



ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.13996939>

Впровадження спеціалізованих методів інтелектуального аналізу освітніх даних для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання

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, доцент кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, <https://orcid.org/0000-0002-3749-9998>

Прийнято: 16.10.2024 | Опубліковано: 29.10.2024

***Анотація.** У статті представлено детальний аналіз сучасних методів інтелектуального аналізу освітніх даних (ІАОД). На основі цього аналізу розроблено інтегрований набір підходів, який спрямований на оптимізацію процесу підготовки педагогів професійного навчання. У статті охарактеризовано ключові техніки ІАОД, включаючи прогнозування, кластеризацію, виявлення взаємозв'язків (майнінг відносин), дистиляцію даних для підтримки людського судження, а також відкриття нових знань за допомогою моделей.*

Методи інтелектуального аналізу освітніх даних були розширені за допомогою спеціалізованих технік попередньої цифрової обробки зображень та



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ: НАУКОВІ ЗАПИСКИ

алгоритмів штучного інтелекту, адаптованих до освітніх вимог для майбутніх педагогів професійного навчання. Використані методи попередньої цифрової обробки зображень, включно з фільтрацією, підвищенням контрастності та виділенням контурів, забезпечують покращення якості та точності обробки зображень, що сприяє більш ефективному аналізу в контексті підготовки майбутніх педагогів професійного навчання.

У контексті впровадження штучного інтелекту були застосовані техніки сегментації зображень та детектування (виявлення) об'єктів, які використовують нечітку логіку для підвищення точності та адаптивності. Серед використаних методів варто відзначити застосування згорткових нейронних мереж (convolutional neural network – CNN), які забезпечують ефективно виявлення об'єктів на зображеннях, а також метод Віоли-Джонса, який відомий своєю здатністю швидко та точно детектувати об'єкти. Ці технології значно збільшують потенціал педагогічної підготовки, оскільки дозволяють розробляти інтелектуальні системи, здатні адаптивно обробляти візуальну інформацію та автоматизувати аналітичні процеси у професійному навчанні.

Методи інтеграції нечіткої логіки (Fuzzy Logic) з основними аналітичними процесами, такими як кластеризація даних, сегментація зображень та детектування об'єктів, були детально розглянуті. Застосування нечіткої логіки сприяє ефективному врахуванню невизначеностей при кластеризації, що збільшує точність у визначенні об'єктів і контурів на зображеннях, підсилює ефективність детектування об'єктів у складних візуальних умовах. Цей підхід дозволяє поліпшити обробку і аналіз візуальних даних, що є важливим у підготовці майбутніх педагогів професійного навчання.



Ключові слова: цифровізація освіти; педагоги професійного навчання; інтелектуальний аналіз освітніх даних, кластеризація, цифрова обробка зображень, сегментація зображень, детектування об'єктів, нечітка логіка.

Implementation of specialized methods of educational data mining for training future vocational education teachers

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, Associate Professor of the Department Professional and Technological Education and General Physics, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, <https://orcid.org/0000-0002-3749-9998>

***Abstract.** The article presents a detailed analysis of modern methods of Educational Data Mining (EDM). Based on this analysis, an integrated set of approaches has been developed, aimed at optimizing the process of training educators in professional education. The article describes key EDM techniques, including prediction, clustering, relationship mining, data distillation for human judgment, and discovery of new knowledge through models.*

Educational data mining methods have been enhanced with specialized techniques for pre-processing digital images and artificial intelligence algorithms, tailored to meet the educational needs of future vocational education teachers. The utilized methods of digital image pre-processing, including filtering, contrast enhancement, and contour detection, improve the quality and accuracy of image



processing, facilitating more effective analysis in the context of training future vocational education teachers.

In the context of artificial intelligence implementation, image segmentation and object detection techniques using fuzzy logic have been applied to enhance accuracy and adaptability. Among the methods used, it is worth noting the application of convolutional neural networks (CNNs), which provide effective object detection in images, as well as the Viola-Jones method, known for its ability to detect objects quickly and accurately. These technologies significantly enhance the potential of pedagogical training, as they allow for the development of intelligent systems capable of adaptively processing visual information and automating analytical processes in professional education.

Methods for integrating fuzzy logic with core analytical processes such as data clustering, image segmentation, and object detection were thoroughly examined. The application of fuzzy logic facilitates effective consideration of uncertainties in clustering, enhances the accuracy in identifying objects and contours in images, and boosts the efficiency of object detection under complex visual conditions. This approach improves the processing and analysis of visual data, which is crucial in the training of future vocational education teachers.

Keywords: *Digitalization of Education; Vocational Education Teachers; Educational Data Mining, Clustering, Digital Image Processing, Image Segmentation, Object Detection, Fuzzy Logic.*

Постановка проблеми. Інтелектуальний аналіз освітніх даних (ІАОД) (англ. Educational Data Mining – EDM) інтенсивно розвивається як значущий інструмент для підвищення якості навчання та педагогічної діяльності. Застосування інформаційних технологій у сфері освіти призводить до формування об'ємних даних, що відображають ключові аспекти освітнього



процесу та діяльності здобувачів освіти. Автоматизований аналіз цих даних за допомогою ІАОД сприяє оптимізації педагогічного процесу.

