

УДК 004.9:378

Лендюк Т.В.

*викладач кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління  
Тернопільського національного економічного університету*

## АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ ТА НЕЧІТКА ЛОГІКА ПРИ ПОБУДОВІ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НАВЧАННЯ

### ADAPTIVE LEARNING AND FUZZY LOGIC IN INDIVIDUAL LEARNING PATH GENERATION

#### АНОТАЦІЯ

У статті вирішено актуальне завдання формування індивідуальної траєкторії навчання в системі дистанційного навчання за допомогою стандарту SCORM. Запропоновано нові поля метаданих навчальних об'єктів у пакеті SCORM. Показано, що сучасна освіта повинна адаптуватися до індивідуальних характеристик студента в контролі знань і формуванні індивідуальної траєкторії навчання. Запропоновано формування індивідуальної траєкторії навчання з використанням навігації у навчальному матеріалі з вибором послідовності навчальних фрагментів.

**Ключові слова:** індивідуальна траєкторія навчання, система дистанційного навчання, пакет SCORM, навчальний фрагмент, метадані, послідовність навчальних фрагментів.

#### АННОТАЦИЯ

В статье решена актуальная задача формирования индивидуальной траектории обучения в системе дистанционного обучения с помощью стандарта SCORM. Предложены новые поля метаданных учебных объектов в пакете SCORM. Показано, что современное образование должно адаптироваться к индивидуальным характеристикам студента в контроле знаний и формировании индивидуальной траектории обучения. Предложено формирование индивидуальной траектории обучения с использованием навигации в учебном материале с выбором последовательности учебных фрагментов.

**Ключевые слова:** индивидуальная траектория обучения, система дистанционного обучения, пакет SCORM, учебный фрагмент, метаданные, последовательность учебных фрагментов.

#### ANNOTATION

Actual task of generation of individual learning path in learning management system using SCORM package is solved. Learning objects metadata enriching in SCORM package with new fields is proposed. It was shown that modern education must adapt to the individual student's characteristics in knowledge control and generation of individual learning path. The generation of individual learning path using the navigation in learning contents with choice of learning objects sequence is proposed.

**Keyword:** individual learning path, learning management system, SCORM package, learning objects, metadata, learning objects sequence.

**Постановка проблеми.** Роль освіти у формуванні економіки, заснованої на знаннях, важлива як ніколи. На даний час існують і розвиваються різні методи представлення та опису знань, наприклад, продукційні моделі, семантичні мережі, фрейми, таксономії, онтології тощо. Із них в якості найперспективнішої моделі представлення знань розглядаються онтології [3, с. 78]. Світовою тенденцією в сфері освіти є використання систем дистанційного навчання (СДН), які використовуються для навчання, підвищення кваліфікації, самопідготовки тощо. Головними недоліками існуючих систем СДН є

відсутність адаптації навчального матеріалу до потреб студентів, а також те, що електронні навчальні матеріали, розроблені у різних СДН, часто є несумісними. Внесення можливості адаптації в СДН спрямоване на індивідуалізацію навчання і формування моделі слухача та побудову певного ланцюжка навчального матеріалу – індивідуальної навчальної траєкторії. Перспективним напрямком є використання навчальних матеріалів підготованих у стандарті SCORM, що можуть зчитуватися усіма СДН і забезпечити адаптивність завдяки використанню можливості приховування навчальних фрагментів залежно від рівня знань особи, що навчається.

Тобто можна узагальнити, що дане дослідження є актуальним при розробці моделей побудови індивідуальної траєкторії навчання. При такому підході орієнтовані системи дистанційного навчання – це інтерактивні системи зі зворотним зв'язком для адаптивної видачі навчального матеріалу [2, с. 186].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У сферу досліджень управління процесом навчання та структуризацію навчального контенту з використанням інформаційних технологій зробили вагомий внесок такі науковці, як В.С. Аванесов, А.А. Андреев, Г.А. Атанов, А. Бірнбаум, П. Брусиловський, Д. Вейсс, М.З. Згуровський, Н. Краудер, В.М. Кухаренко, К. Лімонгеллі, Ф.М. Лорд, Р. Міллер, С. Прессі, Г. Раш, Б.Ф. Скіннер, С. Тассо, В.М. Томашевський, В.М. Тонконогий, П.І. Федорук, А.В. Хуторской, М.Б. Челишкова, Е. Шварц. Проблеми автоматизації процесу тестування і обробки його результатів достатньо повно досліджені в літературі. Однак задачі автоматизації формування банку тестових завдань досліджено значно менше. Серед науковців, що працювали над даним питанням, варто відзначити О.І. Башмакова, О.О. Гагаріна, С.В. Титенка, А.Н. Швецова. Проблемам онтологій та семантичного Вебу присвячені праці Т.А. Гаврилової, Т. Грубера, В. Деведіча, Р. Мізогучі, Н. Ной, Дж. Охлера, А.Ф. Тузовського, Дж. Хендлера.

