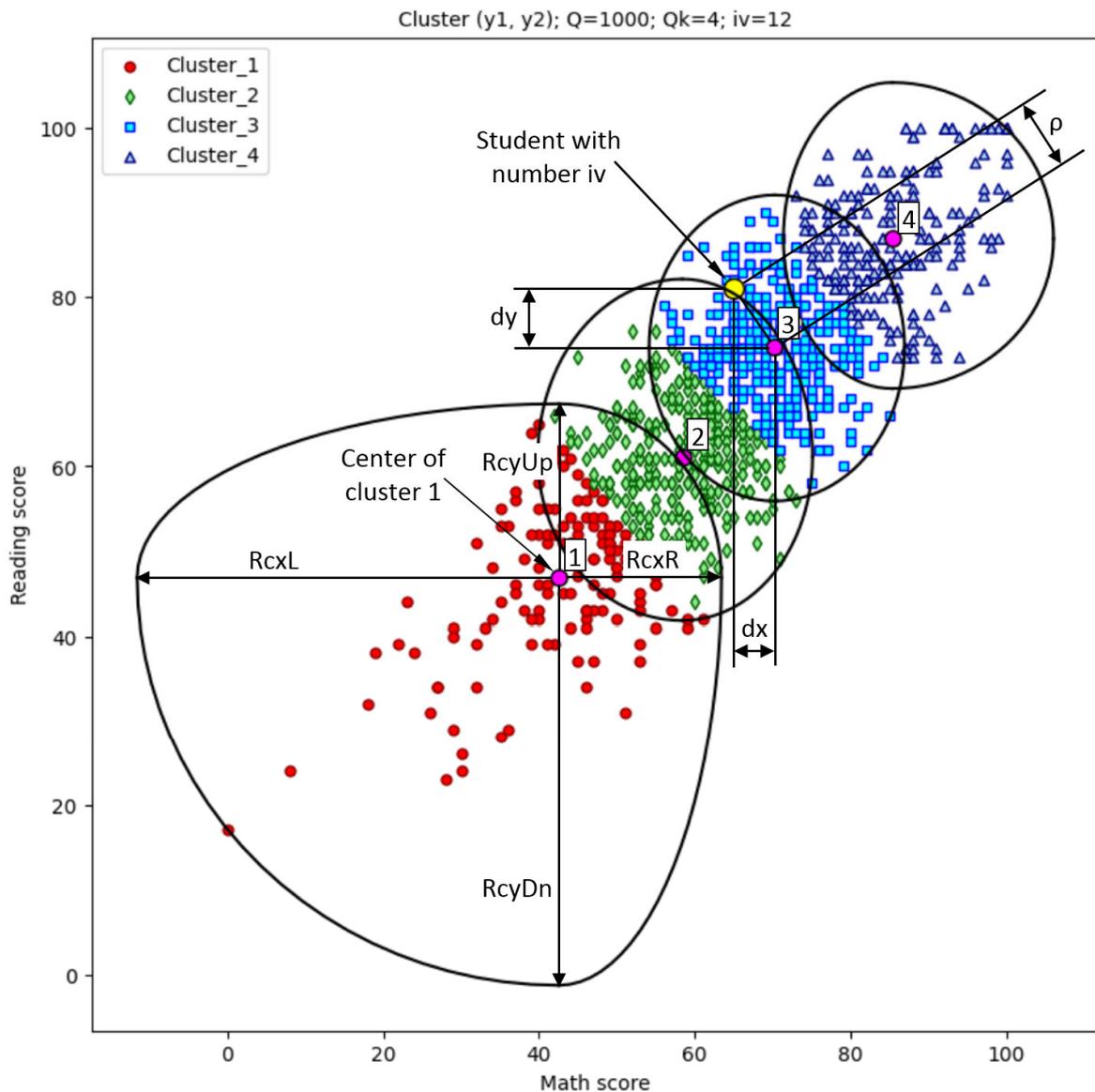
Функціонування рівня здобувачів освіти проілюструємо таким прикладом: у блоці засобів моніторингу визначаються освітні досягнення здобувачів за певними навчальними дисциплінами (тестування в Moodle) та їх стилі навчання (опитування за методикою Колба), у блоці засобів аналізу програмою для кластеризації виконується поділ здобувачів на кластери за даними їх моніторингу, а в блоці засобів коригування здобувачам освіти (відповідно до їх належності до певного кластеру) пропонується роль в STEM-проєкті (яка забезпечить найбільш повну реалізацію можливостей здобувачів).