ІАОД являє собою міждисциплінарний напрямок, що інтегрує інтелектуальний аналіз даних (ІАД) з машинним навчанням, психометрією, комп'ютерним моделюванням, статистикою, візуалізацією даних та веб-майнінгом [1; 2]. Особливість ІАОД полягає у врахуванні специфічних характеристик освітніх даних, таких як взаємозв'язки між наборами даних та їх ієрархічна організація, що є важливим для ефективного застосування в освітньому контексті [3]. На відмінну від загального інтелектуального аналізу даних, ІАОД зосереджується на адаптації технологій для вирішення специфічних освітніх завдань, що сприяє підвищенню ефективності навчальних процесів.

Основні методи ІАОД, що застосовуються у різних сегментах освітньої діяльності, включають прогнозування, кластеризацію, виявлення взаємозв'язків, дистиляцію даних для людського судження та відкриття з моделями [4; 5]. Ці методи дозволяють ефективно аналізувати та використовувати освітні дані для покращення якості навчання та викладання.

У контексті підготовки майбутніх педагогів професійного навчання особливе значення набуває вміння обробляти значні обсяги даних, які можуть бути представлені у текстовій, числовій та графічній формах [6]. Специфіка цієї підготовки полягає в необхідності правильної побудови, візуалізації та аналізу різноманітних графіків, діаграм, схем, креслень та тривимірних моделей [7]. Значна увага при цьому приділяється використанню сучасних технологій у сфері комп'ютерного зору та машинного навчання, що вимагає глибокого розуміння принципів цифрової обробки зображень та здобуття практичних навичок у цій галузі [8; 9].

У дослідженні розглянуто можливість доповнення базових методів ІАОД спеціалізованими техніками, спрямованими на підвищення ефективності



підготовки педагогів професійного навчання. Зокрема, запропоновано включення методів попередньої цифрової обробки зображень, таких як фільтрація, підвищення контрасту, виділення контурів, а також методів штучного інтелекту, включаючи сегментацію зображень та детектування об'єктів із застосуванням нечіткої логіки.

У контексті обробки освітніх даних для професійного навчання, які можуть мати певну ступінь нечіткості, особливу увагу приділено інтеграції методів ІАОД з нечіткою логікою. Це стосується, зокрема, розподілу здобувачів освіти на кластери, де можливе їх перекриття, що передбачає належність одного здобувача одночасно до декількох кластерів [10]. Використання інтегральних підходів дозволяє підвищити ефективність обробки таких даних [11; 12; 13].

Результатом роботи є розробка системи спеціалізованих методів ІАОД, яка сприяє оптимальній підготовці педагогів у сфері професійного навчання, здатних ефективно застосовувати сучасні цифрові технології у своїй професійній діяльності.

Аналіз останніх публікацій. Питання впровадження новітніх цифрових технологій у освіті стало об'єктом дослідження таких вчених як С. Баловсяк [12; 14], В. Биков [15; 16; 17], В. Ковальчук [18; 19; 20], О. Лаврентєва [21], С. Литвинова [22], С. Масліч [23], Н. Морзе [24; 25], О. Пінчук [26; 27], О. Спирін [28; 29], С. Семеряков [30; 31], В. Сорока [32; 33] та інші.

Важливим напрямом цифровізації професійної освіти є комплексне застосування методів інтелектуального аналізу освітніх даних у професійній діяльності. Дослідженням застосування методів ІАОД у освітньому процесі присвячена велика кількість робіт. Важливими є дослідження у таких напрямках: прогнозування освітніх досягнень здобувачів освіти з використанням машинного навчання [34; 35] та штучних нейронних мереж [36; 37]; методи кластеризації [38; 39], кластеризація освітніх даних [40; 41]; методи цифрової обробки



зображень: фільтрації [42; 43], виділення контурів [44; 45], підвищення контрасту [46] та сегментації [47; 48; 49]; методи розпізнавання зображень та нечіткої логіки [14; 49; 50; 79]; комп'ютерного моделювання [51; 52; 53; 54]; тривимірної графіки [7], доповненої [55] та розширеної реальності [56]; впровадження STEM-освіти й реалізації STEM-проектів [14; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, присвячених методам інтелектуального аналізу освітніх даних, існує очевидна нестача досліджень щодо комплексного застосування методів ІАОД у професійній діяльності. Зокрема, важливо доповнити базові методи інтелектуального аналізу освітніх даних спеціалізованими методами ІАОД, які б могли значно покращити процес підготовки майбутніх педагогів професійного навчання.

Мета статті полягає у вдосконаленні системи підготовки майбутніх педагогів професійного навчання у закладах вищої освіти до комплексного застосування методів інтелектуального аналізу освітніх даних у професійній діяльності.

Виклад основного матеріалу. ІАОД визначається як ключовий інструмент для оптимізації процесів навчання та викладання, що знаходить застосування у низці критичних напрямів. За дослідженням Бейкера [4], чотири основні сфери застосування ІАОД охоплюють вдосконалення моделей здобувачів освіти, оптимізацію доменних моделей, розвиток педагогічної підтримки через вдосконалення навчального програмного забезпечення, а також проведення досліджень, спрямованих на аналіз освітнього процесу та його учасників.

Додатково, згідно з іншим значущим дослідженням, проведеним Кастро [65], виокремлено додаткові області використання ІАОД, які включають аналіз



досягнень здобувачів освіти, індивідуалізацію навчальних курсів на основі поведінкових показників, оцінювання якості навчальних матеріалів у онлайн-курсах, а також аналіз поведінкових патернів здобувачів освіти. Таким чином, класифікація застосувань ІАОД, запропонована Кастро, ефективно доповнює та розширює попередню класифікацію Бейкера, з акцентом на ключові аспекти електронного навчання. Водночас, існують декілька класифікацій базових методів ІАОД, котрі мають різне застосування у сферах освітнього процесу.