**Мета статті** – комп'ютеризоване формування індивідуальної траєкторії навчання у середовищі СДН з використанням навчального матеріалу приготованого у форматі пакету SCORM із приховуванням занадто складних навчальних фрагментів відповідно до рівня знань слухачів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Весь навчальний матеріал повинен поділитися на навчальні фрагменти, або об'єкти. Термін «навчальний об'єкт», який походить від англійського терміну Learning Object (LO), у науково-методичній літературі використовується відносно недавно. Існує багато інших визначень навчальних об'єктів, наприклад, «Навчальний об'єкт – це будь-який цифровий файл, призначений для повторного використання із педагогічною метою, що включає пропозиції, в якому контексті він може бути використаний» [10].

Однією з переваг використання інформаційних технологій у навчанні є можливість використання адаптивного навчання. СДН з можливістю адаптації готує для студента навчальний матеріал з врахуванням його індивідуальних особливостей і формує індивідуальну траєкторію навчання з використанням навчальних фрагментів заданого рівня складності та додаткового навчального матеріалу відповідно до результатів проміжного тестування.

Що таке індивідуальна траєкторія навчання? Наприклад, П. Брусиловський вважає, що послідовність курсу спрямована на допомогу студенту знайти оптимальний шлях «в навчальному матеріалі» [6, с. 25]. К. Лімонгеллі вважає, що генерування курсу для студента може розглядатися як індивідуальна траєкторія навчання (набір дій), які студент має вивчити (виконати) для досягнення цільового рівня знань [9, с. 2682]. Грецькі вчені Карампіперіс та Сампсон розглядають визначення послідовності навчальних ресурсів як навчальний шлях [7, с. 130].

Адаптивне навчання призначене для підготовки навчального матеріалу з врахуванням індивідуальних особливостей студента. Для цього його необхідно тестувати після вивчення кожної теми та визначати рівень знань хоча б приблизно, в тому числі з використанням нечітких правил.

Основним недоліком класичного тестування є фіксована кількість питань тесту. На подолання цього недоліку спрямована система комп'ютерного адаптивного тестування, в якій є можливість адаптації до особливостей слухача. В адаптивному тесті спочатку задається питання середньої складності. Якщо відповідь правильна, то задається складніше питання. Якщо ж відповідь неправильна, то комп'ютер пропонує простіше питання. При такому тестуванні оцінка рівня знань стає точнішою, а тест триває, поки точність оцінки досягне прийняттого рівня або коли буде задано максимальну кількість питань.

Адаптивне тестування – це сукупність процесів генерації, пред'явлення та оцінки результатів виконання адаптивних тестів, що забезпечує приріст ефективності вимірювань в порівнянні з традиційним тестуванням завдяки оптимізації підбору характеристик завдань, їх кількості, послідовності і швидкості пред'явлення стосовно особливостей підготовки тестованих [5, с. 263].

На даний час існує багато СДН, котрі не можуть обмінюватися навчальним матеріалом та

оцінками студентів, що пов'язано з використанням різних стандартів. Проте ринок відгукнувся на цю ситуацію формуванням ініціатив щодо стандартизації – консорціумів розробників систем і контенту, було створено галузеві специфікації і стандарти, найважливішими з котрих є стандарти AICC і ADL SCORM, а також специфікації консорціуму IMS. Найважливішим результатом роботи ADL стало створення концепції, специфікацій і керівництва, об'єднаних назвою SCORM (Shareable Content Object Reference Model) – промисловий стандарт для обміну навчальними матеріалами на базі концептуальної моделі стандарту IEEE 1484.12.1 [1, с. 123].

