

УДК 378.147:004

DOI 10.30837/bi.2023.1(99).04

В.І. Жеребкін¹, С.Г. Удовенко², Л.Е. Чала¹, О.Є. Гриньова¹¹ХНУРЕ, м. Харків, Україна, v.zherebkin@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-6616-293X²ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків, Україна, serhiy.udovenko@hneu.net,

ORCID iD: 0000-0001-5945-8647

¹ХНУРЕ, м. Харків, Україна, larysa.chala@nure.ua, ORCID iD: 0000-0002-9890-4790¹ХНУРЕ, м. Харків, Україна, olena.hrynova@nure.ua, ORCID iD: 0000-0001-5945-8647

АНАЛІЗ СКЛАДНОСТІ ТА ПОБУДОВА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ГРАФІВ МАСОВИХ ВІДКРИТИХ ОНЛАЙН-КУРСІВ

Досліджено проблему персоналізованого навчання, що здійснюється в масових відкритих онлайн-курсах (МВОК). Запропоновано підхід до планування сценарію онлайн-навчання та побудови технології автоматичної генерації персоналізованих шляхів навчання. На відміну від стратегії ручного оцінювання складності навчання, цей підхід дозволяє автоматично обчислювати загальну суму балів знань на основі моделі складності та концептуального графу онлайн-навчання. Розглянуто особливості реалізації запропонованого підходу для МВОК з використанням навчальної платформи Open Edx за результатами оцінювання стану навчання студентів у режимі реального часу. Наведено приклади побудови моделі складності та концептуального графу онлайн-навчання для ресурсів курсу «Штучний інтелект». Отримані результати сприятимуть реалізації персоналізованого планування сценаріїв навчання студентів для МВОК на основі своєчасної діагностики стану успішності навчання.

МОДЕЛЬ СКЛАДНОСТІ НАВЧАННЯ, КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ГРАФ, НАВЧАЛЬНА ПЛАТФОРМА OPEN EDX, ПЛАНУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ НАВЧАННЯ, ДІАГНОСТИКА СТАНУ УСПІШНОСТІ

V.I. Zherebkin, S.G. Udovenko, L.E. Chala, O.E. Hrynova. Complexity analysis and construction of conceptual graphs of mass open online courses. The problem of personalized training carried out in mass open online courses (MOOC) was studied. An approach to online learning scenario planning and construction of technology for automatic generation of personalized learning paths is proposed. In contrast to the manual learning difficulty assessment strategy, this approach automatically calculates a total knowledge score based on the difficulty model and online learning conceptual graph. The specifics of the implementation of the proposed approach for vocational education and training using the Open Edx educational platform based on the results of real-time assessment of students' learning status were considered. Examples of building a complexity model and a conceptual graph of online learning for the resources of the course "Artificial Intelligence" are given. The obtained results will contribute to the implementation of personalized planning of students' learning scenarios for MVOK based on timely diagnosis of the state of educational success.

LEARNING COMPLEXITY MODEL, CONCEPTUAL GRAPH, OPEN EDX LEARNING PLATFORM, LEARNING SCENARIO PLANNING, SUCCESS STATUS DIAGNOSTICS

Вступ

В національних пріоритетах суспільного розвитку України відбуваються зміни, що обумовлені її переходом до європейського освітнього простору. Це призводить до зростання ускладнення умов функціонування навчальних закладів та розвитку нових форм навчання [1].

Персоналізоване навчання сприяє успішності оволодіння знаннями студентами внаслідок використання спеціально підібраних навчальних каркасів, що пропонуються в масових відкритих онлайн-курсах (МВОК). МВОК, які набувають популярність серед студентів через низький поріг реєстрації та вільний час навчання, певним чином інтегрують можливості соцмереж, колекцій відкритих освітніх ресурсів та експертної підтримки у відповідних галузях [2]. Студенти мають свободу та можливість вибирати актуальні та якісні курси. Однак деякі перешкоди, такі як низькі показники завершення курсу, низькі показники успішності та низька ефективність навчання, перешкоджають розвитку МВОК.

Сучасні платформи дистанційного навчання дають можливість відстежувати та записувати усі події

онлайн-користувачів під час перегляду відеофрагментів, включаючи повторення, швидке перемотування вперед і пропуск. Після перегляду відео студенти мають виконати тестову вправу з розділу.

Більшість сучасних систем рекомендацій персоналізованих шляхів навчання застосовуються до конкретного курсу. Більше того, існуючі платформи МВОК не можуть забезпечити персоналізовані послідовності навчання студентів навіть на певному курсі [3]. Таким чином, доцільним є розробка підходу, який сприятиме реалізації персоналізованого планування навчального шляху на основі своєчасної діагностики стану навчання студентів у сценаріях навчання МВОК. З огляду на це тема роботи є актуальною і має практичну значущість.

Метою роботи є побудова моделі складності та персоналізації сценаріїв онлайн-навчання для МВОК на основі платформи Open Edx.

Відповідно до поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання:

- порівняльний аналіз існуючих МВОК та відповідних платформ навчання;
- дослідження особливостей планування персоналізованих сценаріїв навчання студентів в МВОК;

- побудова моделі складності та концептуального графу навчання для МВОК;
- побудова алгоритму персоналізації сценаріїв навчання студентів для МВОК.

1. Сучасні технології та платформи побудови МВОК

У 2001 році Масачусетський технологічний інститут (MIT) приступив до створення першого великого репозиторія відкритих освітніх ресурсів (BOR) в рамках проекту OpenCourse Ware. BOR це розміщені у відкритому доступі матеріали, призначені для безкоштовного використання в процесі навчання, автори яких дали згоду на їх вільне використання і модифікацію. Модель відкритої освіти полягає в тому, щоб відкрити перед студентами максимальні можливості набуття знань і навичок незалежно від географічних, соціально-економічних та інших факторів. За минулі роки у світі з'явилася велика кількість дистанційних курсів, заснованих на відкритому змісті, та навіть виникли університети електронного навчання. У 2005 році з'явилася ідея швидкого створення електронних навчальних курсів за рахунок використання слайдів, мультимедійних презентацій, флеш-технологій – сформувався термін «Швидкі технології дистанційного навчання».

У 2008 році Джордж Сіменс і Стівен Даунс провели відкритий дистанційний курс «Коннективізм та сполучні знання», присвячений проблемам нової теорії навчання – коннективізму. Для того, щоб охарактеризувати число тих, хто навчається на курсі (більше 2000 слухачів), Дейв Корм'ї і Брайан Олександр запропонували термін МВОК – «Масовий відкритий онлайн-курс» (або МООС – від англ. Massive open online course). Концепція створення МВОК передбачає інтеграцію переваг соцмереж, колекцій відкритих освітніх ресурсів та підтримки експертів у відповідній галузі [4]. В аббревіатурі МВОК «масовий» означає кількість учасників курсів, а також можливості курсу з точки зору дозволу доступу до великої кількості заходів. Джордж Сіменс визначив «масовий» як: «Все, що є достатньо велике, щоб можна було отримати субкластери самоорганізованих інтересів. Відповідним еталоном може бути, наприклад, число Робіна Данбара (150 осіб), тобто максимум, після якого група починає створювати менші дробі» [5]. «Відкритий» зазвичай означає безкоштовний доступ до окремих курсів, і іноді це також стосується відкритої платформи вмісту. «Онлайн» стосується можливості доступу до МВОК через Інтернет. «Курс» означає організацію викладення у заданий інтервал часу конкретної дисципліни з предметної області, яка містить набір ресурсів з чітко визначеними цілями та результатами. До кінця 2013 року більшість провідних університетів почали пропонувати різновиди МВОК на базі різних навчальних платформ.