Дослідження інтелектуального аналізу освітніх даних виявило ряд ключових методів, які були систематизовані та поділені на групи. Зокрема, дослідники Бейкер [4; 5] та Альгарні [66] виділяють основні методи ІАОД, які об'єднані у п'ять основних груп (групи №1-5) (рис. 1):

1. Прогнозування (prediction).

1.1. Класифікація (classification).

1.2. Регресійний аналіз (regression).

1.3. Оцінка щільності (density estimation)

2. Кластеризація (clustering).

3. Виявлення взаємозв'язків (майнінг відносин) (relationship mining).

3.1. Виявлення асоціативних правил (association rule mining).

3.2. Кореляційний аналіз (correlation mining).

3.3. Майнінг послідовних шаблонів (sequential pattern mining).

3.4. Причинно-наслідковий аналіз (causal data mining)

4. Дистиляція даних для людського судження (distillation of data for human judgment).

5. Відкриття з моделями (discovery with models).



Рисунок 1

Базові методи ІАОД



Джерело: розробка автора на основі використання [1-14]

Методи прогнозування (група №1), кластеризації (група №2) та виявлення взаємозв'язків (група №3) класифікуються як традиційні категорії інтелектуального аналізу даних (ІАОД). Водночас, методи дистиляції даних для людського судження (група №4) та відкриття з моделями (група №5) представляють більш специфічні підходи, характерні для інтелектуального аналізу освітніх даних. Варто зазначити, що структуризація методів ІАОД може змінюватись у залежності від дослідницького фокусу. Наприклад, у порівнянні з класифікацією за Бейкером [4], Ромеро і Вентура [67] вводять нові методи:

1. Виявлення викидів (outlier detection).
2. Майнінг процесів (process mining).
3. Аналіз соціальних мереж (social network analysis).



4. Видобуток даних з тексту (text mining).

У дослідженні [68] виділено ряд методів ІАОД, які включають кластеризацію, класифікацію, виявлення аномалій, асоціацію, пошук шаблонів, та текстовий майнінг. Ці методи корелюють із базовими методами, визначеними у класифікаціях Бейкера [4] та Ромеро і Вентура [67], що підтверджує їх значущість і широке визнання у науковому співтоваристві.

Відтак, класифікації методів ІАОД, представлені Ромеро і Вентурою [67] та Маїс Хадж Касемом [68], доповнюють і розширюють класифікацію Бейкера [4], яка слугує як широко визнаний та детальний фундамент для опису базових методів ІАОД. На цій основі, використовуючи класифікацію [4], можна глибше розглянути основні методи ІАОД (рис. 1). Це забезпечує чітке розуміння ключових технік аналізу, що застосовуються у сфері освіти.

Методи прогнозування (prediction), що належать до першої групи методів ІАОД, спрямовані на антиципацію потенційних результатів навчального процесу на основі аналізу існуючих даних. Згідно з дослідженнями [66; 69; 70; 71], такі методи здатні прогнозувати академічну успішність здобувачів освіти, їхні потенційні труднощі у навчанні, а також оцінювати ефективність впровадження нових навчальних методик. Методи прогнозування враховують індивідуальні особливості здобувачів освіти, такі як попередні оцінки, стиль навчання та інші ключові фактори.

У контексті ІАОД, прогнозування зазвичай виконується з використанням методів класифікації, регресійного аналізу та оцінки щільності. Методи класифікації та регресійного аналізу, поряд із застосуванням штучних нейронних мереж (ШНМ), входять до напряму машинного навчання, забезпечуючи розширені можливості для аналітичного вивчення даних. Ці інструменти дозволяють ефективно обробляти великі обсяги інформації та витягувати з них цінні прогнози, значно підвищуючи якість освітнього процесу.



У роботі [72; 73] розглянуто застосування ШНМ для прогнозування навчальних досягнень здобувачів освіти. Окрім цього, у дослідженні [9] вивчається використання згорткових нейронних мереж для розпізнавання навчальних зображень з метою виявлення здобувачів освіти у групі ризику. Враховуючи популярність та ефективність методу прогнозування за допомогою ШНМ, цей метод було додано до переліку базових методів, які застосовуються в ІАОД (див. рис. 2).

Методи кластеризації, які належать до групи методів №2 і представлені на рисунку 1, відіграють ключову роль у спрощенні аналізу освітніх даних шляхом розділення великих початкових множин даних на частини або кластери [74; 75]. Використовуючи навчання без вчителя, кластеризація дозволяє структурувати освітні дані, сприяючи виявленню корисних для практики закономірностей та взаємозв'язків.

Кластерний аналіз навчальних результатів може бути застосований для коригування рівня складності навчальних завдань на основі проміжних та підсумкових оцінок. У освітній сфері цей метод застосовується для ідентифікації моделей поведінки здобувачів освіти, дозволяючи оптимізувати навчальний процес та вживати відповідні заходи. Крім того, кластерний аналіз може використовуватись для оцінки складності тестових завдань, зокрема для виявлення групи найскладніших завдань.

В обробці освітніх даних, окрім кластеризації, застосовуються і методи сегментації [76]. Сегментація відрізняється від кластеризації тим, що передбачає попереднє встановлення кількості та характеристик сегментів, а також критеріїв, за якими дані будуть розподілені між різними сегментами. Визначення цих критеріїв, як правило, виконується людиною.