Основою моделі SCORM є модульна побудова підручників і навчальних посібників. Модулі навчального матеріалу в SCORM називаються поділюваними об'єктами контенту Shareable Content Objects (SCO). SCO – це автономна одиниця навчального матеріалу, що має метадані та змістовну частину. SCO можуть в різних поєднаннях об'єднуватися один з одним у складі підручників і навчальних посібників.

В основі Web-онтології лежать властивості, класи, об'єкти і обмеження, котрі реалізують уявлення про об'єкти у вигляді множини сутностей, що характеризується певним набором властивостей. Ці сутності перебувають в певних відносинах і об'єднується за певними ознаками в групи. В рамках навчальних процесів застосування Web-онтологій дає можливість специфікувати основні компоненти навчальних дисциплін – лекції, практичні, лабораторні роботи, навчальні матеріали, а також забезпечити можливість організації ефективного розподіленого доступу до навчальних ресурсів шляхом створення єдиної бази знань, котра поєднує в собі навчальні дисципліни і може бути розподіленою в мережі Інтернет, що зробить її незалежною від інтерпретації конкретного навчального процесу. Внаслідок цього роль навчальної системи може бути зведена до ролі інтелектуального агента, що проводить вибірку з бази знань або її зміну залежно від контексту навчання. Також можливо проводити тестування, генеруючи контрольні завдання відповідно до семантики описаних онтологій конкретних навчальних курсів.

Онтологія навчального фрагменту включає наступні класи: автор, тема, опис, видавець, спонсор, дата, тип, формат, ідентифікатор, джерело, мова, зв'язки, охоплення, права. Клас «тип» навчального матеріалу містить дані про його тип (базовий теоретичний матеріал, додатковий теоретичний матеріал роз'яснюючий матеріал, задачі на виконання). Дуже важливим класом для побудови індивідуальної траєкторії навчання є клас складності, за допомогою якого і формується набір навчального матеріалу. Простіше кажучи, тут задається максимальний бал студента за опрацювання даного навчального фрагмента. Також важливим є час вивчення навчального фрагмента

при відомій складності і рівні знань, тобто коли складність навчального фрагмента вища від рівня знань – час вивчення зростає, у протилежному випадку – зменшується. На рис. 1 наведено онтологію навчального фрагменту.

Для визначення рівня складності навчальних об'єктів потрібно провести початкове тестування і занести результати тестування в матрицю тестування. Після цього буде видно, які завдання слід відкинути з обробки результатів тестування (завдання, на котрі відповіли всі або ніхто не відповів, а також оцінки слухачів, які дали правильні відповіді на всі запитання або не дали жодного). Після цього відкидаються завдання, котрі мають слабку кореляцію із отриманими балами (менше 0,2). Також доцільно опрацювати дистрактори на питання і замінити відповіді, котрі вибрало менше 5% опитуваних.

Після цього потрібно скорегувати середню складність групи питань і середньо-квадратичне відхилення. Таким чином, складність питань стає незалежною від рівня знань вибірки студентів.

На відміну від класичної теорії тестування можна запропонувати Item Response Theory (IRT). Звичайно, апарат IRT є досить складним, і тому починати розробку тесту потрібно, ґрунтуючись на класичній теорії, незважаючи на її низьку ефективність та істотні недоліки. Тому простіше спочатку використати апарат класичної теорії тестів, щоб усунути з тесту найпростіші і найскладніші запитання, а також питання, що погано корелюють із отриманими результатами. А після цього вже можна застосовувати математичний апарат IRT.

Реалізація запропонованого механізму дає змогу побудувати індивідуальну навчальну траєкторію. При цьому слухач забезпечується теоретичними знаннями, вправами для вивчення теорії, інструктивними матеріалами для виконання вправ, відповідно до моделі слухача. Врахування параметрів моделі слухача пришвидшує процес навчання та забезпечує слухача навчальним матеріалом відповідно до його індивідуальних особливостей.

