

## МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ АДАПТИВНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НАВЧАННЯ

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ

*Подано розроблені та апробовані нові методи вирішення проблеми автоматизованої побудови адаптивної траєкторії навчання в інтелектуальних адаптивних системах передачі та контролю знань на основі визначення поточного стану студента, оцінювання ймовірностей переходу між станами в часі в залежності від поставленої навчальної мети, встановлених параметрів конкретного студента та параметрів навчального матеріалу. Запропоновано функціональну оптимізацію адаптивної траєкторії навчання з використанням квантового генетичного алгоритму вищих порядків.*

*Досліджено такі показники якості розробленої адаптивної системи передачі та контролю знань як: релевантність побудованої адаптивної траєкторії навчання, цілісність представлення адаптованого навчального матеріалу, якість контролю знань, якість засвоєння нових знань, зручність та зрозумілість інтерфейсу користувачів, автоматизація процесу структурування та імпорту навчального матеріалу, використовуваність технічних засобів, використовуваність праці викладачів та експертів, час відповіді системи, відновлюваність даних, цілісність бази знань, сумісність.*

*Одним з основних методів дослідження став експеримент, який дозволив оцінити рівень досягнення поставленої мети та технічні параметри програмних засобів. Експериментом вважається автоматизована побудова і вибір оптимальної для конкретного студента адаптивної траєкторії навчання, проходження занять студентом відповідно до цієї траєкторії, внесення цієї адаптивної траєкторії у базу знань системи із зазначенням оцінки рівня досягнення поставленої мети. Таким чином, кожне проходження дисциплін студентами уточнює і удосконалює процедуру побудови адаптивної траєкторії навчання з урахуванням накопичених знань. Розроблена адаптивна система передачі та контролю знань удосконалюється і «навчається» в процесі навчання студентів.*

*Визначено методи оцінки ймовірності досягнення поставленої навчальної мети в залежності від параметрів моделі студента і параметрів адаптивної траєкторії навчання.*

*Впровадження і використання розробленої інтелектуальної адаптивної системи передачі та контролю знань дозволяє підвищити якість навчального процесу, раціональніше використовувати трудові, технічні та матеріальні ресурси закладів освіти шляхом автоматизації та адаптації процесу оволодіння знаннями.*

**Ключові слова:** інтелектуальна адаптивна система передачі та контролю знань, адаптивна траєкторія навчання, оптимізація функції достовірності, оцінка якості програмного забезпечення.

### Вступ

Під час проектування інтелектуальних адаптивних систем передачі та контролю знань (ІАСПКЗ) необхідно враховувати накопичений досвід в області розробки інтелектуальних навчальних систем і адаптивних гіпермедіа-систем. Інтелектуальні технології, що застосовуються в навчальних Web-системах, беруть свій початок в таких галузях як інженерія знань, машинне навчання, інформаційний пошук, Data Mining та в інших галузях штучного інтелекту.

У світі існує значна кількість e-learning платформ для організації комп'ютеризованого навчання, але більшість із них, використовуючи новітні комп'ютерні технології, зазвичай не є адаптивними [1], [2]. Такі системи застосовують переваги телекомунікаційних технологій, тоді як дедалі більше зростає потреба у технологіях знань. Таким чином, в процесі розробки і поширення навчальних Web-систем виник і розвивається науковий напрям на стику технічних і педагогічних наук — штучний інтелект в освіті.

Функціонування ІАСПКЗ можна описати як постійне прийняття рішень щодо побудови адаптивної траєкторії навчання (АТН) студентів на основі накопичених знань та аналізу поточних ситуацій для досягнення поставленої мети. Одним із важких критеріїв якості даних систем є можли-

вість самонавчання та самовдосконалення в процесі проходження занять студентами. Розвиток та вдосконалення методів та програмних засобів побудови АТН дозволяє підвищити якість та ефективність навчального процесу, раціональніше використовувати людські, технічні та матеріальні ресурси в процесі навчання.

Розгорнутий аналіз адаптивних та інтелектуальних систем навчання викладено в роботах [1]—[3]. Аналіз цих публікацій дав змогу виділити ключові технології та методи, що використовуються в таких системах та зробити висновок, що актуальними слід вважати дослідження, спрямовані на подальший розвиток та удосконалення механізмів автоматизації побудови адаптивної траєкторії навчання з використанням програмних засобів ІАСПКЗ.

В роботі [4] авторами наведена розгорнута класифікація, в основі якої є вибраний метод адаптації: адаптація навігації, адаптація контенту, адаптивна фільтрація контенту, інтелектуальний моніторинг класу, інтелектуальне колективне навчання, автоматичне планування навчального курсу та технології підтримки прийняття рішень.