Враховуючи доповнюючу роль сегментації у аналізі освітніх даних, доцільно розширити можливості групи методів №2, перейменувавши її на



«Кластеризація та сегментація даних» та додавши метод «2.2. Сегментація даних» (див. рис. 2). Таке розширення забезпечить більш широкі можливості для структурування та аналізу освітніх даних.

Майнінг відносин (relationship mining), що входить до групи методів №3 (див. рис. 1), зосереджений на виявленні взаємозв'язків та асоціацій між характеристиками об'єктів у наборах даних [66; 68]. Цей метод аналізу дозволяє ідентифікувати змінні, що мають сильні взаємозалежності, при цьому зв'язки мають відповідати критеріям статистичної значущості та практичної корисності. У контексті ІАОД встановлені зв'язки допомагають зрозуміти вплив різних факторів на результати навчання (наприклад, витраченого часу на самостійну роботу або участь у групових проєктах). Серед методів майнінгу відносин виділяють виявлення асоціативних правил (association rule mining), кореляційний аналіз (correlation mining), майнінг послідовних шаблонів (sequential pattern mining) та причинно-наслідковий аналіз (causal data mining).

Методи дистиляції даних для людського судження (distillation of data for human judgment), що належать до групи методів №4 і представлені на рисунку 1, фокусуються на перетворенні складних даних у форми, зрозумілі для людей, що сприяє їхньому швидкому розумінню та прийняттю рішень [5].

Зокрема, використання візуалізації (visual mining), методів інфографіки та обробки зображень допомагає зробити дані доступними та інтуїтивно зрозумілими. Перетворення даних у зручні для сприйняття форми також може здійснюватись за допомогою зведених таблиць та алгоритмів зниження розмірності.

Методи дистиляції даних відіграють ключову роль у освітньому процесі, оскільки вони дозволяють викладачам та здобувачам освіти легше сприймати та аналізувати навіть великі обсяги інформації, тим самим підвищуючи ефективність навчання та дослідження.



Відкриття з моделями (discovery with models), що належить до групи методів №5 і представлене на рисунку 1, включає використання створених моделей для генерації нових знань про навчальні процеси, поведінку здобувачів освіти та ефективність навчальних стратегій, які можуть бути застосовані для покращення навчального процесу [5; 66]. Цей підхід може включати моделювання навчальних траєкторій, розробку адаптивних навчальних систем, або прогнозування результатів нових навчальних стратегій. Методи відкриття з моделями охоплюють широкий спектр технік, зокрема кластеризацію та прогнозування.

Один із напрямів відкриття з моделями – симуляція навчальних процесів, яка включає розробку комп'ютерних моделей системи, що імітують взаємодію між здобувачами та навчальним середовищем. Таке моделювання дозволяє аналізувати вплив різних чинників на навчальний процес і часто виконується за допомогою нечіткої когнітивної карти (НКК) та пакету Mental Modeler (ММ) [64; 77].

Інший напрям – оптимізація навчальних стратегій, яка зосереджена на використанні моделей для оцінювання потенційної ефективності та оптимізації навчальних підходів. Наприклад, моделі, що оптимізують стиль навчання здобувачів освіти, можуть бути створені на основі результатів тестувань та аналізу даних.

Аналіз наукових статей свідчить про значний потенціал підвищення ефективності освітнього процесу через використання сучасних методів аналізу освітніх даних [1; 2]. Особливо актуальними стають ці методи для педагогів професійного навчання, яким необхідні навички візуалізації та комп'ютерної обробки графіків, діаграм, схем, креслень, зображень, а також 3D-моделей. Знання засобів інтелектуального аналізу зображень також відіграють важливу роль [6; 7; 9].



Методи дистиляції даних для людського судження, зазначені в класифікації [4] і представлені на рисунку 2, традиційно зосереджені на візуалізації даних. Проте, у відповідь на сучасні освітні потреби, запропоновано розширену структуру для групи №4 методів дистиляції даних для людського судження (рис. 2):

- 4.1. Візуалізація даних.
- 4.2. Попередня обробка цифрових зображень.
- 4.3. Сегментація зображень.
- 4.4. Детектування об'єктів на зображеннях.

До існуючих методів ІАОД були додані спеціалізовані методи попередньої цифрової обробки зображень (метод 4.2) та методи штучного інтелекту, зокрема сегментація зображень і детектування об'єктів на зображеннях (методи 4.3, 4.4). Це враховує особливості підготовки майбутніх педагогів професійного навчання.

Застосовані спеціалізовані методи попередньої обробки зображень включають фільтрацію (у просторовій або частотній області), підвищення контрасту (локального або глобального) та виділення контурів зображень. Фільтрація зменшує рівень шуму, покращуючи візуальну якість зображень, тоді як підвищення контрасту також сприяє збільшенню візуальної якості. Виділення контурів допомагає підкреслити межі досліджуваних об'єктів, спрощуючи їх візуальне сприйняття для здобувачів освіти.

Додавання спеціалізованих методів штучного інтелекту, таких як сегментація і детектування об'єктів на зображеннях, сприяє кращому сприйняттю здобувачами освіти шляхом цілеспрямованого фокусування уваги на важливих деталях зображень. Ці методи можуть бути інтегровані у виконання здобувачами освіти різних етапів STEM-проектів, що не лише поглиблює їх



знання, але й розвиває навички критичного мислення та аналітичного підходу до вирішення проблем.