Як складність питань, так і рівень знань студентів визначаються в логітах, які теоретично можуть змінюватися від  $-\infty$  до  $+\infty$ , але рекомендованими межами є від  $-5$  до  $+5$  [5, с. 277]. Проте для підготовки навчального матеріалу певної складності і для виставлення оцінки студентам потрібно перевести їх оцінку або складність питань в звичну систему оцінювання: п'ятибальну, дванадцятибальну чи стобальну. Для цього можна використати наступну формулу, де шкала логітів зміщується так, щоб вона починалася з нуля, а потім отриманий відрізок масштабується на бажану систему оцінювання:

$$C_i = \frac{(\theta_i + 5) \cdot M_{\max}}{10},$$

де  $C_i$  – переведення оцінки  $i$ -го студента,  $\theta_i$  – логіт успішності  $i$ -го студента,  $M_{\max}$  – максимальна оцінка у вибраній системі оцінювання. Наприклад, логіт  $+2,9$  при переведенні у стобальну систему оцінювання має вигляд:

$$C_i = \frac{(2.9 + 5) \cdot 100}{10} = 79.$$

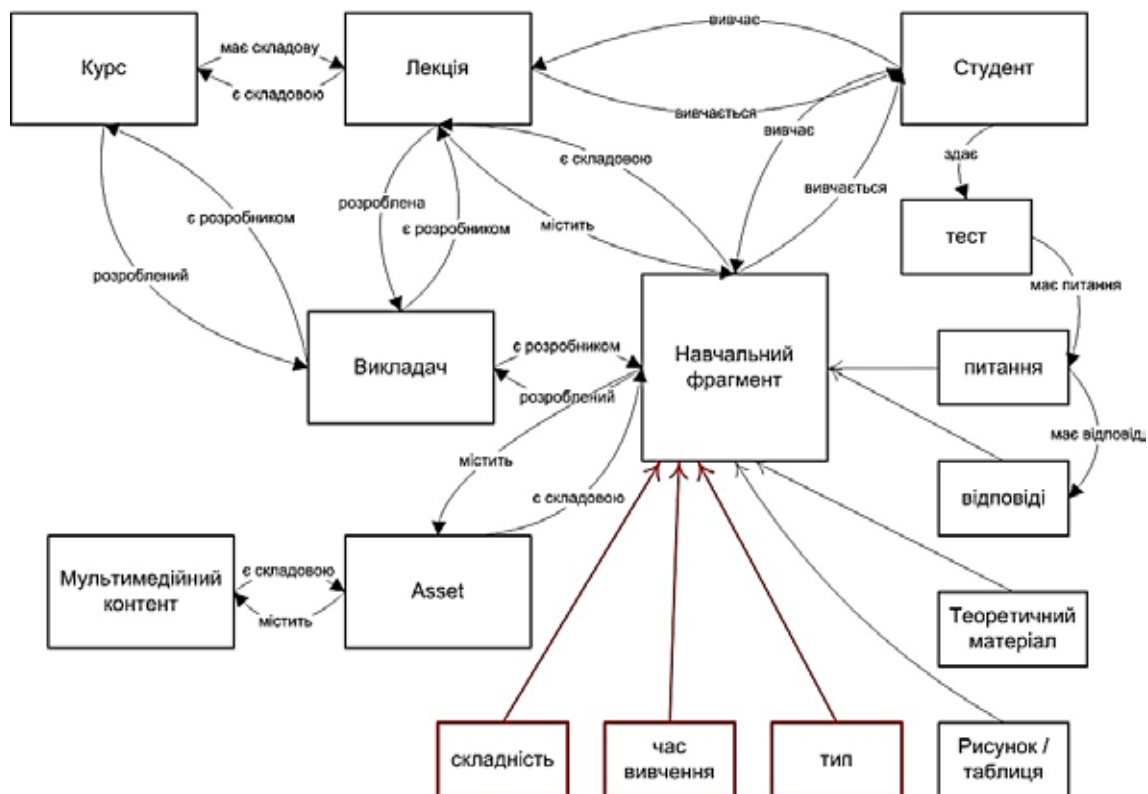


Рис. 1. Зв'язки в онтології навчального фрагменту

Потрібно зауважити, що від'ємні логіти складності питань свідчать про їх недостатню складність, а від'ємні логіти рівня підготовки студентів свідчать про недостатню підготовку.

Постає завдання оптимального підбору навчальних фрагментів для індивідуальної траєкторії навчання з врахуванням їх складності та часу вивчення, а також рівня знань слухачів.

При нечіткому підході шкала оцінювання навчальних досягнень студента може бути 100-бальною, 12-бальною, чотирибальною: «незадовільно», «задовільно», «добре», «відмінно». Два останні варіанти є нечіткими системами і, за даними [4, с. 132], краще сприймаються студентами.