Платформа edX. Останнім часом поширення набуває використання платформи edX для створення онлайн-курсів. Ця платформа вже охоплює чималу кількість курсів з різних галузей, що організовуються престижними університетами з можливістю отримання відповідного сертифіката. Вона передбачає необхідність підключення до учасників до Інтернету, отримання учасниками навчальних матеріалів, консультації з викладачами, та можливість оцінювання набутих знань. Існує чимало досліджень, що стосуються використання МВОК на основі платформи edX. Наприклад, в роботі [5] пропонується в рамках МВОК реалізувати творчі заходи з оцінкою індивідуальних особливостей курсів та комунікативною діяльністю учасників курсу, що передбачає спілкування між викладачами та студентами курсу, а також серед самих учасників. Основне ядро платформи edX містить такі функції:

- інтерактивні відеолекції з субтитрами та індексацією на субтитрах;
- онлайн-тести різних типів (вікторини з вбудованим відео, практичні сесії, проміжний та випускний іспити тощо);
- віртуальні лабораторії з інтерактивним інтерфейсом для перегляду користувачем результатів моделювання;
- створення та контроль календарного графіку курсів;
- багатомовна підтримка;
- дискусійні форуми;
- поточні звіти про хід роботи та інші види вбудованої аналітики;
- різні види систем оцінювання поданих завдань (задачі з відкритими відповідями; самооцінювання);
- електронні листи та засоби повідомлень для зареєстрованих студентів з наданням результатів атестації;
- реєстрація та зняття з курсу;
- підтримка трафіку спілкування з користувачами у певний час.

Слід зазначити, що існують також деякі інші платформи, що використовуються для створення МВОК (зокрема, Moodle, CourseSites by Blackboard, Udemy, Versal тощо).

Платформа Moodle. Moodle – це система управління навчанням з відкритим кодом (LMS – Learning Management System), яка дозволяє користувачам створювати та пропонувати онлайн-курси [6, 7]. Цю платформу, зазвичай, простіше встановити, ніж EdX. Moodle підходить для організацій, яким потрібна повнофункціональна настроювана LMS. Втім продуктивність системи Moodle погіршується при наявності великої кількості студентів. Moodle дозволяє: стимулювати, розширювати та записувати дискусії поза класом; тестувати та звітувати про навчання

студентів, заохочувати студентів до навчання і самоперевірки; здійснювати проведення іспитів; швидко збирати відгуки студентів; сприяти обміну, зберіганню та поширенню знань; організовувати дискусійні форуми; завантажувати необхідні файли; створювати миттєві повідомлення тощо.

В табл. 1 наведено характеристики деяких популярних безкоштовних платформ, що використовуються для створення МВОК.

Таблиця 1

Характеристики деяких популярних безкоштовних платформ створення МВОК

Платформи	Максимальний розмір групи	Аналітика та можливість бренду
Edx	300000	+
Moodle	10000	+
CourseSites by Blackboard	Безлімітний	-
Udemy	Безлімітний	-
Versal	Безлімітний	-

Таблиця свідчить про певні переваги платформ edX та Moodle.

Однак існують додаткові причини вибору платформи edX для створення онлайн-курсів.

Наприклад, edX дозволяє користуватися перевагами масштабу інфраструктури хмарних обчислень Google (на сайті <http://mooc.org/> EdX позиціонується як безкоштовна хмарна пропозиція для будь-якої освітньої організації, яка хоче пропонувати відкриті курси).

Крім того, університет (або інший навчальний заклад, що пропонує курс) може вибрати варіант локально розміщення екземпляра Edx і не нести витрати на хостинг та забезпечення потрібної пропускну здатності. Це має знизити бар'єри для створення (та пошуку потенційними учасниками) відкритих курсів.

Найбільш перспективним є використання варіанта платформи edX з відкритим кодом, відомого під назвою Open edX. Платформа Open edX надає технологію програмного забезпечення для онлайн системи управління онлайн навчанням, що дозволяє викладачам створювати динамічні курси. Виділимо загальні принципи навчання за допомогою Open edX: вільний графік навчання, змішана модель навчання та нетворкінг. Ця навчальна платформа використовується також в деяких проектах глобальних організацій, таких як Microsoft і IBM.

Проектом Open edX керує некомерційна організація NP, що очолюється Гарвардським університетом та Масачусетським технологічним інститутом. зосереджуватиметься на інклюзивному навчанні та освіті. NP співпрацює з навчальними закладами, урядами та

іншими організаціями для розробки та оцінки нових підходів до навчання та педагогіки; інвестує в нові моделі навчання, а також сприяє впровадженню передового досвіду в освітньому континуумі. NP планує підтримувати інновації в існуючих структурах навчання та розвивати платформи для навчання нового покоління.

2. Структура платформи Open edX

Розглянемо докладніше архітектуру та компоненти платформи Open Edx, що передбачається використовувати для реалізації персоналізованого варіанту навчання студентів в рамках МВОК.

Платформа Open Edx складається з системи керування вмістом (CMS) для розробників курсів і системи керування навчанням (LMS) для студентів. Основні функції, доступні для викладачів і студентів, визначені в кодовій базі платформи Edx. Крім того, існують незалежні додатки для розгортання (IDA), які покращують функціональні можливості платформи.

Серверний код у проекті Open edX написаний на мові Python з фреймворком веб-додатків Django.

Система керування навчанням LMS є ключовою частиною проекту Open edX. LMS також надає інформаційну панель інструктора, до якої користувачі, які мають роль адміністратора або персоналу, можуть отримати доступ, вибравши Інструктор. LMS використовує ряд сховищ даних. Курси зберігаються в MongoDB, а відео подаються з YouTube або Amazon S3. Дані для кожного студента зберігаються в базі MySQL. Коли студенти проходять курси та взаємодіють з ними, події публікуються в конвеєрі аналітики для збору, аналізу та звітності.

Код Django на стороні сервера в LMS використовує програмний додаток Мако для генерації шаблонів інтерфейсу. Код на стороні браузера написаний переважно на JavaScript. Частина коду на стороні клієнта використовують фреймворк Backbone.js, що переміщує більшу частину бази коду для використання користувачем цієї платформи.

Проект Open edX має просту першу сторінку для перегляду курсів, а також окрему домашню сторінку та сайт пошуку курсів, який не є відкритим вихідним кодом.

Курси Open edX складаються з блоків XBlocks. Відзначимо, що існує можливість написання користувачами нових XBlocks, які дозволять викладачам розширити набір компонентів для своїх курсів. Платформа Open edX також містить кілька модулів XModules (попередників XBlocks), що генерують певні типи вмісту курсу для користувачів як для створення, так і для навчання. Наприклад, існують XModules для відео та для фрагментів HTML

XModules створюють складний набір проміжних сутностей поверх XBlocks (усі XModules зараз

успадковуються від XBlock). В перспекиві планується їх вилучення в окремі репозиторії або перетворення в XBlocks, що має спростити час виконання завдань Open edX.

На додаток до XBlocks є кілька способів розширити поведінку курсу, зокрема, розробники навчального курсу з використанням LMS можуть вбудовувати інструменти LTI, щоб інтегрувати різні засоби навчання в курс Open edX.

