

УДК 004.8: 378

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.5>

Євгеній КЛИМЕНКО

здобувач PhD за спеціальністю «Комп'ютерні науки»,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, ye.klymenko@nubip.edu.ua

ORCID: 0009-0006-6353-6015

Олена ГЛАЗУНОВА

науковий керівник, доктор педагогічних наук,

професор кафедри інформаційних систем і технологій,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, o-glazunova@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0136-4936

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ОСВІТНІХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. Досліджено можливості імплементації Data mining в освітню аналітику, виділені основні напрямки інтелектуального аналізу освітніх даних в рамках взаємодії учасників освітнього процесу. Використання систем електронного навчання в освітньому процесі призводить до накопичення великих обсягів освітніх даних та цифрових слідів здобувачів освіти. Застосування методів інтелектуального аналізу освітніх даних (Educational Data Mining) для аналізу цієї інформації, прогнозування та її візуалізації у вигляді інтерактивних звітів дозволяє виявляти приховані знання та закономірності, що значно покращують підготовку майбутніх фахівців. **Метою роботи** є дослідження розвитку інтелектуального аналізу освітніх даних, основних задач і методів інтелектуального аналізу для виявлення перспективних напрямів його застосування в інформаційних системах і технологіях електронного навчання закладів вищої освіти. **Методологія.** На основі аналізу літературних джерел зроблено огляд основних задач та виявлено етапи проведення інтелектуального аналізу освітніх даних з метою підвищення ефективності процесу навчання у вищій професійній освіті. Засобами системного аналізу запропоновано схему процесу роботи з великими даними, що продукуються системами електронного навчання. Проведено огляд та обґрунтовано актуальність застосування методів Data Mining у вищій освіті. **Наукова новизна дослідження** полягає в обґрунтуванні схеми інформаційної технології з використанням методів інтелектуального аналізу даних, отриманих з LMS для оптимізації освітніх процесів та прогнозування траєкторій студентів. **Висновки.** Доведено, що розробка інформаційних технологій на основі використання методів інтелектуального аналізу даних при впровадженні систем електронного навчання сприяє вирішенню задач, пов'язаних із розумінням поведінки студентів, поліпшенням якості електронних курсів, вдосконаленням методик навчання, зменшенням витрат на організацію процесу навчання та визначає подальші напрями освітньої аналітики відповідно до загальноосвітніх тенденцій.

Ключові слова: система електронного навчання, інтелектуальний аналіз освітніх даних; навчальна аналітика, інформаційні технології.

Yevhenii KLYMENKO, Olena HLAZUNOVA. METHODS EDUCATIONAL DATA MINING IN E-LEARNING SYSTEMS

Abstract. The possibilities of implementing data mining in educational analytics are investigated, the main directions of intellectual analysis of educational data in the framework of interaction of participants in the educational process are highlighted. The use of e-learning systems in the educational process leads to the accumulation of large volumes of educational data and digital footprints of students. The use of Educational Data Mining methods for analyzing this information, forecasting and visualizing it in the form of interactive reports allows to reveal hidden knowledge and patterns that significantly improve the training of future professionals. **The purpose of the work** is to investigate the development of intellectual analysis of educational data, the main tasks and methods of intellectual analysis to identify promising areas of its application in information systems and e-learning technologies of higher education institutions. **Methodology.** Based on the analysis of literature sources, the main tasks are reviewed and the stages of intellectual analysis of educational data are identified in order to improve the efficiency of the learning process in higher professional education. By means of system analysis, a scheme of the process of working with big data generated by e-learning systems is proposed. The relevance of using Data Mining methods in higher education is reviewed and substantiated. **The scientific novelty of the study** is to substantiate the scheme of information technology using data mining methods obtained from LMS to optimize educational processes and predict student trajectories. **Conclusions.** It is proved that the development of information technology based on the use of data mining methods in the implementation of e-learning systems contributes to solving problems related to understanding student behavior, improving the quality of e-courses, improving teaching methods, reducing the cost of organizing the learning process and determining further directions of educational analytics in accordance with global trends.