В роботі [5] для дослідження відібрані сім найпопулярніших відкритих платформ і проведено аналіз їх можливостей. Огляд показав, що, зазвичай, навчальний курс, представлений в середовищі даних систем — це набір статичних гіпертекстових документів. У деяких частково реалізовано принцип адаптивності, який автором оцінювався за 4-х бальною шкалою (табл. 1).

У роботі [6] проаналізовано за великою кількістю параметрів найпоширеніші Web-платформи для організації дистанційного навчання, такі як Management System, IBM Lotus Workplace, Collaborative Learning, WebCT Campus Edition, WebCT Vista 3.0, BlackBoard, Прометей, Moodle, eLearning 3000, WebTutor, Adobe Connect, Microsoft Learning, Gateway (разом із SharePoint Learning Kit), Віртуальний Університет. Цей огляд показав, що досліджувані системи, в основному, є доволі зруч-

Таблиця 1

Оцінка адаптивності відкритих платформ систем дистанційного навчання

Платформа	Адаптивність	Інтернет-адреса
Atutor	1	<a href="http://www.atutor.ca">http://www.atutor.ca</a>
Dokeos	0	<a href="http://www.dokeos.com">http://www.dokeos.com</a>
DotLRN	2	<a href="http://www.dotlrn.org">http://www.dotlrn.org</a>
ILIAS	0	<a href="http://www.ilias.de/index.html">http://www.ilias.de/index.html</a>
LON-CAPA	0	<a href="http://www.lon-capa.org">http://www.lon-capa.org</a>
Moodle	1	<a href="http://moodle.org">http://moodle.org</a>
Sakai	0	<a href="http://sakaiproject.org">http://sakaiproject.org</a>

ним інструментом для організації процесу навчання: доставки статичних навчальних матеріалів, організації контролю знань, формування звітної документації, проте в них не реалізовано інтелектуальну автоматизовану адаптацію навчального процесу до параметрів моделі студента.

Отже, наразі не запропоновано системи, яка б достатньою мірою дозволяла забезпечити оптимальну автоматизовану побудову і підтримку релевантної адаптивної траєкторії навчання, тобто відповідної можливостям та меті навчання студента з урахуванням академічних вимог.

*Метою дослідження є розробка, реалізація і перевірка ефективності методів і програмних засобів автоматизованої побудови релевантної АТН.*

Методи дослідження базуються на ідеях і принципах теорії алгоритмів, теорії прийняття рішень, штучного інтелекту, інженерії знань, інженерії програмного забезпечення, дискретної математики, теорії ймовірностей, статистики та педагогіки.

### Побудова адаптивної траєкторії навчання

Побудова АТН відбувається в процесі адаптивної зміни послідовності і наповнення навчальних занять. Навчальне заняття в ІАСПКЗ — це складна система, яка включає скінчену множину підсистем, що є навчальними блоками (НБ). Кожен НБ характеризується набором параметрів. З набору альтернатив складових занять формується навчальне заняття [7].

Одним з основних параметрів, що описують заняття є його рівень складності. Складність заняття для конкретного студента залежить не стільки від його рівня знань, скільки від ступеня засвоєння та швидкості сприйняття нового матеріалу [7]. Складність  $i$ -го заняття визначається за формулою

$$c_i = \frac{1}{3} \left( (1 - L_i) + 2v_i + w_i c_d \right), \quad (1)$$

де  $L_i$  — середній ступінь засвоєння матеріалу  $i$ -го заняття;  $v_i$  — коефіцієнт варіації ступеня засвоєння матеріалу  $i$ -го заняття;  $w_i$  — середнє арифметичне різниць між середнім по певній дисципліні

рівнем засвоєння матеріалу студентів, які проходили це заняття і рівнем засвоєння матеріалу цього заняття;  $c_d$  — складність дисципліни, якій належить  $i$ -те заняття, обчислюється за формулою (2)

$$c_d = \frac{1}{3}((1 - L_d) + 2v_d + w_d), \quad (2)$$

де  $L_d$  — середній ступінь засвоєння дисципліни  $d$ , якій належить  $i$ -те заняття;  $v_d$  — коефіцієнт варіації ступеня засвоєння дисципліни  $d$ ;  $w_d$  — середнє арифметичне різниць між середнім серед пройдених дисциплін рівнем засвоєння студентів, які проходили дисципліну  $d$  і рівнем засвоєння дисципліни  $d$ . Таким чином, для всіх занять обчислюється рівень складності: чим він ближчий до 1, тим заняття складніше.