В цілому процес створення онлайн-курсу з використанням засобів Open edX можна поділити на такі етапи, як: розробка робочої програми (тематичний план), проекту сценарію онлайн-курсу (розширений план курсу), сценарію онлайн-курсу (наповнення матеріалом проекту сценарію) і технічний перенос сценарію в Open edX Studio.

Studio – це інструмент платформи Open edX, який використовується для технічної реалізації запланованої структури курсу (з використанням інтерактивної взаємодії викладачів зі студентами, відеоресурсів ресурси, поточного аналізу складності завдань тощо). За його допомогою можна керувати розкладом курсів, визначати членів команди курсу, встановлювати політику оцінювання та оприлюднювати конкретний курс.

Кожен курс проект Open edX дозволяє представити у вигляді деревовидної структури блоків, яку можна змінювати під час створення або модифікації курсу. Мінімальний набір блоків складає: одну главу; одну секцію; один урок; одне завдання.

На рис. 1. представлений приклад типової структури курсу.

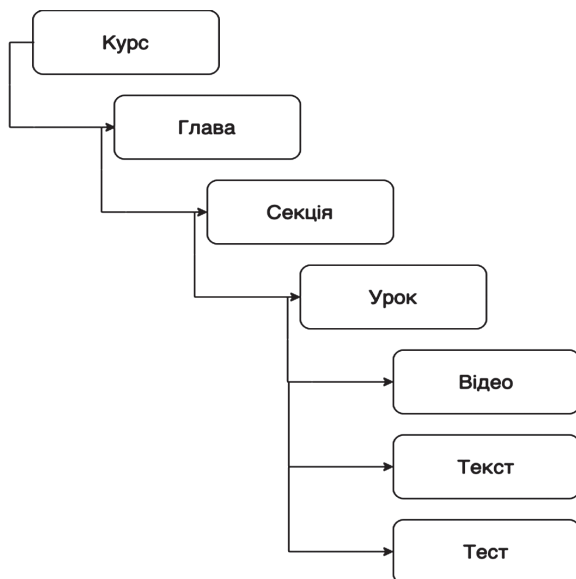


Рис. 1. Типова структура курсу на платформі Open edX

Для зберігання даних курсу в Open edX використовується нереляційна база даних MongoDB, а всі операції взаємодії виконуються через додатковий модуль Modulestore. Головні функції, які виконує

цей модуль: зберігає пов'язані з курсом дані Xmodule і XBlock в різних серверних програмах; кешує дані; надає інтерфейс сховища ключів/значення для цих даних; впроваджує систему версій для курсів; забезпечує засоби для перенесення даних курсу з одного сервера modulestore до іншого.

Після запуску сервера LMS ModuleStore завантажує в пам'ять кожен блок кожного курсу. Він доступний тільки в режимі для перегляду і не дозволяє користувачам змінювати курс без перезапуску сервера.

БД Mongo поділяє курс на індекс курсу, структуру курсу та визначення Xblock або наповнення курсу. Індекс курсу – це словник, в якому зберігаються ідентифікатори курсу. Кожен ідентифікатор курсу свідчить про структуру курсу. Вказівник курсу підтримує декілька гілок курсу, причому для кожного курсу є гілка як для опублікованої, так і для запланованої версії курсу. Таким чином, курс має деревовидну структуру даних, яка складається з різних блоків.

Важливою частиною платформи Open edX є модуль аналізу навчання OXALIC, призначений для представлення огляду діяльності студента з використанням кількох різних методів обробки даних та візуалізації. Основна мета OXALIC – надати різним групам зацікавлених сторін (головним чином викладачам та дослідникам), корисні оцінки даних, які збираються під час онлайн навчання. Це дослідження зосереджується на одному з можливих застосувань цієї згенерованої інформації, а саме на групуванні студентів за їхньою активністю та залученням до МВОК.

Огляд архітектури інструмента представляє потік даних відстеження в системі. Спочатку дані відстеження збираються і передаються в систему. Потім ці дані зберігаються в базах даних, одна для генерування графіків, а інша для загальної обробки даних, що призводить до отримання кількох частин інформації про курс. Нарешті, ця інформація форматується і представляється користувачам у вигляді веб-сторінок з різною статистикою та графіками.

Щоб зрозуміти корисність існуючої системи, можна виділити кілька груп зацікавлених сторін:

- інструктори;
- студенти;
- конструктори курсів;
- власники платформи;
- дослідники.

Основна група, яка отримує найбільшу користь – це інструктори. Використовуючи цей інструмент, вони можуть спостерігати прогрес студентів та їхню взаємодію з різними частинами курсу. На основі цієї інформації інструктори можуть керувати прогресом студентів і вживати заходи, щоб допомогти студентам покращити їхні результати. Це досягається завдяки візуалізаціям, які генеруються шляхом обробки

даних, зібраних під час поточного та попереднього проходження курсу.

Друга група – це самі студенти. Для них формується інформаційна панель зі зведеною персоналізованою інформацією про поточні результати навчання на курсі. Також може бути представлена додаткова інформація, де надаються рекомендації, прогнози та різні види аналізу, які допоможуть студентам краще планувати хід навчання та виправляти потенційні проблеми.

Третя група – дизайнери курсів. Спостерігаючи за інформацією, яку генерує інструмент, розробники курсів можуть оцінити ефективність створеного ними курсу з метою його можливого покращення протягом наступного періоду навчання. Цю інформацію також можна використовувати для планування та створення нових курсів.

Власників платформ також можуть аналізувати дані, згенеровані модулем OXALIC для концептуального доналаштування структури всієї платформи, а також обсягу та типів даних, які генеруються та зберігаються. Таким чином можна потенційно підвищити як ефективність аналітики, так і інформативність потоків даних.

Нарешті, дослідники також можуть використовувати дані, згенеровані цим інструментом (зокрема, агреговані та відфільтровані дані). Це може заощадити час для дослідників на отримання додаткової інформації, яка вже була автоматично відфільтрована та уточнена на основі цілей дослідження

3. Попередня обробка даних та побудова моделі складності онлайн навчання

Дані курсу та навчання, що зберігаються на платформах МВОК, в основному складаються з двох частин: даних про ресурси курсу та даних про навчальну поведінку студентів. Кожен курс містить, зазвичай, чимало розділів з відео та вправами, що обумовлює наявність ієрархічної схеми ресурсів курсу.

Дані в кожному з розділів (глав) курсу можуть бути визначені таким чином: заголовки та субтитри відео з курсу; тестові завдання; обов'язкові зв'язки між точками знань.

Платформи МВОК відстежують та записують усі події онлайн-користувачів під час перегляду відео курсів, включаючи повторення, швидке перемотування вперед і пропуск. Після перегляду відео студенти мають виконати вправу з розділу. Навчальні дані кожного студента зображені таким чином: поведінка при перегляді відео; продуктивність виконання вправи; коментарі та відповіді в секції коментарів.

Схему ієрархії змісту ресурсів курсу МВОК, що, зазвичай використовується в процесі масового відкритого онлайн-навчання, наведено на рис. 2.