Key words: e-learning system, Educational Data Mining; learning analytics, information technology.

Вступ. Постановка проблеми. Розвиток електронних освітніх технологій в умовах інформатизації суспільства призводить до значного збільшення кількості навчальних закладів, що впроваджують системи електронного навчання поряд з традиційними методами освіти. Така інтеграція інноваційних

електронних та традиційних засобів, форм і методів навчання надає численні переваги як викладачам, так і студентам, забезпечуючи інтерактивне спілкування та доступ до навчальних матеріалів незалежно від місця і часу. Інноваційне оновлення засобів, методів і форм навчання також призводить до появи нових інструментів для їх аналізу. Використання методів комп'ютерної аналітики для аналізу електронних освітніх даних сприяє виявленню прихованих знань, що дозволяє вдосконалювати вищу професійну освіту в країні. Впровадження систем електронного навчання в освітній процес супроводжується накопиченням великих обсягів інформації про освітній процес та цифровий слід викладачів і студентів. Застосування методів інтелектуального аналізу освітніх даних (Educational Data Mining) для аналізу цієї інформації та її візуалізації у вигляді інтерактивних звітів дозволяє виявляти приховані знання та закономірності, що значно покращують професійну підготовку майбутніх фахівців. Нині інструменти аналізу даних відіграють ключову роль у вдосконаленні та оптимізації процесів у різних сферах бізнесу. Великий діапазон зібраних даних спричинив зростання інтересу та необхідність аналізу даних для підтримки прийняття рішень на всіх рівнях освітньої організації. У зв'язку з цим багато компаній, організацій та вищих навчальних закладів використовують програмні засоби, що витягують дані з усіх університетських систем та надають узагальнені дані у відповідному форматі для кожної групи зацікавлених сторін. Сьогодні навчальні заклади майже без винятку застосовують численні програмні комплекси для автоматизації поточних процесів у всіх основних сферах (прийом студентів, навчання, супровід студентів, забезпечення якості, управління тощо).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні дослідження у сфері використання інтелектуального аналізу в системах електронного навчання проводяться за двома науковими напрямками: інтелектуальний аналіз освітніх даних (Educational Data Mining – EDM) та освітня аналітика (Learning Analytics – LA). Аналіз наявних наукових досліджень у галузі Educational Data Mining дозволив виявити, що даний напрям інтенсивно опрацьовується зарубіжними науковцями, які досліджують різносторонні аспекти використання інтелектуального аналізу освітніх даних, пов'язані зі специфікою та особливостями використання методів Data Mining з метою підвищення ефективності у системах електронного навчання [7,9,13]. Чисельні дослідження зарубіжних науковців стосуються особливостей застосування методів інтелектуального аналізу (DM) в сфері надання освітніх послуг з метою надання рекомендацій студентам та викладачам, моделювання поведінки та профілю студентів, здійснення прогнозування освітніх траєкторій студентів та їх успішності [12,16-17]. Всебічного дослідження інтелектуального аналізу освітніх даних набули ці проблеми і в працях українських науковців як з педагогіки, так і з технічних наук, досліджуючи застосування методів Data Mining для підтримки прийняття рішень в освітній сфері для менеджменту якості освіти та адаптивного навчання, для підтримки інтерактивної діяльності всіх суб'єктів освітнього процесу. Вітчизняні дослідження у сфері інтелектуального аналізу освітніх даних, зокрема зосереджені на дослідженнях сучасного стану та перспектив розвитку Educational Data Mining, підготовки майбутніх фахівців з IT до здійснення освітньої аналітики, оптимізації й аналізу використання Big Data LMS Moodle, використання систем Data Mining для прогнозування освітніх траєкторій [1-3, 14-15]. Однак певні аспекти такого аналізу вивчені недостатньо та потребують подальшого дослідження.