У процесі ІАОД часто зіштовхуються з явищем нечіткості значень, які приймають деякі параметри об'єктів. Згідно з дослідженням [78], така нечіткість може спостерігатися, наприклад, при кластеризації навчальних предметів, де формуються кластери зі значним перекриванням, дозволяючи одному предмету частково належати до декількох кластерів.

Схоже явище можна виявити і при кластеризації здобувачів освіти за їхніми навчальними досягненнями, а також у сегментації зображень, де ділянки можуть з різною впевненістю належати до певних об'єктів.

Враховуючи ці особливості, для ефективної обробки нечітких даних і підвищення якості аналітичної роботи педагогів професійного навчання, запропоновано інтегрувати методи нечіткої логіки в рамки ІАОД. Використання нечіткої логіки дозволить більш точно обробляти ситуації нечіткості і невизначеності даних, забезпечуючи можливість врахування неоднозначностей і нюансів у навчальних та аналітичних процесах.

Такий підхід може суттєво підвищити точність аналітичних висновків та зробити використання ІАОД більш гнучким і адаптованим до специфіки освітнього контексту. Завдяки комплексному (інтегральному) застосуванню нечіткої логіки до існуючих методів ІАОД отримано ряд спеціалізованих методів, а саме (рис. 2):

2.3. Нечітка кластеризація.

4.5. Детектування об'єктів із використання нечіткої логіки.

У рамках розробки освітньої програми для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання, було запропоновано інтеграцію спеціалізованих методів інтелектуального аналізу освітніх даних, які відображені на рисунку 2.



Рисунок 2

Комплекс методів ІАОД для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання; кольором показано додані спеціалізовані методи



Джерело: розробка автора на основі використання [1-14; 34-79]

На даному рисунку методи, які були адаптовані з технік цифрової обробки зображень та штучного інтелекту, позначено червоними прямокутниками. Окрім цього, на рисунку синіми прямокутниками позначені комплексні методи, розроблені на основі застосування нечіткої логіки до вже існуючих методів ІАОД.

Таким чином, розроблено комплекс методів ІАОД для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання з такою структурою:

1. Прогнозування (prediction).



- 1.1. Класифікація (classification).
- 1.2. Регресійний аналіз (regression).
- 1.3. Оцінка щільності (density estimation)
- 1.4. Прогнозування засобами штучних нейронних мереж.
2. Кластеризація та сегментація даних (clustering and data segmentation).
 - 2.1. Чітка кластеризація.
 - 2.2. Сегментація даних.
 - 2.3. Нечітка кластеризація.
3. Виявлення взаємозв'язків (майнінг відносин) (relationship mining).
 - 3.1. Виявлення асоціативних правил (association rule mining).
 - 3.2. Кореляційний аналіз (correlation mining).
 - 3.3. Майнінг послідовних шаблонів (sequential pattern mining).
 - 3.4. Причинно-наслідковий аналіз (causal data mining).
4. Дистиляція даних для людського судження (distillation of data for human judgment).
 - 4.1. Візуалізація даних.
 - 4.2. Попередня обробка цифрових зображень.
 - 4.3. Сегментація зображень.
 - 4.4. Детектування об'єктів на зображеннях.
 - 4.5. Детектування об'єктів із використанням нечіткої логіки.
5. Відкриття з моделями (discovery with models).

Інтеграція запропонованих методів штучного інтелекту, цифрової обробки зображень та нечіткої логіки в ІАОД відкриває нові можливості підвищення якості освіти для підготовки майбутніх педагогів професійного навчання.

Висновки. У дослідженні розроблено комплекс методів інтелектуального аналізу освітніх даних, які враховують особливості підготовки майбутніх педагогів професійного навчання. Комплекс методів розроблено шляхом



додавання спеціалізованих методів до базових методів ІАОД. Як базові методи ІАОД використано прогнозування, кластеризацію, виявлення взаємозв'язків (майнінг відносин), дистиляцію даних для людського судження та відкриття з моделями.

Таким чином, основними результатами роботи є розробка комплексу методів ІАОД, які орієнтовані на підготовку педагогів професійного навчання. Такі методи враховують потребу у застосуванні в освітньому процесі методів цифрової обробки зображень та штучного інтелекту. Інтеграція нечіткої логіки з методами кластеризації даних, сегментації зображень та детектування об'єктів на зображеннях дозволила ефективно обробляти освітні дані навіть з певним ступенем невизначеності. Розроблені методи практично застосовані в освітньому процесі, зокрема, при виконанні STEM-проєктів.

Список використаних джерел

1. 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: 10.1016/j.tele.2019.01.007
2. 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.
3. 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



4. 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: 10.5281/zenodo.3554658
5. R. Baker et al. Data mining for education. *International encyclopedia of education*. 2010. Vol. 7. P. 112–118.
6. Lytvyn V., Lozynska O., Uhryn D., Vovk M., Ushenko Y., Hu Z. Information Technologies for Decision Support in Industry-Specific Geographic Information Systems based on Swarm Intelligence. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol. 15, № 2. P. 62–72. DOI: 10.5815/ijmeecs.2023.02.06
7. Wijayawardena A. S. K., Abeysekera R., Maduranga M. W. P. A. A Systematic Review of 3D Metaphoric Information Visualization. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol. 15, № 1. P. 73–93. DOI:10.5815/ijmeecs.2023.01.06
8. Russ J. C. *The Image Processing Handbook*. Taylor and Francis Group, 2011.
9. Z. Yang, J. Yang et al. Using convolutional neural network to recognize learning images for early warning of at-risk students. *IEEE Trans Learn Technol*. 2020. Vol. 13, №. 3. P. 617–630. DOI: 10.1109/TLT.2020.2988253
10. Loan D. T. T. et al. Analyzing Students' Performance Using Fuzzy Logic and Hierarchical Linear Regression. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2024. Vol. 16, № 1. P. 1–10. DOI:10.5815/ijmeecs.2024.01.01
11. Peleshchak R. et al. Data Clustering by Chaotic Oscillatory Neural Networks with Dipole Synaptic Connections. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2024. Vol.16, № 3. P. 27–38. DOI: 10.5815/ijmeecs.2024.03.03