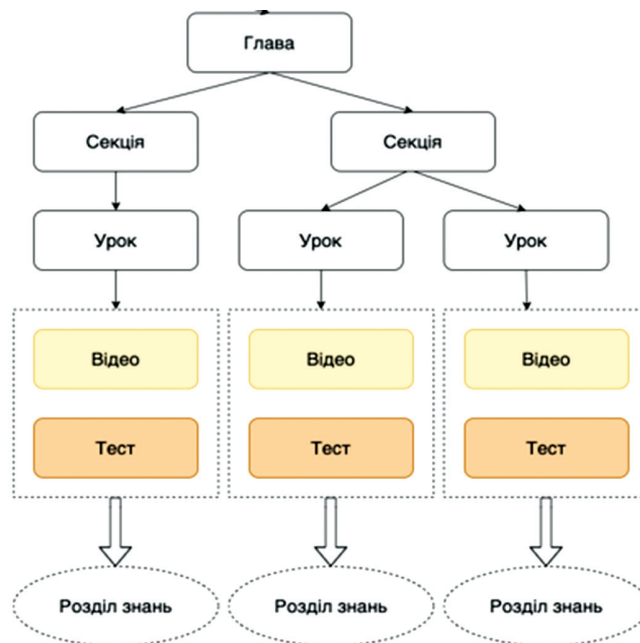


Рис. 2. Типова структура курсу на платформі Open edX

Попередня обробка даних. Для розробки алгоритму персоналізації курсів навчальні дані пропонується попередньо обробляти в наступній послідовності:

- виділення ключових слів з заголовків відео, субтитрів відео та вправ до розділів;
- класифікація вправ (порівняння ключових слів для вправ з розділу з ключовими словами заголовків і субтитрів відео). Кожна вправа класифікується на точки знань із найбільшою кількістю зустрічей ключових слів;
- нормалізація результатів тестових завдань.

Курси МВОК незалежні один від одного, але це не сприяє запиту та зберіганню даних і може значно збільшити кількість вимог до анотацій при подальшій обробці. Тому, задля збагачення асоціації курсів, їх групували в системи класифікації предметів. Відповідно до галузей класифікації та кодексу дисциплін три експерти позначають галузь, до якої належить курс. Щоб контролювати детальність класифікації, всі курси позначено до другого рівня, утворивши таким чином дерево дисциплін курсу.

Багато популярних курсів пропонуються неодноразово. Хоча вони можуть бути трохи змінені, велика кількість ресурсів курсу дублюється, що, очевидно, призводить до таких проблем, як розрідженість даних і зайве маркування. Тому було проведено початкову фільтрацію на основі такої інформації, як назва курсу, викладач і школа, щоб знайти повторні курси. Потім точно поєднано відео та вправи, використовуючи їх тексти змісту. Для кожного ресурсу (відео та вправи) його позначено `ssid`. Ресурси з тим самим `ssid` означають ті самі ресурси, які повторюються в повторних курсах. Обсяг дедуплікованих ресурсів уточнено до 10,3% від початкового розміру.

Інтеграція поведінки студентів. Платформа Open edX дає можливість відстежувати та записувати усі події онлайн-користувачів під час перегляду відеофрагментів, включаючи повторення, швидке перемотування вперед і пропуск. Після перегляду відео студенти мають виконати вправу з розділу. Навчальні дані щодо кожного студента структуруються таким чином:

- поведінка при перегляді відео;
- продуктивність виконання вправи;
- коментарі та відповіді в секції коментарів.

Дані про перегляд відео студентами – це логи «HeartBeat» з інтервалом у п'ять секунд, тобто кожні п'ять секунд система записує, яке відео цей студент зараз переглядає та яку позицію він/вона вивчає. Такі дані не зручні у використанні, тому далі проводиться обробка даних поведінки при навчанні в сегменти перегляду, тобто кожен сегмент вказує, який сегмент відео учень дивиться (час початку та закінчення) і швидкість відтворення в цей час. Якщо у відео є стрибок або пауза, воно вважається новим сегментом.

Оцінка складності онлайн навчання. На основі аналізу загальної ефективності студентів у сценаріях навчання МВОК цей розділ створює модель оцінки для вимірювання складності конкретних розділів знань. Вхідними параметрами моделі складності на основі розділів знань є середні бали тесту за вправи всіх учнів, які вивчали розділ знань. Результатом моделі складності знань є рівень складності знань, для оцінки якого пропонується використовувати такий параметр:

$$diff(j) = w_1[1 - \bar{s}(j)] + w_2\bar{r}(j) + w_3\bar{c}(j), \quad (1)$$

де $\bar{s}(j)$, $\bar{r}(j)$ і $\bar{c}(j)$ – середня оцінка тесту, середня кількість повторних переглядів відео та середня кількість коментарів j -го розділу знань відповідно; w_1 , w_2 і w_3 – ваги вхідних параметрів $\bar{s}(j)$, $\bar{r}(j)$ і $\bar{c}(j)$ відповідно.

Очевидно, що значення $diff(j)$ прямо пропорційне складності засвоєння j -ї компоненти знання.

Значення параметрів $\bar{s}(j)$, $\bar{r}(j)$ і $\bar{c}(j)$ пропонується розраховувати таким чином (згідно з методом аналітичної ієрархії (АНР) визначення ваг в моделі оцінок [6]):

$$\bar{s}(j) = \frac{\sum_{i=1}^{N_j^{history}} s_{ij}}{N_j^{history}}; \quad (2)$$

$$\bar{r}(j) = \frac{\sum_{i=1}^{N_j^{history}} r_{ij}}{N_j^{history}}; \quad (3)$$

$$\bar{c}(j) = \frac{\sum_{i=1}^{N_j^{history}} c_{ij}}{N_j^{history}}, \quad (4)$$

де $N_j^{history}$ – коефіцієнт, що відповідає: а) загальній кількості студентів, які засвоїли j -й розділ знань (для

рівняння (2)); б) загальній кількості переглядів відео j -го розділу знань на всьому курсі (для рівняння (3)); в) загальній кількості коментарів щодо j -го розділу знань на всьому курсі (для рівняння (4)); s_{ij} , r_{ij} та c_{ij} – оцінка тесту, кількість повторних переглядів відео та кількість коментарів i -го учня для j -го розділу знань відповідно.

Як приклад, для вхідних параметрів $\bar{s}(j)$, $\bar{r}(j)$ і $\bar{c}(j)$ був використаний метод аналітичної ієрархії (MAI) з метою визначення ваги моделі оцінок професорами, які працюють в університетах у Китаю, для кількісної оцінки труднощів оволодіння знаннями.

В табл. 2 наведено ваги моделі складності знань, отримані з використанням MAI.

Таблиця 2

Вагові коефіцієнти моделі складності (1)

w_1	w_2	w_3
0.633	0.260	0.107

Для цієї моделі коефіцієнт консистентності (CR) дорівнює 0,033, що менше 0,1. Це означає, що результат пройшов тест на консистентність [8].

Для підтвердження працездатності розглянутої моделі були використані дані, отримані з набору даних MOOCubeX. З цього набору даних для подальшого тестування було застосовано результати тестів студентів з тестовими завданнями, поведінку студентів під час перегляду відео та дані про коментарі студентів.

Для розрахунку складності були використані власноруч згенеровані набори даних, які можна вважати нормально розподіленими. В табл. 3 наведено приклад набору даних з оцінками студентів в кожному окремому розділі знань та середнім балом за весь курс.

У даній вибірці окрім даних з оцінками також присутня інформація про характер навчання (тобто чи є курс платним або безкоштовним), можливість отримати сертифікат та його тип, а також актуальний статус студента (чи користувач записаний на курс).

В табл. 4 наведено приклад набору даних з додатковими параметрами, які необхідні для розрахування складності курсу, та окремого розділу знань (середня кількість переглядів відео у кожній секції та середня кількість коментарів у кожній секції).