Впродовж останніх років досвід експлуатації систем електронного навчання в вищій школі (Moodle, Sakai, Blackboard та ін.) виявив певні суттєві недоліки, що негативно впливають на ефективність електронного та змішаного навчання. До них можна віднести погіршення та ослаблення зв'язку між студентом та викладачем, обумовлене суттєвим зменшенням їх безпосереднього спілкування [5-6]. Це в свою чергу, знижує можливості викладача для отримання комплексного уявлення про проміжні успіхи та проблеми студента та можливості студента для формування ефективної індивідуальної траєкторії навчання у процесі вивчення окремої дисципліни.

Разом з тим, дослідження у сфері інтелектуального аналізу освітніх даних є недостатньо системні та розрізнені. Не вирішена проблема якісних та кількісних освітніх вимірів, не недостатньо дослідженими є питання впровадження інтелектуального аналізу в освітню практику закладів вищої освіти. Все це, безумовно, посилює необхідність проведення подальших наукових досліджень щодо застосування методів та розв'язання задач Data Mining у вищій освіті у системах електронного навчання.

Метою статті є дослідження розвитку інтелектуального аналізу освітніх даних, основних задач і методів інтелектуального аналізу для виявлення перспективних напрямів його застосування у системах електронного навчання закладів вищої освіти.

Виклад основного матеріалу. Суть та мету технології Data Mining можна охарактеризувати так: це технологія, яка призначена для пошуку у великих обсягах даних неочевидних, об'єктивних і корисних на практиці закономірностей. Неочевидних – означає, що знайдені закономірності не виявляються стандартними методами обробки інформації або експертним шляхом. Об'єктивних – означає, що

виявлені закономірності будуть повністю відповідати дійсності, на відміну від експертної думки, яка завжди є суб'єктивним. Практично корисних – означає, що висновки мають конкретне значення, котрому можна знайти практичне застосування. Знання – сукупність відомостей, яка утворює цілісний опис, відповідне деякому рівню обізнаності про описуване питання, предмет, проблему тощо. Використання знань означає дійсне застосування знайдених знань для досягнення конкретних переваг (наприклад, в конкурентній боротьбі за ринок). Можливості імплементації великих даних в освіті визначаються джерелами збору даних та етапами обробки цих даних з використанням програмних комплексів та математичних методів для отримання результатів з метою прогнозування певних чинників освітнього процесу. Джерелами надходження даних є системи управління навчанням (Learning Management system, LMS), інформаційні системи для студентів (SIS), освітні програми та інструменти, соціальні медіа та онлайн-спільноти, відкриті освітні ресурси, IoT.

Платформи LMS, такі як Blackboard, Canvas і Moodle, Google Classroom та ін. збирають і зберігають дані, пов'язані з опануванням студентами змісту курсів, оцінюванням і обговореннями, надаючи дані про залученість студентів, результативність освітнього процесу і навчальну поведінку. Платформи SIS, такі як PowerSchool, Infinite Campus і Skyward, збирають і зберігають дані, що характеризують студентів, процес зарахування, відвідуваність, оцінки й іншу адміністративну інформацію, яку можна використовувати для різноманітних аналітичних цілей [10]. Освітні програми й інструменти (адаптивні навчальні платформи, онлайн-системи репетиторства та віртуальні навчальні середовища) генерують дані про взаємодію, успішність і уподобання студентів, доцільні для персоналізації навчального досвіду та покращення результатів освіти. Соціальні медіа-платформи, онлайн-спільноти та дискусійні форуми генерують дані про взаємодію студентів, співпрацю та поведінку в соціальному навчанні, що дозволить сформулювати уявлення про залучення студентів, соціальну динаміку та результати навчання. Цифрові підручники, відео та інтерактивне моделювання у стають джерелами даних про залученість студентів, використання вмісту навчальних матеріалів та результати навчання й потрібні для розробки персоналізованих підходів до навчання. [10] Такий підхід розробки інформаційної технології працює відповідно до процесу, наведеного на рисунку 1.