При адаптивному тестуванні складність завдання, яке дається студентові, може бути визначена у вигляді певної кількості балів або відсотків, або ж з використанням нечіткої логіки, за рішенням експерта. Оцінку за відповідь на питання тесту також можна розглядати як нечітку. Нечіткі моделі є достатньо прозорими та зрозумілими і тому не поступаються іншим методам, особливо тим, змістовна інтерпретація яких важливіша за точність моделювання.

Тестування розпочинається з середнього рівня складності завдань. Студентові дається блок питань заданого рівня складності. Після відповіді на питання система КАТ визначає рівень складності наступного блоку питань, враховуючи процент правильних відповідей, рівень складності блоку питань та часу, витраченого на відповідь на питання за такою формулою:

$$C_{i+1} = f(C_i, p_i, t_i, Rz),$$

де,  $C_i$  – складність поточного блоку питань,  $p_i$  – відсоток правильних відповідей на поточний блок питань,  $t_i$  – час відповіді на поточний блок питань,  $Rz$  – рівень знань студента,  $C_{i+1}$  – складність наступного блоку питань.

Таким чином, отримуємо процедуру адаптивного тестування, в якій складність завдань змінюється залежно від правильності відповідей, з використанням апарату нечіткої логіки. Це спричинено тим, що поняття рівня знань студента, правильності відповідей на питання, складність завдань і навіть визначення нормативного часу на відповідь є нечіткими величинами.

Контроль часу при відповідях на запитання вводиться для пришвидшення тестування і уникнення списування. Коли ж студент тривалий час не обирає вірну відповідь, то у нього, ймовірно, є недостатнім рівень знань або питання занадто складне. Тому потрібно вибрати оптимальний час відповіді на кожне питання або блок питань залежно від їх складності. Результат студента може обраховуватися наступним чином, залежно від часу відповіді на питання:

$$R_i = \begin{cases} 1 - \frac{(t_i - t_{max})}{100}, & \text{якщо відповідь вірна} \\ 0, & \text{якщо відповідь невірна} \end{cases}$$

Якщо  $R_i > 2$ , то  $R_i = 1$ , час відповіді малий

Якщо  $R_i \geq 1$ , то  $R_i = 1$

Якщо  $R_i < 1$ , то  $R_i = 0$

Якщо  $R_i < 0$ , то  $R_i = 0$ , час відповіді тривалий

де,  $t_i$  – час відповіді на поточний блок питань,  $t_{max}$  – максимальний час відповіді на блок питань,  $R_i$  – оцінка за відповідь на блок питань.

Як можна побачити з наведених формул, оцінка є нечіткою, «0» або «1», тобто відповідь на питання «зараховано» або «не зараховано».

Виходячи з вищенаведеного, можна сформулювати продукційні правила нечіткої логіки для визначення рівня складності наступного блоку питань, наприклад:

Якщо  $p_i \leq 33\%$  тоді  $C_i$  необхідно зменшити;

Якщо  $C_i$  низька тоді  $C_i$  необхідно збільшити;

Якщо  $t_i$  тривалий тоді  $C_i$  необхідно зменшити.

Звідси видно, що для визначення рівня складності наступного блоку питань потрібно брати до уваги одночасно три показники (частку відповідей, складність блоку питань та час відповіді на блок питань), наприклад, коли:

$p_i = 0$ ,  $C_i$  – низька,  $t_i$  – малий, складність зменшити на 1,3 логіта;

$50 < p_i < 100$ ,  $C_i$  – низька,  $t_i$  – малий, складність збільшити на 0,8 логіта;

$p_i = 0 < p < 50$ ,  $C_i$  – середня,  $t_i$  – середній, складність зменшити на 0,5 логіта;

$p_i = 100$ ,  $C_i$  – середня,  $t_i$  – тривалий, складність збільшити на 1,1 логіта.

Підготовка тестів для адаптивного тестування є досить трудомістким процесом. Для надійної роботи системи автоматизованої підготовки навчального матеріалу потрібно сформулювати навчальний матеріал, визначити рівень складності його всіх навчальних фрагментів, їх послідовність та зв'язки між ними, розподілити матеріал на базовий та додатковий, визначити рівень знань студентів, що навчаються дистанційно, і видавати їм навчальний матеріал, адаптований відповідно до їх рівня знань.