Після отримання необхідних даних, можна розраховувати складність окремо для кожного розділу знань.

В табл. 5 наведено приклад обчислення складності кожного окремого розділу знань з початкового курсу.

Таким чином, в наведеному прикладі найлегшим за складністю є перший розділ знань з індексом складності, який дорівнює 0,04. Найскладнішим з усього курсу є передостанній, шостий розділ знань з індексом складності, який дорівнює 0,2.

Таблиця 3

Приклад набору даних з оцінками студентів по курсу

Student ID	Grade	Assignment Checklist 1: Assignment Checklist for Module 1	Assignment Checklist 2: Assignment Checklist for Module 2	Assignment Checklist 3: Assignment Checklist for Module 3	Assignment Checklist 4: Assignment Checklist for Module 4	Assignment Checklist 5: Assignment Checklist for Module 5	Assignment Checklist 6: Assignment Checklist for Module 6	Assignment Checklist 7: Assignment Checklist for Module 7	Enrollment Track	Verification Status	Certificate Eligible	Certificate Delivered	C
0	3269	0,78	0,85	0,75	0,90	0,80	0,65	0,70	0,70	audit	NaN	N	N
1	3262	0,87	1,00	0,80	0,90	0,70	1,00	0,80	0,75	audit	NaN	N	N
2	3261	0,90	0,90	1,00	0,85	0,90	1,00	0,75	0,80	audit	NaN	N	N
3	3244	0,69	0,80	0,65	0,60	0,60	0,75	0,75	0,70	audit	NaN	N	N
4	3228	0,88	1,00	0,75	0,90	0,70	1	0,90	0,85	audit	NaN	N	N
5	3217	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,85	0,90	audit	NaN	N	N
6	3214	0,93	0,90	1,00	0,85	1,00	0,85	1,00	0,80	audit	NaN	N	N
7	3213	0,73	0,90	0,85	0,75	0,60	0,65	0,60	0,75	audit	NaN	N	N
8	3212	0,93	1,00	0,80	1,00	0,90	0,90	1	0,85	audit	NaN	N	N
9	3209	0,95	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,95	1,00	audit	NaN	N	N

Таблиця 4

Приклад набору даних з додатковими параметрами моделі

	Subsection	Comments amount	Video repeats	Video Repeats Rate	Comments Rate
0	Assignment Checklist 1: Assignment Checklist f...	25,00	50,00	0,05	0,12
1	Assignment Checklist 2: Assignment Checklist f...	32,00	80,00	0,08	0,15
2	Assignment Checklist 3: Assignment Checklist f...	38,00	194,00	0,20	0,18
3	Assignment Checklist 4: Assignment Checklist f...	21,00	78,00	0,08	0,10
4	Assignment Checklist 5: Assignment Checklist f...	43,00	223,00	0,23	0,20
5	Assignment Checklist 6: Assignment Checklist f...	29,00	188,00	0,20	0,13
6	Assignment Checklist 7: Assignment Checklist f...	27,00	146,00	0,15	0,13

Таблиця 5

Результати обчислення складності розділів курсу

	Subsection	Comments amount	Video repeats	Video Repeats Rate	Comments Rate	Avg Grade	Difficulty
0	Assignment Checklist 1: Assignment Checklist f...	25	50	0,05	0,12	0,97	0,04
1	Assignment Checklist 2: Assignment Checklist f...	32	80	0,08	0,15	0,88	0,11
2	Assignment Checklist 3: Assignment Checklist f...	38	194	0,20	0,18	0,88	0,15
3	Assignment Checklist 4: Assignment Checklist f...	21	78	0,08	0,10	0,84	0,13
4	Assignment Checklist 5: Assignment Checklist f...	43	223	0,23	0,20	0,87	0,16
5	Assignment Checklist 6: Assignment Checklist f...	29	188	0,20	0,13	0,79	0,20
6	Assignment Checklist 7: Assignment Checklist f...	27	146	0,15	0,13	0,8	0,18

Подібні обчислення виконуються для кожного розділу знань у кожному курсі, що дає можливість, після побудови концептуального графу спиратися на індекс складності з метою подальшої модифікації контенту курсу для кожного студента

4. Побудова концептуального графу онлайн навчання

Структура концептуального графу. Концепти відносяться до галузей знань, які викладаються в окремих курсах (наприклад, «Дерево двійкового пошуку» курсу «Структура даних»). Ці поняття є підсумком навчальних ресурсів з точки зору знань. Останнім

часом використання концептуальних графів набуло поширення в багатьох темах, пов'язаних з адаптивним навчанням (зокрема, це навчання у МВОК, організація даних на основі концептів знаннями та когнітивне моделювання тощо) [9]. Окремою проблемою засвоєння концептів є виділення понять та їх зв'язків із навчальних текстів [10]. Попередній етап збору інформації про курс надає необхідні текстові ресурси, включаючи субтитри відео, опис курсів, викладачів, навчальних програм, а також зміст вправ. Однак високоякісне одержання концепту з цих

текстів є складним завданням, адже працезатратні ручні анотації є недостатні для формування масштабних ресурсів МВОК. Щоб вирішити цю проблему, можна використовувати, наприклад, контрольований метод дрібного виділення концептів, а потім застосовувати інтерактивний механізм спільного навчання для виявлення необхідних зв'язків між поняттями з мінімальною анотацією. Крім того, можна використовувати лише тексти відеосубтитрів як джерело, оскільки тексти інших ресурсів занадто короткі для сприйняття концепту.

Розглянемо деякі аспекти формування концептів для подальшої побудови концептуального графу:

- обрання кандидата (кандидати на концепт обираються як об'єднання найбільш релевантних варіантів);
- формування ключових фраз (усі отримані фрази є витягом з анотованих якісних текстів. Вони збираються в таблиці речень для кожного відео, що відображається в його субтитрах як кандидат на концепт);

— зв'язування об'єктів (зв'язування об'єктів має на меті виявити посилання на них з зовнішньої бази знань. Для кожного відео виконується зв'язування сутностей за допомогою XLink і обираються пов'язані сутності як кандидати на концепт, що може допомогти обрати концепти з масштабної бази знань Xlore [11]);

— розпізнавання іменованих об'єктів (використовуються попередньо навчені мовні моделі для вилучення нерелевантних концептів. Схему навчання можна розглядати як розпізнавання названої сутності з однією категорією. Для кожної дисципліни анотуються концепти із субтитрів (120–150 відео 20–30 випадкових курсів). Потім налаштовується класифікаційна мережа RoBERTa, після чого об'єднуються заголовки відео перед субтитрами як підказки, розділені спеціальним маркером [SEP].

Приклад структури концептуального графу навчання з використанням сукупності виділених концептів наведена на рис. 3.