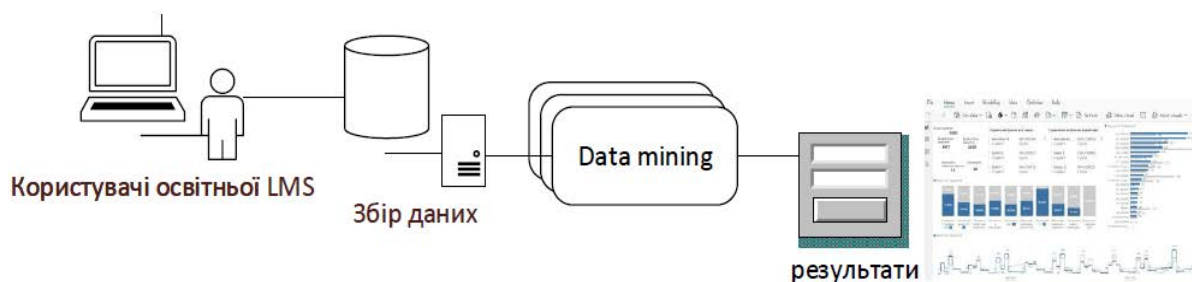


Рис. 1. Принципова схема процесу Educational Data Mining

Усі види взаємодії студентів у середовищі Moodle (наприклад, перегляд, видалення, створення, оновлення, надсилання повідомлень) записуються в бази даних. У дослідженнях аналізу даних попередня обробка зібраних даних є важливою перед переходом до етапу аналізу. Мета цього етапу полягає в покращенні якості даних і виділенні оптимальних характеристик для подальшого Data Mining. Інтелектуальний аналіз даних виконується за допомогою мов програмування R, Python на основі статистичних методів та машинного навчання.

Застосування методів і технологій Data Mining дає змогу розв'язати такі задачі [4,11]: класифікація (Classification); кластеризація (Clustering); асоціація (Associations); послідовність (Sequence), або послідовна асоціація (sequential association); прогнозування (Forecasting); визначення відхилень (Deviation Detection), аналіз відхилень або викидів; оцінювання (Estimation); аналіз зв'язків (Link Analysis); візуалізація (Visualization, Graph Mining); підбивання підсумків (Summarization) – опис конкретних груп об'єктів за допомогою аналізованого набору даних.

Технології Data Mining використовують велике число методів, частина з яких запозичена з інструментарію штучного інтелекту, іншу частину складають або класичні статистичні методи, або інноваційні методи, пов'язані з використанням інформаційних технологій та систем. Перший рівень методів Data Mining базується на тому, чи зберігаються дані після опрацювання, чи вони трансформуються для подальшого використання. На рис. 2. показано ієрархію методів Data Mining, де відображені тільки основні напрямки методів, причому розгалуження можна продовжувати, через те, що низка наведених методів, включають багато різновидів.