Проходячи тестування, студент отримує оцінки за проміжні та завершальні тести по кожній темі. Таким чином, під час адаптивного навчання формується і постійно заповнюється модель студента, тобто дані про нього, де вказуються вивчені теми, здані тести, складність питань, фіксуються відповіді та затрачений час на них, отримані оцінки. Іншими словами, модель студента складає його профіль в СДН.

На початку навчання, коли модель студента ще не заповнена, потрібно зареєструвати студента, провести початкове тестування і заповнити його початкову модель. Таким чином, точка входу студента в систему адаптивного навчання залежить від його попередніх оцінок, а у разі відсутності записів – від оцінки за попереднє тестування.

За даними моделі студента формується індивідуальна траєкторія навчання із навчальних фрагментів заданого рівня складності. Потім студент вивчає підготовлений навчальний матеріал, проходить навчальні тести, розв'язує задачі, відповідає на контрольні питання. Після завершення навчання йому даються тестові запитання.

СДН перевіряє рівень знань студента, і, у випадку, коли студент має низький бал і претендує на отримання базового рівня знань, спрямовує його на повторне вивчення, додаючи до індивідуальної траєкторії навчання роз'яснюючий матеріал та нові задачі.

Коли ж студент після тестування отримує мінімально-необхідний або вищий бал, йому пропонується вивчення матеріалу на наступному вищому рівні складності. Якщо студент погоджується, то навчання продовжується, а до навчального матеріалу додаються навчальні фрагменти вищого рівня складності. Коли студент не погоджується, то він завершує вивчення навчального матеріалу [8, с. 768]. Схему адаптивного навчання наведено на рис. 2.

Тобто навчальна система контролює, щоб студент отримав відповідний навчальний матеріал і здав тести із гарантованим мінімальним балом, а отримання вищого балу залежить вже від бажання студента.

Для дистанційного навчання потрібно в більшій мірі використовувати комп'ютеризоване навчання – навчальна система повинна наближено визначити рівень знань студента і запропонувати йому навчальний матеріал відповідно його рівню знань. Коли під час тестування виявляється недостатність рівня знань студента, він повинен вивчити додатковий матеріал, повторити вже вивчений, виконати задачі та повторно протестуватися.

При тестуванні студенту даються блоки навчальних тестових питань, що складаються із трьох питань кожен. При більшості правильних відповідей студент переходить на вищий рівень складності питань, при більшості невірних відповідей – переходить на нижчий рівень складності.

Ще однією важливою особливістю для забезпечення можливості адаптивного навчання є наявність ознаки видимості навчального фрагменту. Цим забезпечується можливість приховування складних навчальних фрагментів від

студентів, які отримали низькі оцінки з тестів, і надалі, чим вищий рівень знань студента, тим більше навчальних фрагментів йому доступно для вивчення. Увесь обсяг навчальних фрагментів доступний для студентів із найвищим рівнем знань.

Після проведення проміжного тестування адаптивна система визначає прогалини в знаннях студента. У випадку отримання результату меншого, ніж було заплановано, видається навчальний матеріал для роз'яснення, який теж розміщений в даному пакеті, але на початку вивчення був прихованим.

Реалізована можливість побудови індивідуальної траєкторії навчання забезпечує зменшення часу навчання і вчить студента працювати самостійно. Даний підхід реалізовано у вигляді плагіну для СДН Moodle, котрий забезпечує приховування окремих навчальних фрагментів відповідно до рівня знань студента. У результаті від кожного студента формується перелік навчальних фрагментів, що виводяться на монітор для вивчення, і котрі фактично є складовими індивідуальної траєкторії навчання студента.

Для того щоб адаптивне тестування не стало нескінченним, його тривалість необхідно обмежувати. Спочатку студенту дається блок питань середньої складності, наприклад, на 80 балів. Якщо студент відповідає правильно на три питання – складність наступного блоку підвищується на 20 балів, якщо на два – складність наступного блоку підвищується на 10 балів. Якщо складність наступного блоку 100 балів і він правильно відповідає на два або три питання, то тестування припиняється. При двох неправильних відповідях складність наступного блоку зменшується на 10 балів, а при трьох – складність наступного блоку зменшується на 20 балів. Якщо складність наступного блоку складає 40 балів і студент неправильно відповідає на два або три питання, то тестування припиняється. Якщо у студента набирається