У відповідності до вимог сучасного освітнього процесу, у розробленій фізичній моделі (рис. 2) на всіх рівнях використовуються цифрові технології (зокрема, для тестування, опитування, візуалізації навчальних матеріалів тощо), а у блоках засобів аналізу широко застосовується програмне забезпечення з реалізованими методами ІАОД [20]. Така структура фізичної моделі підтверджує результати нечіткого когнітивного моделювання [12] концептуальної моделі системного аналізу якості за допомогою інтелектуальних сценаріїв, які вказували на доцільність розвитку методів ІАОД та цифрових технологій для підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання.

Розглянемо приклад кластеризації освітніх даних компонентами (заходами) фізичної моделі, а саме комп'ютерної програми «Кластеризація даних із використанням нечіткої логіки» ("ClusterFuzzy23"), яку реалізовано на мові Python засобами хмарного сервісу Google Colab [16, 21]. У програмі виконано кластеризацію здобувачів освіти за їх освітніми досягненнями з використанням нечіткої логіки. Кластеризацію для Q_k кластерів виконано у просторі двох ознак методом K-Means (рис. 3).

Рисунок 3

Приклад кластеризації освітніх даних за параметрами "math score" (оцінки з математики), "reading score" (оцінки з читання); кількість здобувачів освіти Q ; межі кластерів виділено дугами з радіусами R_{cxL} , R_{cxR} , R_{cyDn} , R_{cyUp} (у кожному квадранті системи координат) [21]

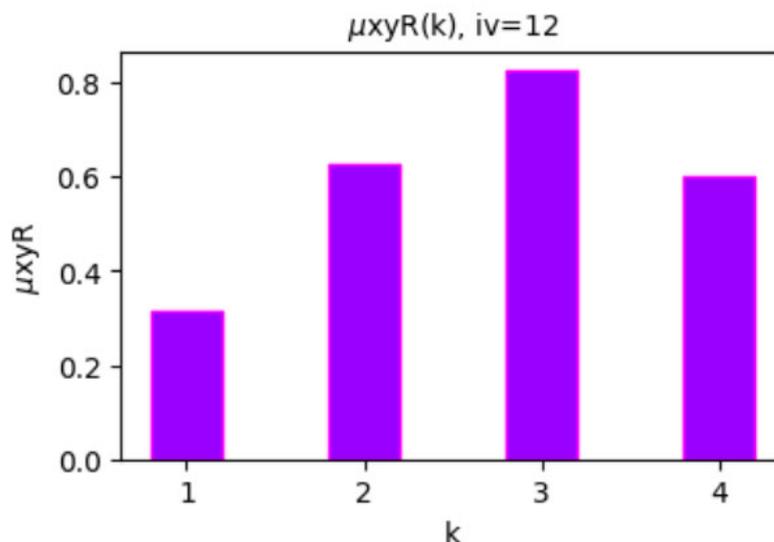


Джерело: розробка автора на основі використання [16; 21]

Для вибраного користувачем здобувача освіти з номером iv обчислюються ступені належності до кластерів з номерами k , які визначаються на основі нечітких функцій належності (рис. 4).

Рисунок 4

Значення ступенів належності $\mu_{xyR}(k)$ здобувача освіти з номером $iv = 12$ (рис. 3) до кластерів з номерами k , обчислені на основі нечітких функцій належності [21]



Джерело: розробка автора на основі використання [16; 21]

У результаті обробки тестових освітніх даних, отримано поділ здобувачів освіти на кластери, кожен з яких відповідає групі здобувачів освіти з характерною комбінацією оцінок з різних предметів. Застосування нечіткої логіки забезпечує правильне визначення ступені належності здобувачів освіти до певних груп (кластерів) навіть при відсутності чітких меж між кластерами. Завдяки цьому, програма дозволяє індивідуально визначати рекомендований рівень складності завдань для кожного здобувача освіти у залежності від його попередніх результатів навчання.

Таким чином, розроблена фізична модель системного аналізу якості дозволяє оптимізувати освітній процес на рівнях освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти, що забезпечує підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання.

Висновки. У дослідженні теоретично обґрунтовано та практично реалізовано структурно-функціональну схему фізичної моделі системного



аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання. Проведено огляд наукових публікацій, який підтверджує доцільність фізичного моделювання для систематизації складних процесів та реалізації засобів системного аналізу.

Фізичну модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання розроблено на основі логічної моделі з урахуванням концептуальної моделі, результатів моделювання на основі нечіткої когнітивної карти, теоретичного аналізу літературних джерел, а також враховуючи власний педагогічний досвід. У контексті системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання, моделювання на фізичному рівні слугує завершальним етапом побудови тривірневої архітектури (концептуальна – логічна – фізична моделі). Метою фізичної моделі є реалізація моніторингу та аналізу рішень для забезпечення якості підготовки педагогів професійного навчання.