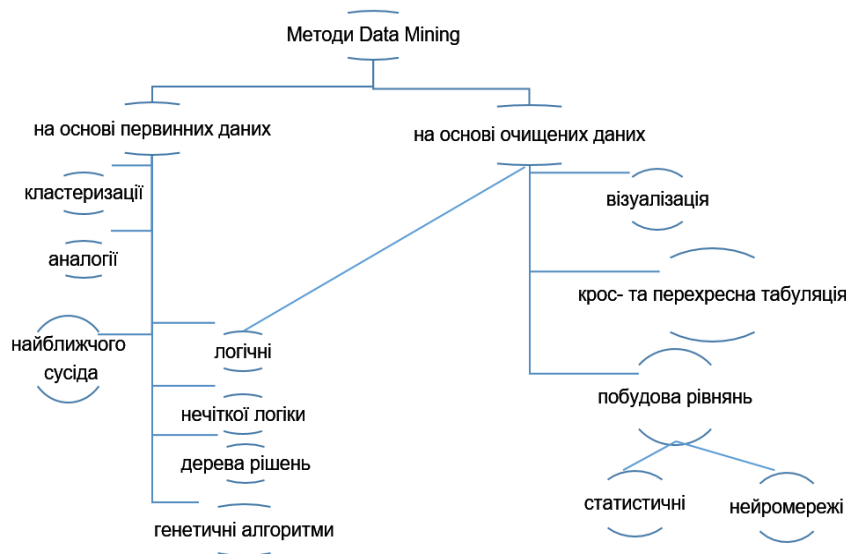


Рис. 2. Ієрархія методів Data Mining

Використання методів Data Mining для аналізу освітньої інформації стосовно діяльності суб'єктів навчання у системах електронного навчання досліджується у рамках відносно нового наукового напрямку Educational Data Mining – інтелектуального аналізу освітніх даних. Educational Data Mining як галузь Data Mining носить міждисциплінарний характер, поєднуючи статистичні та кібернетичні методи дослідження зі сферою освіти, що супроводжується формуванням оновленого категорійно-понятійного дидактичного апарату стосовно електронного навчання.

У результаті проведеного аналізу було встановлено, що інтелектуальний аналіз освітніх даних є синтезом методів та засобів для розуміння й прогнозування освітніх ситуацій та розробки й використання програмного забезпечення для їх реалізації.

Для дослідження у сфері інтелектуального аналізу освітніх даних використовують традиційні методи Data Mining: класифікацію, кластеризацію, виявлення взаємозв'язків, моделювання, пошук асоціативних правил та послідовних шаблонів, Text Mining (інтелектуальний аналіз текстів), Visual Mining. Однак реалізація цих методів в освітній сфері для аналізу цифрових даних стосовно процесів навчання має свої особливості, обумовлені цілями аналізу та специфікою даних, які аналізуються. Тут потенційним джерелом знань для дослідника все частіше є як адміністративні бази освітніх даних рівня навчального закладу, регіону чи держави, так і Web, і, звичайно ж, бази даних і лог-файли різноманітних систем комп'ютерної підтримки навчання – CMS, LMS, ITS, системи комп'ютерного адаптивного навчання, тестування рівня навчальних досягнень тощо. Інформація про діяльність студента у середовищі електронного навчання представлена у вигляді цифрових слідів, які містять: 1) дані про дії у системі: ідентифікація користувача, час доступу, дія та засіб з навчальним контентом, який використовувався; 2) академічні дані: підсумкова оцінка за курс, поточні оцінки; 3) час сеансу; 4) рівень активності студента.

Освітні дані, що підлягають аналізу, зазвичай мають складну структуру чи слабоструктуровані, представлені в різних системах навчання та є не завжди зрозумілими для працівників сфери освіти, оскільки вони є цифровими слідами, залишеними у логах та базах даних і стосуються різних активностей студентів у середовищі електронного навчання:

- сторінка, через яку студент авторизується на сайт освітньої системи, і через яку залишає сайт;
- сторінки, які студенти відвідують найчастіше і найбільше;
- кількість відвідувань і кількість відвідувачів сторінки електронної системи навчання чи певних її ресурсів;
- частота відвідувань у часі (у вигляді часового ряду) – для сайту загалом та для окремої сторінки;
- геолокація місця, звідки студент входить до електронної системи навчання та час з'єднання;
- число відвідувань та їх тривалість для окремого студента за певний період часу певних ресурсів;
- число переглядів/скачувань навчального контенту;
- число різних ресурсів і діяльностей з освітнім матеріалом, переглянутих (відвіданих, прочитаних, скачаних) студентом за сеанс роботи або за більш тривалий період часу;

- статистичні показники спілкування на форумі освітньої системи, кількість звернень з питаннями до викладача;
- бали, отримані студентом за виконання певного навчального завдання, проміжний та підсумковий контроль;
- обсяг навчального контенту, який студент вивчає перед виконанням окремого завдання.