12. 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:10.5815/ijmecs.2023.06.03
13. Derevyanchuk O. V., Balovsyak S. V. Certificate of copyright registration for the work, No. 123369, 31.01.2024. ID CR3206310124. Computer program “Data clustering using fuzzy logic” (“ClusterFuzzy23”). *Ukrainian National Office for Intellectual Property and Innovations (IP Office)*. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/services/original-document/>
14. Balovsyak S., Derevyanchuk O., Kovalchuk V., Kravchenko H., Kozhokar M. Face Mask Recognition by the Viola-Jones Method Using Fuzzy Logic. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*. 2024. Vol. 16, № 3. P. 39–51. DOI: 10.5815/ijigsp.2024.03.04
15. Биков В. Ю., Пінчук О. П., Лупаренко Л. А. Представленість наукового контенту енциклопедичної тематики у наукометричних і реферативних базах даних. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. Т. 5, № 85. С. 360–383.
16. Bykov V., Mikulowski D., Moravcik O., Svetsky S., Shyshkina M. The use of the cloud-based open learning and research platform for collaboration in virtual teams. *Information Technologies and Learning Tools*. 2020. Vol. 76, № 2. P. 304–320.
17. Биков В., Буоров 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
18. 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.*
19. Kovalchuk V., Soroka V. Training of specialists in the motor vehicle profile in conditions of digitalization. *Pedagogical concept and its features, social work and linguology: Collective Scientific Monograph. Dallas: Primedia eLaunch, (Edition 2). 2021. С. 2–20. DOI: 10.36074/pcaifswal.ed-2/*
 20. Kovalchuk V., Androsenko A., Derevyanchuk O., Volkova N., Piven Y. Development of pedagogical skills of students of technology and pedagogical specialties using STEM technologies. *Edelweiss Applied Science and Technology. 2024. Vol. 8, № 4. P. 498–506. DOI: 10.55214/25768484.v8i4.1125*
 21. Pavlenko O., Velykodnyi D., Lavrentieva O., Filatov S. The Procedures of Logistic Transport Systems Simulation in the Petri Nets Environment. *CEUR Workshop Proceedings. 2020. № 2732. P. 854–868. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200854.pdf>*
 22. Kovalchuk V. I., Maslich S. V., Movchan L. G., Lytvynova S. H., Kuzminska O. H. Digital transformation of vocational schools: Problem analysis. *CEUR Workshop Proceedings. 2022. № 3085. P. 107–123.*
 23. 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: 10.5430/jct.v11n8p329*
 24. 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: 10.1088/1742-6596/1946/1/012021*
 25. Kuzminska O., Mazorchuk M., Morze N., Kobylin O. Digital learning environment of ukrainian universities: The main components to influence the



- competence of students and teachers. In *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications: 15th International Conference, ICTERI 2019, Kherson, Ukraine, June 12–15, 2019, Revised Selected Papers 15*. Springer International Publishing. 2020. P. 210–230.
26. 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.
27. Pinchuk O. P., Sokolyuk O. M., Burov O. Y., Shyshkina M. P. Digital transformation of learning environment: aspect of cognitive activity of students. 2019.
28. Спирін О. М. Цифровізація освіти, освітнього процесу. *Енциклопедія освіти*. 2021. С. 1099–1100.
29. 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.*
30. Semerikov S. O., et al. Design methodology for immersive educational resources. *Educational Dimension*. 2022. № 58. P. 76–199. DOI: 10.31812/educdim.4716
31. Papadakis, S. et al. Revolutionizing education: using computer simulation and cloud-based smart technology to facilitate successful open learning. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3358. P. 1–18.
32. Kovalchuk V., Soroka V. Developing digital competency in future masters of vocational training. *Professional Pedagogics*. 2020. № 1. P. 96–103.



33. Kovalchuk V., Tkachenko N., Soroka V., Tomash V., Kovalchuk A. Forming and Developing Future Masters' of Industrial Training of Motor Transport Profile Readiness for Applying Digital Technologies in the Conditions of Education Digitalization. *International journal of computer science and network security*. 2022. Vol. 5, № 22. P. 559–564. DOI: 10.22937/IJCSNS.2022.22.5.77
34. Sarsa S., Leinonen J., Hellas A. Empirical Evaluation of Deep Learning Models for Knowledge Tracing: Of Hyperparameters and Metrics on Performance and Replicability. *Journal of Educational Data Mining*. 2022. Vol. 14, № 2. DOI: 10.5281/zenodo.7086179
35. Nayak P. et al. Predicting students' academic performance by mining the educational data through machine learning-based classification model. *Education and Information Technologies*. 2023. Vol. 28. P. 14611–14637. DOI: 10.1007/s10639-023-11706-8
36. Delianidi M., Diamantaras K. KT-Bi-GRU: Student Performance Prediction with a Bi-Directional Recurrent Knowledge Tracing Neural Network. *Journal of Educational Data Mining*. 2023. Vol. 15, № 2. P. 1–21. DOI: 10.5281/zenodo.7808087
37. Ahmad N. et al. Students' Performance Prediction using Artificial Neural Network. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1176. P.1–8. DOI: 10.1088/1757-899X/1176/1/012020
38. Moez Ali. Clustering in Machine Learning: 5 Essential Clustering Algorithms. URL: <https://www.datacamp.com/blog/clustering-in-machine-learning-5-essential-clustering-algorithms>
39. Wang M., Wei X. Research on Logistics Center Location-Allocation Problem Based on Two-Stage K-Means Algorithms. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*, Hu, Z., Petoukhov, S., Dychka, I., He, M. (Eds.),