Фізичну модель структуровано за трьома рівнями: освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти. На кожному рівні розроблено блоки засобів моніторингу, аналізу та коригування, компоненти яких описують апаратно-програмні засоби відповідних методів логічної моделі. Програмна реалізація засобів моніторингу та засобів аналізу виконується за допомогою прикладних програм (Python) та середовищ розробки (Orange Data Mining, MATLAB, Mental Modeler). Вихідні дані блоків засобів аналізу передаються у блоки засобів коригування через зворотній зв'язок, що дозволяє цілеспрямовано впливати на освітній процес з метою підвищення його якості. У блоці «Результати» відображаються результати фізичної моделі.

Розроблена фізична модель системного аналізу якості, дозволяє оптимізувати освітній процес на рівнях освітніх програм, навчальних дисциплін та здобувачів освіти, що забезпечує підвищення якості підготовки педагогів професійного навчання. Фізична модель орієнтована на прикладне застосування методів, засобів і технологій у освітньому процесі.



Список використаних джерел

1. Шаховська Н.Б., Литвин В.В. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник. Львів, «Магнолія-2006». 2011. 380 с.
2. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. К. Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
3. Грицюк П. М., Джоші О. І., Гладка О. М. Основи теорії систем і управління: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2021. 272 с.
4. Barletta G., Trezza G., Chiavazzo E. Learning Effective Good Variables from Physical Data. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. 2024. Vol. 6, № 3. P. 1597–1618. DOI: <https://doi.org/10.3390/make6030077>
5. Wang J., et al. Generative AI for Integrated Sensing and Communication: Insights From the Physical Layer Perspective. *IEEE Wireless Communications*. 2024. Vol. 31, № 5. P. 246–255. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWC.013.2300485>
6. Greca I. M., Moreira M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science education*. 2002. Vol. 86, №. 1. P. 106–121. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.10013>
7. Bonavita M. On some limitations of current machine learning weather prediction models. *Geophysical Research Letters*. 2024. Vol. 51, №. 12. P. e2023GL107377. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023GL107377>
8. Jiang H. et al. How to model and implement connections between physical and virtual models for digital twin application. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021. Vol. 58. P. 36–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.012>
9. Уривський Л. О., Мошинська А. В., Осипчук С. О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях [Електронний ресурс]: навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. 202 с.
10. Дервянчук О. В. Нечітке когнітивне педагогічне моделювання системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання. *Проблеми сучасних*



трансформації. Серія: педагогіка та психологія. 2025. № 8. DOI:
<https://doi.org/10.54929/2786-9199-2025-8-09-01>

11. Fuzzy Cognitive Map. Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com>
(Last accessed: 22.05.2025).

12. Деревянчук О. В. Оптимізація концептуальної моделі системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання за допомогою інтелектуальних сценаріїв. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 18. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15790424>

13. Physical schema. Wikipedia. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_schema

14. American National Standards Institute. ANSI/X3/SPARC Study Group on Data Base Management Systems. Interim Report. *FDT (Bulletin of ACM SIGMOD)*. 1975. Vol. 7, № 2.

15. Деревянчук О. В. Логічна модель системного аналізу якості підготовки педагогів професійного навчання. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 19. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15870037>

16. Деревянчук О.В., Баловсяк С.В. Комп'ютерна програма «Кластеризація даних із використанням нечіткої логіки» ("ClusterFuzzy23"). *Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ)*. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 123369, 31.01.2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/services/original-document/>

17. Деревянчук О.В., Баловсяк С.В. Комп'ютерна програма «Сегментація зображень із використанням нечіткої логіки» ("SegmentFuzzy24"). *Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ)*. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 126418, 15.05.2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/services/original-document/>

18. Деревянчук О.В., Баловсяк С.В. Комп'ютерна програма «Детектування масок на обличчях методом Віоли-Джонса із використанням нечіткої логіки» ("DetectFaceMaskFuzzy24"). *Український національний офіс інтелектуальної*



власності та інновацій (УКРНОІВІ). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 132821, 03.02.2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/services/original-document/>

19. Дерев'янчук О.В., Баловсяк С.В. Комп'ютерна програма «Розпізнавання зображень розбитого віконного скла» ("RecognBrokenGlass24"). *Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ)*. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 132819, 03.02.2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/services/original-document/>

20. 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, № 1. P. 28–46. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijmeecs.2025.01.03>

21. Balovsyak 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>