Процес інтелектуального аналізу освітньої інформації у системах електронного навчання містить наступні етапи:

- етапу відбору даних: на цьому етапі відбувається ретельний відбір даних за обраним критерієм включаючи доступність даних, їх якість, тип і формат, а також семантику;
- етапу попередньої обробки: на цьому етапі здійснюється вибір підходящих стратегій по масштабуванню й нормалізації характеристик даних, а також вибір стратегії для обробки відсутніх значень атрибутів;
- етапу трансформації даних: на цьому етапі використовуються методики по зменшенню розмірності даних;
- власне етапу Data Mining - видобутку знань: на цьому етапі здійснюється застосування алгоритмів інтелектуального аналізу освітніх даних;
- етапу інтерпретації й оцінки.

Основні зусилля при проведенні інтелектуального аналізу освітніх даних направлені на адекватну підготовку та обробку даних перед тим, як до них будуть застосовані певні алгоритми аналізу.

Здійснений огляд публікацій з Educational Data Mining дозволив виділити основні напрями досліджень у цій сфері [6-8,9,13]:

- аналіз і візуалізація даних;
- синтез зворотного зв'язку між студентом та викладачем;
- прогнозування та вироблення рекомендацій з навчання;
- класифікація й кластеризація даних;
- генерація асоціативних правил;
- аналіз взаємозв'язків;
- моделювання поведінки студента в навчальних ситуаціях;
- перетворення складних даних до виду, зрозумілого для людини, для їх подальшого використання у людських судженнях;
- планування й оперативне керування освітнім процесом.

Застосування окремих методів Data Mining для аналізу такого роду інформації дозволяє виявляти приховані закономірності та знання, які традиційними методами аналізу отримані бути не можуть [8]. Кожен з методів призначений для розв'язання певної задачі, серед яких можна виділити основні задачі, результати та методи Data Mining (табл. 1).

Візуалізація дозволяє у зрозумілому для сприйняття вигляді відобразити інтегровану інформацію стосовно процесів, пов'язаних за навчанням у середовищах електронного навчання. Виявлення зв'язків дозволяє моделювати освітні процеси та використовувати побудовані моделі для прогнозування майбутньої поведінки студентів при вивченні курсу, виявляти студентів, які мають ризики.

Кластеризація в системах електронного навчання застосовуються зазвичай для розбивки студентів на групи, які характеризуються близькими значеннями деяких числових або якісних показників. Це дозволяє структурувати дані у випадку, коли їх структура невідома. Наприклад, студенти можуть бути розбиті на групи по подібності освітніх програм, кваліфікації, спільності цілей або інтересів, мережеві активності тощо. Для цього використовуються методи кластеризації, розроблені в прикладній статистиці, кластерному аналізі й обчислювальній математиці: ієрархічні алгоритми, алгоритм К-середніх, нечіткі алгоритми кластеризації, нейронні мережі.

Класифікація також дозволяє розбивати дані, які аналізуються, на групи споріднених об'єктів, однак кількість таких груп відома наперед. Наприклад, для відображення підсумкової успішності студентів при вивченні курсу можна виділити 3-5 груп студентів в залежності від загальної кількості балів, які вони набрали під час вивчення курсу та від їх активності у системі електронного навчання. А потім досліджувати особливості кожної групи. Для здійснення класифікації використовують алгоритми k-ближніх сусідів, Байеса, покриття, дерева рішень, метод опорних векторів, нейронні мережі.

Асоціативні правила застосовуються для формалізації шаблонів поведінки студента в електронному навчальному середовищі. З їх допомогою створюються типові траєкторії навчання й структури курсу, орієнтовані на цільову аудиторію або окремих споживачів освітніх послуг. Для розв'язання таких задач застосовується апарат нечіткої математики, алгоритм Apriori.