Оскільки для адаптивних навчальних систем характерними є досить складні та трудомісткі обчислювальні процеси, найперспективнішим напрямком їх розвитку є використання синтезу декількох методів математичного моделювання навчальних систем та застосування потужного обчислювального апарату з метою отримання адаптивного навчального процесу високої якості.

Основою методу побудови моделі АТН є метод виведення за аналогіями (case-based reasoning), метод самонавчання на основі аналізу статистичних даних результатів навчання та продукційна модель представлення знань, відповідно до якої знання представляються у вигляді правил типу: «Якщо <умова> ТО <висновок>». В умові здійснюється зіставлення та аналіз параметрів моделі конкретного студента, і параметрів моделі НБ, а висновком є кілька можливих сценаріїв навчання [8]. В процесі проходження занять студентами, модель АТН стає досконалішою і відповідною можливостям і потребам студента.

Для вибору оптимальних параметрів АТН використовується оцінка ймовірності досягнення поставленої мети за різних сценаріїв навчання. Мета навчання, як один з параметрів моделі студента, є основою для формування керувальних впливів. Зміна послідовності і змісту НБ здійснюється на рівні надбудови над БЗ ІАСПКЗ, шляхом заповнення відповідних слотів елементів БЗ і запуску програмного модуля формування АТН.

Відповідно до запропонованих методів, етап навчання визначається рівнем знань студента, складність заняття повинна відповідати ступеню сприйняття нових знань, навчальний контент та послідовність його викладу залежать від мети навчання, рівня знань ключових понять теми чи дисципліни в цілому з урахуванням встановлених змістових та якісних зв'язків між НБ та ступенів важливості цих НБ [7]. Сукупність цих параметрів впливає на тривалість навчального процесу.

Суть методу побудови АТН полягає в тому, що коли перед студентом стоїть завдання пройти певний курс, то ІАСПКЗ на основі параметрів моделі студента повинна сформувати відповідну його можливостям і потребам АТН, характеристики якої є найсприятливішими для високого рівня і темпу засвоєння матеріалу певним студентом, дозволить підвищити якість навчання та ефективність використання технічних ресурсів автоматизованих навчальних систем.

Етапи функціонування ІАСПКЗ:

- формування програми і навчально-методичного забезпечення дисципліни (модуль Викладач);
- автоматизоване квантування та структурування навчального матеріалу (модуль побудови бази знань) [7];
- побудова моделі студента (модуль побудови бази знань) [9];
- вибір ключових понять дисципліни (КПД) та/або ключових понять занять (КПЗ) (модуль академічних вимог);
- початковий контроль знань (тестування, виконання практичних завдань, тощо) для визначення рівня засвоєння кожного з обраних КПД, КПЗ і відповідних їм навчальних блоків (модуль перевірки знань).
- вибір мети навчання: який обсяг навчального матеріалу, рівень знань (задовільно  $Q_1$ , добре  $Q_2$ , відмінно  $Q_3$ ), тривалість навчання, тощо є кінцевою метою вивчення дисципліни (можна вказати для дисципліни в цілому чи окремо для кожного КПД чи КПЗ) (модуль Студент, модуль академічних вимог);
- формування переліку недостатньо засвоєних КПД (КПЗ), разом з тими НБ, на які спираються обрані КПД (модуль побудови АТН);
- побудова оптимальної АТН на основі оцінки ймовірності досягнення поставленої мети та оптимізації функції пристосованості з використанням квантового генетичного алгоритму вищих порядків [10]. (модуль побудови АТН);

- проходження першого навчального заняття (модуль Студент);
  - корекція і побудова наступного заняття АТН на основі аналізу результатів проходження попереднього навчального заняття, і т.д. (модуль побудови АТН);
  - завершення вивчення дисципліни (модуль Студент);
  - аналіз досягнення поставленої мети, побудованою АТН, внесення АТН в базу знань ІАСПКЗ.
- Структурна модель ІАСПКЗ показана на рис. 1.