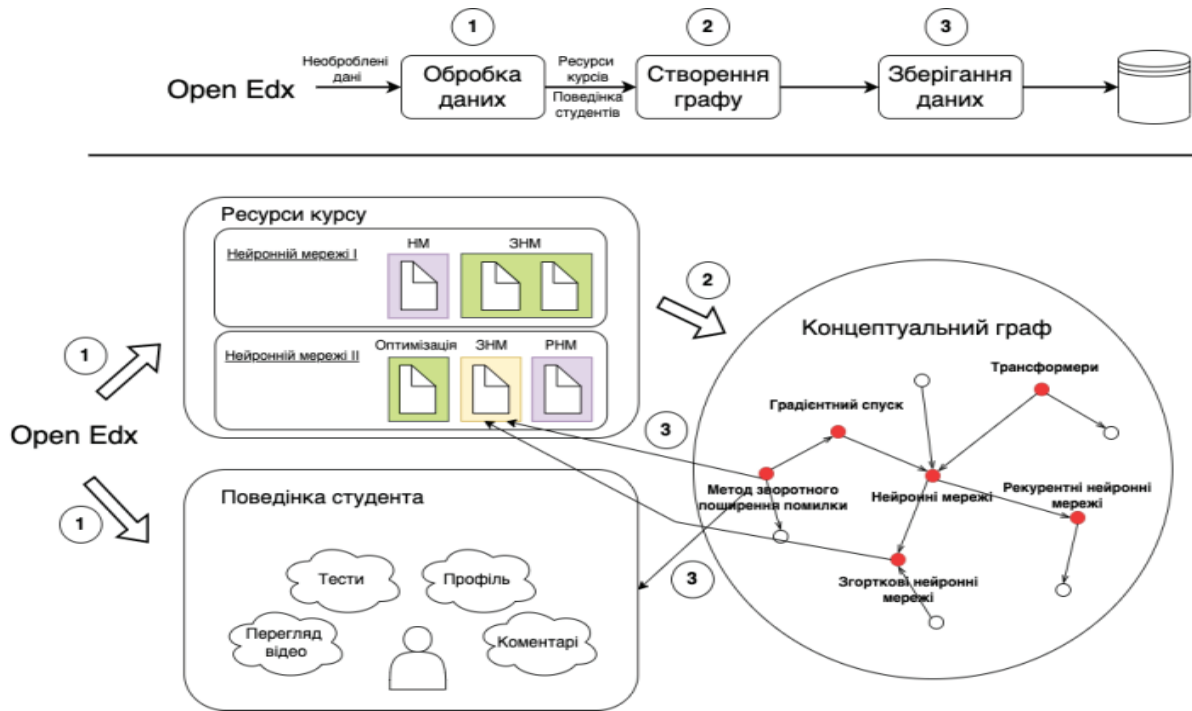


Рис. 3. Структура концептуального графу

Оцінювання стану навчання студентів згідно з концептуальним графом. Розглянемо процес динамічного оцінювання стану навчання студентів згідно з концептуальним графом курсу. Аналіз поведінки студентів МООК під час перегляду відео фрагментів та проходження відповідних тестів дозволяє оцінювати поточний рівень засвоєння ними знань з відповідних розділів. Опис рекомендованих параметрів моделі оцінювання рівня засвоєння знань студентами наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Параметри моделі оцінювання рівня засвоєння розділів курсу		
Змінна	Тип даних	Опис
s_{ij}	Float	Нормований бал i -го студента за тестове завдання j -го розділу
r_{ij}	Bool	Кількість перемотувань вперед i -м студентом (або пропусків під час перегляду) відео j -го розділу
c_{ij}	Int	Оцінка опанування i -м студентом j -го розділу курсу

На рис. 4 наведено схему алгоритму оцінки статусу (поточного рівня засвоєння знань) студента. Детальний процес виглядає наступним чином:

- студенти вивчають початкові розділи;
- студенти дивляться відео, а потім виконують контрольні тестові завдання з розділу;
- статуси студентів оцінюються на основі алгоритму оволодіння знаннями;
- відповідні розділи знань рекомендуються студентам на основі оцінки поточного статусу їхнього навчання.

Розглянемо докладніше наведену схему оцінювання поточного статусу (поточного стану засвоєння знань) студента (далі – просто стану).

Ненормальна поведінка включає швидке перемотування вперед або пропуск під час перегляду відео, а нормальна поведінка не передбачає таких операцій.

Згідно зі схемою, наведеною на рис.4, стан засвоєння студентом окремих розділів курсу поділяється на чотири рівні (відповідно: невивчений, незасвоєний,

недостатньо засвоєний та засвоєний). «Невивчений» (стан 1) означає, що нормований бал оцінки результатів проходження тесту студентом нижчий за 0.6 (наприклад, він перемотував вперед або пропускав відео під час перегляду, що не є нормальною поведінкою). Студенту мають бути присвоєні відповідні бали знань для перевірки. «Незасвоєний» (стан 2) означає, що нормалізований результат проходження тесту нижчий за 0.6, але все відео переглядалось без перемотування вперед або пропуску. Студенту мають бути присвоєні відповідні бали знань для перевірки. «Недостатньо засвоєний» (стан 3) означає, що нормалізований результат проходження тесту вище за 0.6, але менше ніж 0.8. Студенту також слід присвоїти відповідні бали знань для перевірки. «Засвоєний» (стан 4) означає, що нормалізований результат проходження тесту перевищує 0,8 і студент отримав більшу частину балів знань. Студенту при цьому слід призначити новий розділ для вивчення.

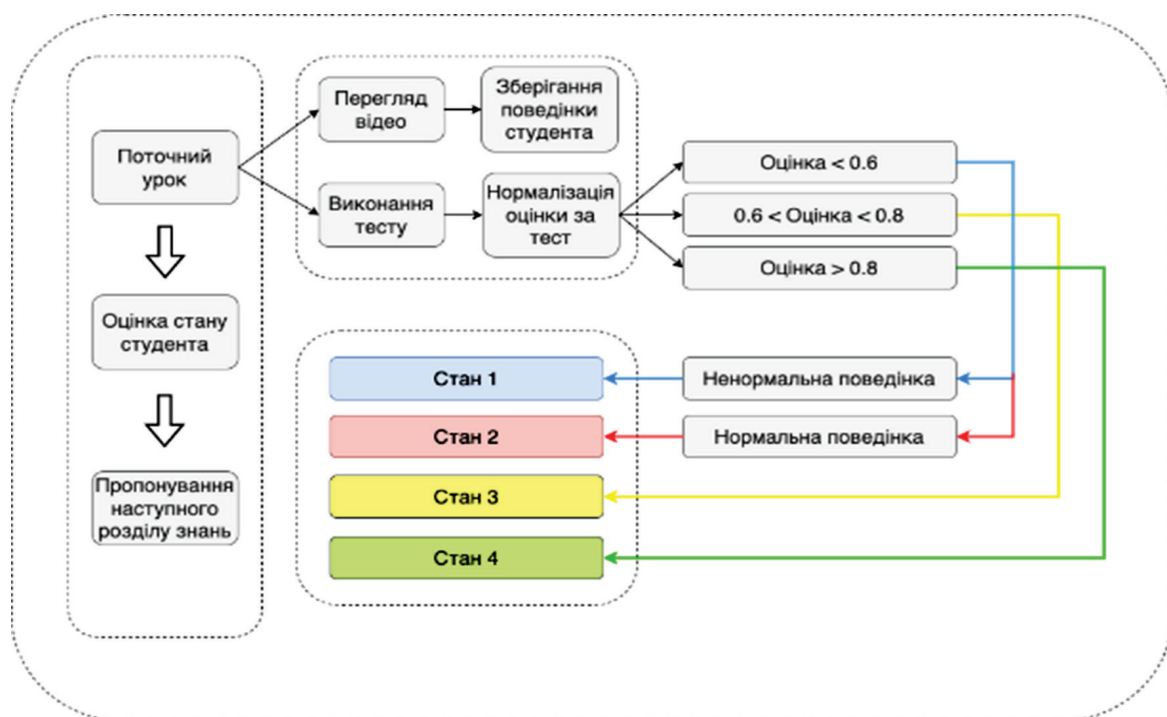


Рис. 4. Схема оцінювання поточного статусу студента

Фрагмент сценарію (шляху) можливого варіанту проходження студентом розділів курсу, передбачений рекомендаціями використання платформи Open edX, наведено на рис. 5.