Таблиця 1

Задачі Data Mining та освітньої аналітики

Задача аналізу	Результати	Методи, що забезпечують вирішення задачі
Класифікація	Встановлення чітких кількісних, статистично значимих залежностей між вхідними і дискретними вихідними змінними, які характеризують процес навчання, що дає можливість провести класифікацію об'єктів до одного зі заздалегідь відомих класів. Це дозволяє здійснювати класифікацію студентів залежно від їх попередньої чи поточної успішності чи активності у системі LMS та класифікацію ресурсів навчання	дискримінантний аналіз, Naive Bayes, k-ближніх сусідів, дерева рішень, нейронні мережі.
Прогнозування	задача передбачення значення досліджуваної величини, на основі відомих попередніх значень, що характеризують процес навчання та суб'єктів навчання. У процесі аналізу освітніх даних це дозволяє моделювати та прогнозувати поведінку студентів у процесі навчання та встановлювати залежність між іншими величинами, що стосуються електронного навчання.	методи математичної статистики, нейронні мережі, часові ряди.
Кластеризація	групування об'єктів на основі різноманітних даних, що описують їх сутність. Результатом кластеризації є поділ об'єктів, які стосуються навчання, на групи споріднених, схожих об'єктів – кластери. Задача кластеризації є логічним продовженням ідеї класифікації, однак при проведенні кластеризації кількість кластерів заздалегідь невідома і визначається у процесі аналізу.	методи ієрархічного кластерного аналізу, методи k-середніх та c-середніх.
Пошук асоціативних правил та послідовностей та отримання нових знань за допомогою моделей (Discovery with Models)	дозволяє виявляти взаємозв'язки між пов'язаними подіями у наборі освітніх даних за прямими та непрямыми ознаками. Розв'язання цієї задачі дозволяє виявляти правила виду «якщо умова, то наслідок», де «умова» та «наслідок» є подіями, які відбуваються у середовищі електронного навчання й мають високу ймовірність одночасної та послідовної появи.	Методи машинного навчання
Візуалізація, Visual Mining	створення візуального образу аналізованих даних в режимі реального часу шляхом перетворення великих масивів цифрових даних, накопичених у системах електронного навчання, у доступну для розуміння та сприйняття інформацію.	методи відображення складної, багатомірної інформації, спеціальні засоби аналітики (Power BI)

Розв'язання визначених задач із використанням методів інтелектуального аналізу освітніх даних складається з наступних етапів: очистка, фільтрація попередня обробка даних; виявлення закономірностей у даних на основі математичних методів; перевірка (валідація) виявлених закономірностей та моделей; прогнозування майбутніх подій у середовищі навчання на основі прогностичних моделей; використання результатів аналізу для підтримки прийняття рішень і вироблення освітньої політики.

Розвиток Educational Data Mining став перспективним та стратегічним напрямом розвитку інноваційної освіти в Україні, який обумовлює необхідність виявлення проблем на шляху його впровадження у заклади вищої освіти країни. Ефективна реалізація потужного наукового потенціалу методів інтелектуального аналізу освітніх даних потребує прийняття відповідних організаційних рішень на різних рівнях управління вищою освітою.

Таким чином, побудова інформаційних технологій з використанням методів інтелектуального аналізу освітніх даних націлене на вдосконалення процесу навчання, підвищення його ефективності шляхом оптимізації освітнього контенту курсу, моделювання поведінки студентів, виявлення зв'язків та закономірностей, прогнозування, візуалізації даних та встановлення зворотного зв'язку між усіма суб'єктами навчального процесу. Подальші напрями дослідження слугуватимуть вдосконаленню освітньої системи потребують проведення досліджень реалізації вказаних методів в умовах нашої країни.

Висновки. Таким чином, у результаті проведеного аналізу було встановлено, що Educational Data Mining є потужним інструментарієм для видобутку знань стосовно освітнього процесу з метою використання їх для поліпшення успішності та прогнозування основних параметрів оцінки освітніх траєкторій здобувачів вищої освіти. Розробка інформаційних технологій на основі використання методів

інтелектуального аналізу даних при впровадженні систем електронного навчання сприяє вирішенню задач, пов'язаних із розумінням поведінки студентів, поліпшенням якості електронних курсів, вдосконаленням методик навчання, зменшенням витрат на організацію процесу навчання та визначає подальші напрями освітньої аналітики відповідно до загальноосвітніх тенденцій.