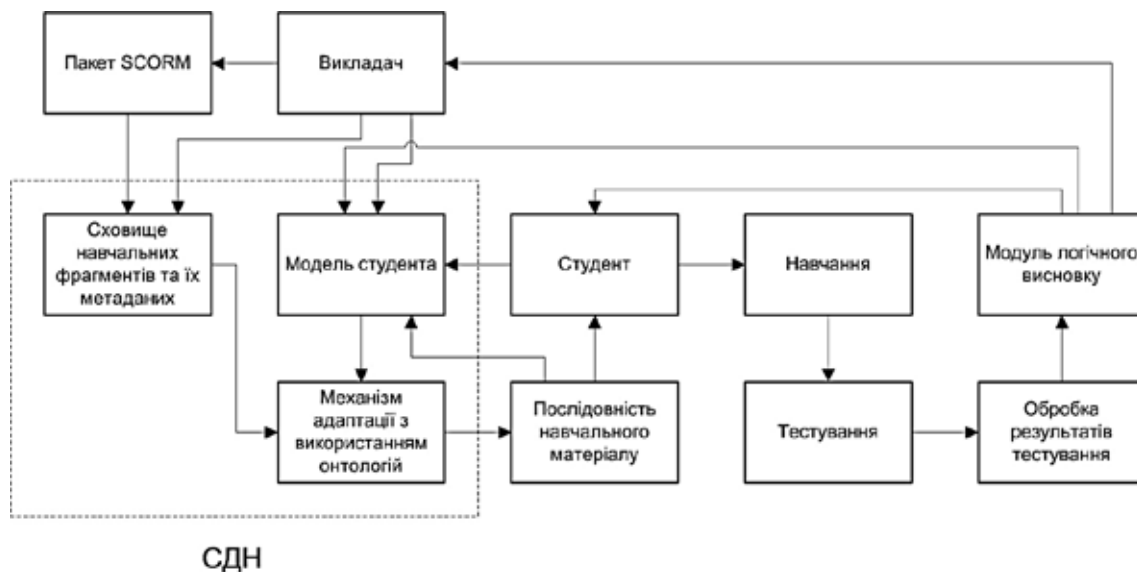


Рис. 2. Схема адаптивного навчання

три цикли «зростання – спадання» або «спадання – зростання» складності, коли відбувається зміна напрямку складності, то тестування припиняється. Алгоритм припинення адаптивного тестування наведено на рис. 3.

**Висновки.** Розв'язана актуальна наукова задача створення індивідуальної траєкторії навчання студента в СДН Moodle з використанням пакету SCORM. Навчальні фрагменти необхідно доповнювати метаданими і оформляти з використанням стандарту SCORM для досягнення незалежності контенту від програм управління

з подальшим використанням в СДН. Рекомендовано використання технологій семантичного Вебу для семантичного Web-серверного зберігання і видачі навчальної інформації користувачеві на базі онтології. Показано, що сучасне дистанційне навчання повинне адаптуватися до індивідуальних особливостей студента при організації контролю знань і побудові індивідуальної траєкторії навчання при формуванні відповідного навчального матеріалу. Запропоновано механізм побудови індивідуальної навчальної траєкторії з використанням навігації в мережі навчальних фрагментів з вибором навчальних фрагментів. Розроблено нечіткі правила узгодження рівня складності питань при адаптивному тестуванні в системах дистанційного навчання.