Рис. 5. Приклад стандартного сценарію проходження розділів курсу

На рис. 5 застосовано такі позначення поточного статусу студента після чергового тестування за розділами: «невивчений» – I; «незасвоєний» – II; «недостатньо засвоєний» – III; «засвоєний» – IV.

В роботі [12] запропоновано модифікувати розглянутий стандартний шлях у межах певного курсу. Експерименти з алгоритмом динамічного планування шляху навчання були засновані на інтерфейсах прикладного програмування (API), наданих Університетом Цінхуа, платформі XuetangX MOOC і наборі даних MOOCCubeX. Студенти дотримувалися

фундаментальної логічної послідовності знань (тобто початкової послідовності шляху) на початку експериментів, оскільки оволодіння розширеними знаннями залежить від оволодіння необхідними знаннями. Отже, підхід до персоналізованого планування шляху навчання, запропонований у цьому дослідженні, використовував стратегію зворотного зв'язку для формування персоналізованого шляху навчання на основі станів навчання.

Схему модифікованої послідовності навчання зі зворотним зв'язком наведено на рис. 6 (позначення поточного статусу на цій схемі відповідають позначенням на рис. 5).

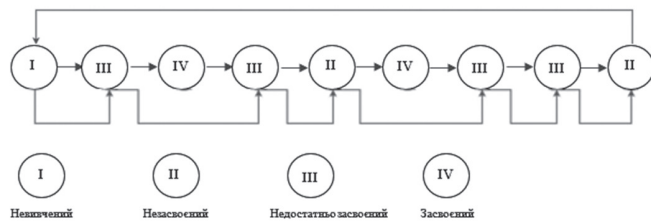


Рис. 6. Приклад модифікованого сценарію проходження розділів курсу

Коли студенти вважають, що закінчили вивчення розділу, їхній статус оволодіння знаннями автоматично оновлюється за результатами поточного тестування. Статуси присвоюються студенту згідно з отриманими балами та фіксуються у журналі навчання. Бали знань на різних рівнях навчання розташовуються на основі передумовного відношення, а бали знань на одному рівні розташовуються за зростанням. Після ознайомлення зі списком балів знань у журналі студент може знову виконати тест (з можливістю оновлення стану). Якщо в поточному розділі статус студента ще відповідає стану I (невивчений), стану II (незасвоєний) або стану III (недостатньо засвоєний), то процес повертається до відповідного кроку (кола на схемі). Якщо ж у поточному розділі статус студента відповідає стану IV (засвоєний), то процес повертається до першого кроку і продовжується до наступного запропонованого розділу курсу.

5. Персоналізація сценаріїв навчання студентів для МВОК

Необроблені дані, отримані від Open edX, мають чимало недоліків, зокрема, низьку релевантність аналізованих курсів, дублювання деяких ресурсів та надмірно детальну схему контролю процесу засвоєння матеріалу студентами. Для подолання цих проблем доцільно розробити окремі рішення для покращення якості даних. Спираючись на попередньо побудовані моделі оцінювання складності навчання та поточного статусу студента, а також на розробку концептуального графу для кожного розділу навчального курсу, було створено алгоритм персоналізації курсів, що

модифікує процес навчання студента. Окремі кроки реалізації цього алгоритму можна описати таким чином:

- студент проходить онлайн курс за визначеною послідовністю;
- коли студент успішно проходить тест за поточною темою, то його стан автоматично оновлюється на основі схеми оволодіння знаннями;
- якщо за результатом тесту стан засвоєння студентом поточної теми (або низки тем) – «засвоєний», то він має продовжити навчальну послідовність, в іншому випадку студенту буде запропоновано пройти теми з іншого курсу, який має меншу складність, попередньо прораховану за допомогою моделі складності;
- якщо студент досягне необхідного рівня після тесту з тем з меншим рівнем складності, то він повернеться до базового варіанту, щоб пройти попередній тест. Коли студент не досягає потрібного стану оволодіння знаннями, то наступний тест буде з курсу з більш низьким рівнем складності.

Персоналізоване навчання сприяє успішності оволодіння знаннями студентами внаслідок використання спеціально підібраних навчальних каркасів. На рис.7 наведено приклад сценарію онлайн навчання за пропонуваним алгоритмом, який може автоматично генерувати персоналізовані шляхи навчання з використанням платформи Open edX за результатами оцінювання стану навчання студентів у режимі реального часу (позначення поточного статусу на рис 7 відповідають позначенням на рис.5 та рис.6). Алгоритм передбачає можливість адаптації сценарію навчання з переходами на різні рівні складності курсу (курс1, курс2, курс 3 – на рис.7).

Варто зазначити, що даний алгоритм має враховувати не лише складність певного розділу знань та стани засвоєння матеріалу, а також і економічні аспекти (коли під час проходження першого курсу в алгоритм пропонує пройти додатковий розділ знань з іншого курсу, є вірогідність того, що студент вирішить придбати і цей курс, саме тому цей алгоритм має бути більш привабливим для інтеграції на такі платформи як Open Edx).

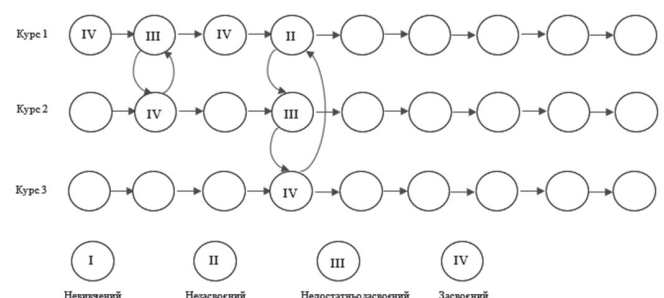


Рис. 7. Приклад визначення персоналізованого сценарію проходження розділів курсу

Також в алгоритмі передбачений ліміт на глибину рекомендацій щодо сценарію проходження курсу, щоб уникнути ситуації, коли деякі студенти мають проходити курс занадто довго.

6. Результати експериментального дослідження

В експериментах з динамічним плануванням контенту курсу за допомогою запропонованого алгоритму (на прикладі курсу «Штучний інтелект») були використані інтерфейси прикладного програмування (API). Студенти, що приймали участь в експериментах, дотримувалися початкової послідовності засвоєння тем з подальшим використанням стратегії зворотного зв'язку для формування персоналізованого шляху навчання на основі автоматизованого оцінювання станів навчання.

Для побудови концептуального графа дисципліни «Штучний інтелект» анутовалися концепти

із субтитрів курсів цього напрямку. Потім налаштувалася класифікаційна мережа RoBERTa для всіх відеосубтитрів і вибиралися фрагменти, впевненість яких перевищувала 0,85, як кандидати на концепти. Експериментальні результати показують, що метод RoBERTa-NER витягує більш дрібні концепти, ніж стандартний пошук і зв'язування сутностей.

Завдяки побудові концептуального графа ми можемо збагатити асоціацію гетерогенних ресурсів МВОК та інтегрувати більше типів зовнішніх ресурсів. Для неоднорідних MOOK-ресурсів проводиться анотація концепту, щоб зв'язати їх у концептуальному графі.