- Springer International Publishing*. 2021. Vol. 1247. P. 52–62. DOI: 10.1007/978-3-030-55506-1_5
40. Mohamed Nafuri A. F. et al. Clustering Analysis for Classifying Student Academic Performance in Higher Education. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 19. P. 9467. DOI: 10.3390/app12199467
41. Gono D. A. R. et al. Multi-relational Matrix Factorization Approach for Educational Items Clustering. *International Journal of Information and Education Technology*. 2023. Vol. 13, № 1. P. 42–47. DOI: 10.18178/ijiet.2023.13.1.1778
42. Balovsyak S. V., Odaiska Kh. S. Automatic Determination of the Gaussian Noise Level on Digital Images by High-Pass Filtering for Regions of Interest. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 54, № 4. P. 662–670. 2018. DOI: 10.1007/s10559-018-0067-3
43. Balovsyak S. V., Derevyanchuk O. V., Fodchuk I. M., Kroitor O. P., Odaiska Kh. S., Pshenychnyi O. O., Kotyra A., Abisheva A. Adaptive oriented filtration of digital images in the spatial domain. *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. 2019. Vol. 11176. P. 111761A-1–111761A-6. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2537165>
44. Balovsyak S. V., Derevyanchuk O. V., Fodchuk I. M. Method of calculation of averaged digital image profiles by envelopes as the conic sections. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*. 2019. Vol. 754. P. 204–212. DOI: 10.1007/978-3-319-91008-6_21
45. Derevyanchuk O. V., Kovalchuk V. I., Kramar V. M., Kravchenko H. O., Kondryuk D. V., Kovalchuk A. V., Onufriichuk B. V. Implementation of STEM education in the process of training of future specialists of engineering and



- pedagogical specialties. *Proceedings of SPIE*. 2024. Vol. 12938. P. 214–217. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3012996>
46. Balovsyak, S. V., Derevyanchuk, O. V., Kravchenko, H. O., Kroitor, O. P., Tomash, V. V. Computer system for increasing the local contrast of railway transport images. *Proc. SPIE, Fifteenth International Conference on Correlation Optics*. 2021. Vol. 12126. P. 121261E1–7. DOI: 10.1117/12.2615761
47. Balovsyak S. V., Derevyanchuk O. V., Tomash V. V., Yarema S. V. Segmentation of railway transport images using fuzzy logic. *Trans Motauto World*. 2022. V. 7, № 3. P. 122–125. URL: <https://stumejournals.com/journals/tm/2022/3/122>
48. Дерев'яничук Олександр. Розвиток технічних навичок здобувачів вищої освіти в процесі побудови прототипу системи сегментації зображень транспортних засобів. *Молодь і ринок*. 2024. Вип. 221. Том 1. С. 105–111. DOI: 10.24919/2308-4634.2024.296388
49. Derevyanchuk O. Use of intelligent fuzzy image segmentation systems in the professional training of future specialists in engineering and pedagogical fields. *Professional Pedagogics*. 2024. № 1(28). P. 103–115. DOI: 10.32835/2707-3092.2024.28.103-115
50. Balovsyak S., Derevyanchuk O., Kovalchuk V., Kravchenko H., Kozhokar M. Face Mask Recognition by the Viola-Jones Method Using Fuzzy Logic. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*. 2024. Vol.16, No.3. P. 39–51. DOI:10.5815/ijigsp.2024.03.04
51. Panchenko S., Lovska A., Ravlyuk V., Babenko A., Derevyanchuk O., Zharova O., Derevianchuk Y. Detecting the influence of uneven loading of the brake shoe in a freight car bogie on its strength. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 5/7 (125). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287791



52. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Rybin A. Method for determining the factor of dual wedge-shaped wear of composite brake pads for freight wagons. *Communications. Scientific Letters of the University of Zilina*. 2024. Vol. 26, № 1. P. B31–B40. DOI: 10.26552/com.C.2024.006
53. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Dižo J., Harušinec J. Study on the Strength of the Brake Pad of a Freight Wagon under Uneven Loading in Operation. *Sensors*. 2024. Vol. 24, № 2. DOI: 10.3390/s24020463
54. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Harušinec J. Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2023. Vol. 4. P. 155 – 167. DOI: 10.21303/2461-4262.2023.002994
55. Yadav N., Sinha A. Augmented Reality and its Science. *International Journal of Education and Management Engineering (IJEME)*. 2022. Vol. 12, № 6. P. 33–44. DOI:10.5815/ijeme.2022.06.04
56. Segura M., Osorio R., Zavala A. Extended Reality Model for Accessibility in Learning for Deaf and Hearing Students (Programming Logic Case). *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1–17. DOI:10.5815/ijmeecs.2023.04.01
57. Li Y., Xiao Y. Authorship and topic trends in STEM education research. *International Journal of STEM Education (IJSTEM)*. 2022. Vol. 9, № 62. P. 1–7.
58. Li Y., Xiao Y. et al. A systematic review of high impact empirical studies in STEM education. *International Journal of STEM Education (IJSTEM)*. 2022. Vol. 9, № 72. P. 1–18.
59. Merchant S., Morimoto, Emiko T. A., Khanbilvardi R. An Integrated STEM Learning Model for High School in Engineering Education. *Integrated Stem*