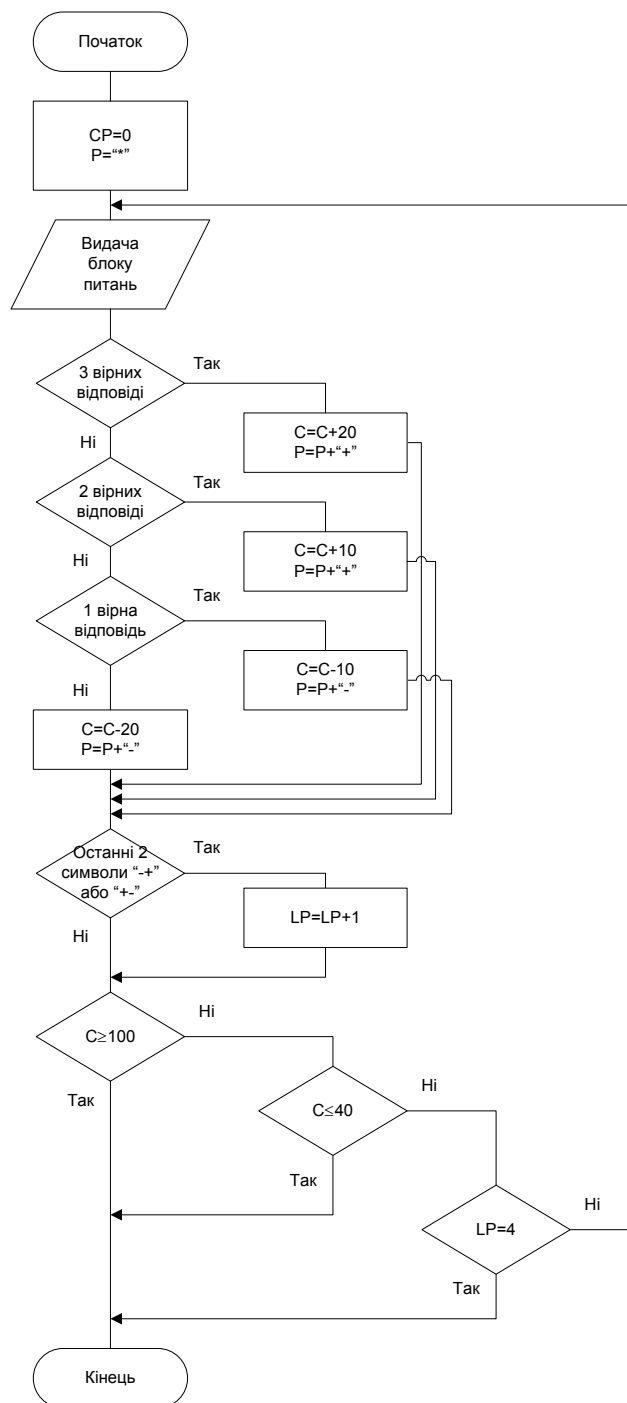


Рис. 3. Алгоритм припинення адаптивного тестування

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Глибовець М.М. Роль стандартів у системах електронного навчання / М.М. Глибовець // Наукові праці Державного гуманітарного університету ім. П. Могили. Серія «Комп'ютерні технології». – 2011. – Вип. 148. – Т. 160. – С. 122–129.
2. Снитюк В.Е. Элементы знаниеориентированных систем профессиональной подготовки адаптивного типа / В.Е. Снитюк, К.Н. Юрченко // Вестник ХНТУ. – 2010. – № 2(38). – С. 180–186.
3. Тузовский А.Ф. Системы управления знаниями (методы и технологии) / [А.Ф. Тузовский, С.В. Чириков, В.З. Ямпольский]; под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
4. Федорук П.І. Модель адаптивного тестування з нечіткою логікою / П.І. Федорук, С.М. Масловський // Математичні машини і системи. – 2009. – № 1. – С. 131–137.
5. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: [учеб. пособ.] / М.Б. Чельшкова. – М.: Логос, 2002. – 432 с.
6. Brusilovsky P. Domain, Task, and User Models for an Adaptive Hypermedia Performance Support System / P. Brusilovsky, D.W. Cooper // Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces, San Francisco, 2002, P. 23–30.
7. Karampiperis P. Adaptive Learning Resources Sequencing in Educational Hypermedia Systems / P. Karampiperis & D. Sampson // Educational Technology & Society, Vol. 8, Issue 4, 2005, P. 128–147.
8. Lendyuk T. Simulation of Computer Adaptive Learning and Improved Algorithm of Pyramidal Testing / Taras Lendyuk, Sergey Rippa, Svitlana Sachenko // Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 12-14 September 2013, Berlin, Germany. – P. 764–769.
9. Limongelli C. Configuration of Personalized e-Learning Courses in Moodle / Carla Limongelli, Giuseppe Sampietro, Marco Temperini // in Proceedings of the International Conference on «Computer as a Tool» EUROCON 2007, Warsaw, September 9-12, 2007, P. 2680–2686.
10. Sosteric M. When is a Learning Object not an Object: A first step towards a theory of learning objects / M. Sosteric, S. Hesemeier // Vol. 2, No. 3 issue of International Review of Research in Open and Distance Learning, Canada, 2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.irrod.org/index.php/irrod/article/view/106/185>.