На рис. 8 наведено приклад опису ресурсу курсу «Штучний інтелект», що пропонується для онлайн навчання з використанням платформи Open edX.

CourseId	CName	Field	ChapterId	VideoId	VideoText	ExerciseId	ProblemId	ProblemText	PType
C_1729	Artificial Intelligence	CS	L_4522	V_59697	AI is the intelligence exhibited by machines or software.	Ex_7552	Pm_14512	Which of the following are the research fields of AI? A:...	0
						Ex_7554	Pm_14520	What is the AI method to represent information by symbols and their relationship?	2

Рис. 8. Приклад опису ресурсу курсу «Штучний інтелект»

У прикладі показано метаінформацію, назву курсу, номер завдання, відео, виділені концепти та відповідні проблеми в курсі «Штучний інтелект».

На рис.9 наведено приклад відображення поведінки студента в процесі онлайн навчання.

UserId	CourseId	CName	VideoId	ExerciseId	ProblemId	Answer	Comment	Reply	Time
U_112	C_1729	Artificial Intelligence	V_59697	\	\	\	Is the Turing test complete?	\	2020-04-20 16:57:50
			\	Ex_7552	Pm_14512	A	\	\	2020-04-21 10:14:13
			\	Ex_7554	Pm_14520	Symbolicism	\	\	2020-04-23 14:29:06
			V_59703	\	\	\	\	I think understanding and intelligence are two things...	2020-04-26 21:35:45

Рис. 9. Приклад відображення поведінки студента в процесі онлайн навчання (курс «Штучний інтелект»)

У прикладі показано поведінку під час перегляду відео, поведінку вправ та поведінку коментування та відповіді студента U_112 з курсу «Штучний інтелект».

Існуючі ресурси MOOK зберігають лише дуже слабкі зв'язки через структуру курсу. Пов'язуючи різні ресурси з детальним концепт-графом, є можливість збагатити їхні зв'язки на рівні знань. Оскільки концепти витягуються з субтитрів відео, відео природно анотуються тонкими поняттями. Проте інші типи ресурсів досі не мають концептуальних анотацій. Для кожного курсу його концепти є об'єднанням його відео концептів.

Для оцінки ефективності запропонованого підходу було класифіковано поведінку групи студентів у онлайн-навчанні з курсу «Штучний інтелект» на дві категорії: ефективна поведінка та неефективна поведінка. Поведінка, що сприяла отриманню незасвоєних і недостатньо засвоєних знань (згідно з персоналізованим сценарієм навчання), була визначена як ефективна поведінка. В іншому разі поведінка студента визначалася як неефективна. Ефективність навчального шляху була визначена наступним чином

$$EBR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[1 - \frac{U_i^{rep}}{U_i} \right], \quad (5)$$

де N – кількість студентів; U_i – довжина навчального шляху i -го студента; U_i^{rep} – кількість повторних засвоєнь знань навчального шляху i -го студента.

Після розрахунку середній показник ефективної поведінки у групі з 10 студентів склав близько 90%.

Це вказує на те, що запропонований алгоритм динамічного планування шляху навчання може точно виявити ефективні сценарії та підвищити ефективність навчання в МООК.

Висновки

Існуючі платформи МВОК не завжди можуть забезпечити персоналізовані послідовності навчання студентів. В даній роботі запропоновано підхід, який сприятиме реалізації персоналізованого планування навчального шляху на основі своєчасної діагностики стану навчання студентів.

Перевагою розглянутого алгоритму, окрім врахування складності кожного модуля та використання інформації про поведінку студента для аналізу засвоєння знань, є також те, що персоналізований підхід до планування схеми засвоєння навчального матеріалу може сприяти використанню різних варіантів курсів у побудові сценаріїв онлайн-навчання.

Перспективним напрямком розвитку запропонованого підходу є використання останніх досягнень в дизайні онлайн навчання та методів розширення платформи Open edX на основі генеративних штучних нейронних мереж.

Список літератури

- [1] Арешонков В.Ю.(2020) Цифровізація вищої освіти: виклики та відповіді. Вісник НАПН України, № 2(2). С. 1-6.
- [2] Курінний А., Вольвач В., Дарій В. (2017). Створення та розробка онлайн курсу на платформі open edX. Медична освіта. №2. 37-40 Режим доступу: <https://doi.org/10.11603/me.2414-5998.2017.2.7608>
- [3] Мала І. (2022). Дистанційне навчання як дієвий інструмент управлінської освіти. Вчені записки Університету «КРОК», 2(66), 132–151. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-66-132-151>
- [4] Massive Open Online Course (МООК) (2020). [http://www.prnewswire.com/newsreleases/massive-open-online-course-](http://www.prnewswire.com/newsreleases/massive-open-online-course-mooc-market-size-to-grow-from-usd-183billion-in-2015-to-usd-850-billion-by-2020-)
- [mooc-market-size-to-grow-from-usd-183billion-in-2015-to-usd-850-billion-by-2020-](http://www.prnewswire.com/newsreleases/massive-open-online-course-mooc-market-size-to-grow-from-usd-183billion-in-2015-to-usd-850-billion-by-2020-)
- [5] Belinskiy.A. (2021) Exploring engagement profiling in MOOCs through Learning Analytics: The Open edX Case, 24–27 p.
- [6] Niknam M., Thulasiraman P. (2020). LPR: A bio-inspired intelligent learning path recommendation system based on meaningful learning theory. Educ. Inf. Technol. 2020, 25, 3797–3819.
- [7] Hailong Jin, Chengjiang Li, Jing Zhang, Lei Hou, Juanzi Li, and Peng Zhang (2018). XLORE2: Large-scale cross-lingual knowledge graph construction and application. Data Intelligence 1, 77–98.
- [8] Jing Zhang, Yixin Cao, Lei Hou, Juanzi Li, and Hai-Tao Zheng (2017). XLink: An Unsupervised Bilingual Entity Linking System. In Chinese Computational Linguistics and Natural Language Processing Based on Naturally Annotated Big Data, Maosong Sun, Xiaojie Wang, Baobao Chang, and Deyi Xiong (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 172–183.
- [9] Удовенко С., Чала Л. (2022) Алгоритм персоналізації контенту навчальних курсів на основі платформи Open Edx. Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-методичної інтернет конференції «Актуальні проблеми освітньо-виховного процесу та шляхи їх вирішення в умовах сучасних викликів». Харків: ХНАДУ. 398-401. URL: https://fmab.khadi.kharkov.ua/index.php?id=1281&no_cache=1
- [10] Удовенко С., Чала Л., Гриньова О. (2019) Метод аналізу зв'язків між концептами предметних онтологій. Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем». Дніпро. 264-265 Режим доступу: http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2019/12/MPZIS_2019.pdf
- [11] Jing Zhang, Yixin Cao, Lei Hou, Juanzi Li, and Hai-Tao Zheng (2017). XLink: An Unsupervised Bilingual Entity Linking System. In Chinese Computational Linguistics and Natural Language Processing Based on Naturally Annotated Big Data, Maosong Sun, Xiaojie Wang, Baobao Chang, and Deyi Xiong (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 172–183.
- [12] Rohloff T.; Sauer D.; Meinel C. (2019) On the acceptance and usefulness of personalized learning objectives in MOOCs. In Proceedings of the the Sixth ACM Conference on Learning@Scale, Chicago, IL, USA, 24–25 June 2019; pp. 1–10.

Надійшла до редколегії 18.10.2023