Список використаних джерел:

1. Клименко Є., Глазунова О. MOODLE BIG DATA ANALYTICS ЗА ДОПОМОГОЮ POWER BI. *Grail of Science*, №35, pp.201–203. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.01.2024.035>
2. Ковальчук Ю. О. Пошук, отримання й аналіз даних в освіті: сучасний стан і перспективи розвитку. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2016. Том 50. № 6. С. 152–164. DOI: 10.33407/itlt.v50i6.1284
3. Петренко С. В. Оптимізація й аналіз результатів використання LMS Moodle у системі змішаного навчання в університеті. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2017. т. 61, № 5. С. 140–150.
4. Ситник В. Ф. Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг): навч. посіб. / В. Ф. Ситник, М. Т. Краснюк. К.: КНЕУ, 2007. 376 с.
5. Староста, В. І. MOODLE до, під час і після пандемії covid-19: використання студентами бакалаврату та магістратури. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету»*, 2021. №10. С. 216–230. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2021.1018>
6. Arghir D.-C. Implementation of learning management systems with generative artificial intelligence functions in the post-pandemic environment. *Information Technologies and Learning Tools*, 2024. №100(2), pp.217–232. <https://doi.org/10.33407/itlt.v100i2.5518>
7. Baker R. S., Siemens G. Educational data mining and learning analytics. In *Handbook of educational psychology*. 2014. pp.775–788.
8. Bogn'ar L., Fauszt T., Nagy G. Z. Analysis of Conditions for Reliable Predictions by Moodle Machine Learning Models. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*. 2021. №16(06), pp.106–121. doi:10.3991/ijet.v16i06.18347
9. Diaz-Choque M., Chamorro O., Ortega-Galicio O., Arévalo-Tuesta J., Cáceres-Cayllahua E., Dávila-Laguna R., Aybar-Bellido I., Siguas-Jerónimo Y. Contributions of Data Mining to University Education, in the Context of the Covid-19 Pandemic: A Systematic Review of the Literature. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (ijOE)*. 2023. №19. Pp.16–33. 10.3991/ijoe.v19i12.40079.
10. Drigas A., Leliopoulos P. The Use of Big Data in Education. *International Journal of Computer Science Issues*, 2014. Science Issues, 11, 5
11. Ian H. Witten. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques* / Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall. – 3rd Edition. – Morgan Kaufmann, 2011. 664 с
12. Lakhno V., Akhmetov B., Makulov K., Tynymbayev B., Tsiutsiura S., Tsiutsiura M., Chubaievskiy V. Formation of Models for Registering Systemic Processes in The Digital Educational Environment of the University Based on Log File Analysis. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. VOL. 70, №4 pp.389–396. 10.24425/ijet.2024.149557.
13. Manhiça R., Santos A., Cravino J. The use of artificial intelligence in learning management systems in the context of higher education : Systematic literature review. 2022.1–6. 10.23919/CISTI54924.2022.9820205.
14. Morze N. V., Smyrnova-Trybulska E., Glazunova O. Design of a university learning environment for SMART education. *Smart Technology Applications in Business Environments*, pp. 221–248.
15. Nikolaienko S. M., Shynkaruk V. D., Kovalchuk V. I., Kocharyan A. V. Використання Big Data в освітньому процесі сучасного університету. *Information Technologies and Learning Tools*, 2017. №60(4), С.239. <https://doi.org/10.33407/itlt.v60i4.1681>
16. Okike E., Morogosi M. Educational Data Mining for Monitoring and Improving Academic Performance at University Levels. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020. №11. 10.14569/IJACSA.2020.0111171.
17. Williamson B. *Introduction: Learning machines, digital data and the future of education*. 2017. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781529714920>.