- Education Conference (ISEC), [Princeton, NJ, 8-8 March 2014].* P. 4–9. DOI: 10.1109/ISECon.2014.6891036
60. Derevyanchuk O.V., Kovalchuk V.I., Kramar V.M., Kravchenko H.O., Kondryuk D.V., Kovalchuk A.V., Onufriichuk B.V. Implementation of STEM education in the process of training of future specialists of engineering and pedagogical specialties. *Proceedings of SPIE.* 2024. Vol. 12938. P. 214–217. DOI: 10.1117/12.3012996
61. Kovalchuk V., Shevchenko L., Iermak T., Chekaniuk K. Computer Modeling as a Means of Implementing Project-Based Activities in STEM-Education. *Open Journal of Social Sciences.* 2021. № 9. P. 173–183. DOI: 10.4236/jss.2021.910013
62. Дерев'яничук Олександр. Реалізація STEM-проєкту «Моделювання просторових зображень правильних багатогранників» як засіб розвитку творчого мислення здобувачів освіти. *Молодь і ринок.* 2024. Вип. 223. Том 3. С. 91–100. DOI: 10.24919/2308-4634.2024.301904
63. Дерев'яничук Олександр. Розвиток у майбутніх фахівців інженерно-педагогічних спеціальностей навичок моделювання при виконанні STEM-проєктів. *Молодь і ринок.* 2024. Вип. 226. Том 6. С. 128–141. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2024.307854>
64. Дерев'яничук Олександр. Розробка моделі нечіткої когнітивної карти для створення STEM-проєктів у професійній підготовці майбутніх фахівців інженерно-педагогічних спеціальностей. *Вісник Університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і психологія». Педагогічні науки.* 2023. Вип. 26, № 2. С. 160–169. DOI: 10.32342/2522-4115-2023-2-26-16
65. Castro F., Vellido A., Nebot A., Mugica F. Applying data mining techniques to e-learning problems. *Evolution of teaching and learning paradigms in intelligent environment.* Springer. P. 183–221, 2007.



66. Algarni A. Data Mining in Education. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 2016. Vol. 7, № 6. P. 456–461.
67. Romero C., Ventura S. Data mining in education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data mining and knowledge discovery*. 2013. Vol. 3, № 1. P. 12–27. DOI: 10.1002/widm.1075
68. Qasem M. H., Qaddoura R., Hammo B. Educational Data Mining (EDM): A Review. *Conf. New Trends in Information Technology (NTIT)-2017, 25–27 April 2017, The University of Jordan, Amman, Jordan*. 2017. P. 149–156.
69. Zhou Q., et al. Predicting high-risk students using internet access logs. *Knowledge and Information Systems*. 2018. Vol. 55, № 2. P. 393–413. DOI: 10.1007/s10115-017-1086-5
70. Batool S. et al. Educational data mining to predict students' academic performance: A survey study. *Educ. Inf. Technol.* 2023. Vol. 28. P. 905–971, DOI: 10.1007/s10639-022-11152-y
71. Alamgir Z., Akram H., Karim S., Wali A. Enhancing Student Performance Prediction via Educational Data Mining on Academic data. *Informatics in Education*. 2024. Vol. 23, № 1. P. 1–24. DOI: 10.15388/infedu.2024.04
72. Li X., Zhang Y., Cheng H., et al. Student achievement prediction using deep neural network from multi-source campus data. *Complex & Intelligent Systems*. 2022. Vol. 8. P. 5143–5156. DOI: 10.1007/s40747-022-00731-8
73. Thammarak K., Kesornsit W., Sirisathitkul Y. Predictive Model for Academic Training Course Recommendations Based on Machine Learning Algorithms. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. Vol. 16, № 3. P. 17–26, 2024. DOI: 10.5815/ijmeecs.2024.03.02
74. Ahuja R., Jha A., Maurya R., Srivastava R. Analysis of Educational Data Mining. In *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms*, Springer: Singapore. 2019. P. 897–907. DOI: 10.1007/978-981-13-0761-4_85



75. Omar T., Alzahrani A., Andzohdy M. Clustering approach for analyzing the student's efficiency and performance based on data. *Journal of Data Analysis and Information Processing*. 2020. Vol. 8, № 03. P. 171–182. DOI: 10.4236/jdaip.2020.83010
76. Öztürk A., Aydın S. Segmenting Learners in Online Learning Environments. In *The Online, Open and Flexible Higher Education Conference*. 2015. P. 29–39.
77. Деревянчук 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: 10.54929/2786-9199-2024-4-09-01
78. Hooda D.S., Vivek Raich. Fuzzy Logic Models. An Introduction. U.K. Oxford: Alpha Science International Ltd, 2017.
79. Fayek A. R. Fuzzy Logic and Fuzzy Hybrid Techniques for Construction Engineering and Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2020. Vol. 146, № 7. P. 1–12. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001854