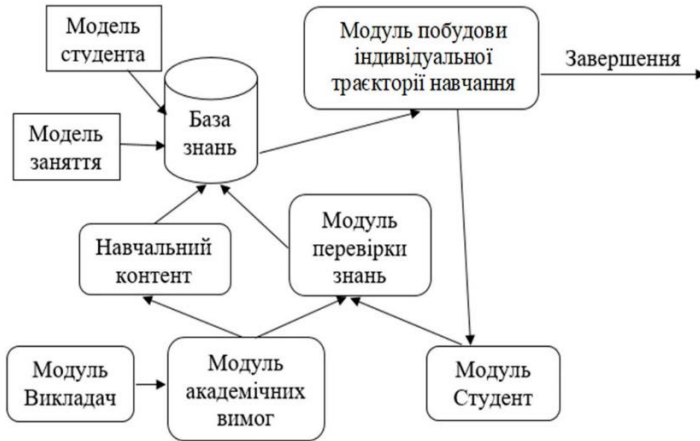


Рис. 1. Структурна модель ІАСПКЗ

Розглянемо детальніше методи побудови та вибору оптимальної АТН. Для побудови АТН використані ймовірнісні оцінки досягнення поставленої мети на основі параметрів моделі навчального заняття (етапу навчання ( $E_z$ ), рівня складності ( $I_z$ ), ступеня важливості ( $C_z$ ), ступеня засвоєння ( $L_z$ ), швидкості проходження ( $\tau_z$ )) та параметрів моделі студента (рівня знань ( $Q$ ), ступеня засвоєння нової інформації ( $L$ ), часу проходження ( $t$ ) і ступеня сприйняття ( $r$ )). Мета навчання може включати такі складові: збільшення глибини знань з окремих дисциплін чи тем; збільшення обсягів засвоєного навчального матеріалу;

зменшення часу на засвоєння навчального матеріалу; розвиток практичних навичок, тощо.

Для вивчення дисципліни рівня складності  $C_i$  студенту дається певна кількість годин  $t$ . Тому, в залежності від тривалості вивчення окремих занять дисципліни, початкового рівня знань студента та його ступеня сприйняття, дисципліна може бути пройдена на різний ступінь засвоєння, що визначається функцією залежності рівня засвоєння НБ від його складності і тривалості вивчення. Загалом, статистика засвоєння окремої порції знань у різних студентів різна.

Використовуючи показник початкового рівня знань студента, його ступеня сприйняття і умовні ймовірності переходів з одного стану в інший, для задач трьох рівнів складності оцінюється можливість реалізації кожної з гіпотез:  $P_j(t)$ ,  $j=1, 2, 3$  — це ймовірність досягнення  $j$ -го ступеня засвоєння за час  $t$ . Для засвоєння одного заняття потрібно  $t_z$  годин:  $t_z = 2 + n$ , де  $n$  — кількість годин самостійної роботи. Кількість самостійних годин  $n$  для конкретного заняття відрізняється для різних студентів. Якщо відомі початкові ймовірності  $p_i(0)$  для станів  $L_i$ ,  $i=1, 2, 3$ , то ймовірність того, що в момент часу  $t$  система перебуває в стані  $L_j$ , визначається за формулою

$$p_j(t) = \sum_i p_i(0) p_{ij}^t, \quad (3)$$

де елемент  $p_{ij}^t$  характеризує ймовірність переходу системи зі стану  $L_i$  в стан  $L_j$  за час  $t$ . (рис. 2 та рис. 3).  $C_{1-0}$  означає проходження заняття першого рівня складності студентом з рівнем початкових знань  $Q_0$ , і т. д.

Нехай метою навчання є засвоєння максимального обсягу навчального матеріалу курсу та досягнення максимального рівня знань  $Q$  за визначеною тривалістю навчання  $T$  та переліку ключових компетенцій.

Функція пристосованості матиме вигляд

$$Q = \sum_{i=1}^n C_i L_{zi}^t \rightarrow \max, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n t_i \leq T; L_{zi}^t > d_i, \quad (4)$$

де  $L_{zi}^t$  — імовірний ступінь засвоєння  $i$ -го заняття  $k$ -ї складності за час  $t$ ,  $n$  — кількість занять,  $C_i$  — ступінь важливості,  $d_i$  — мінімальне значення ступеня засвоєння  $i$ -го заняття, за якого заняття може бути зарахованим.

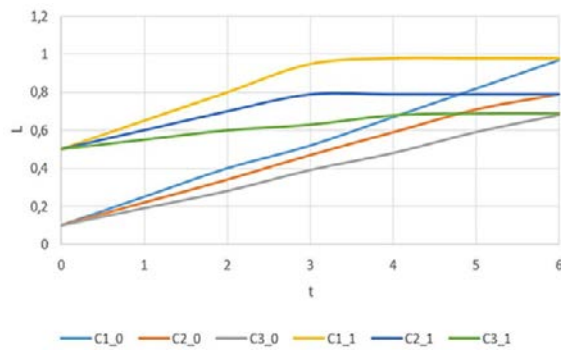


Рис. 2. Графік залежності ступеня засвоєння  $L$  від часу  $t$  і рівня початкових знань  $Q_0 = 0,1$  та  $Q_1 = 0,5$  для занять трьох рівнів складності  $C_i$  для студентів з низьким ступенем сприйняття

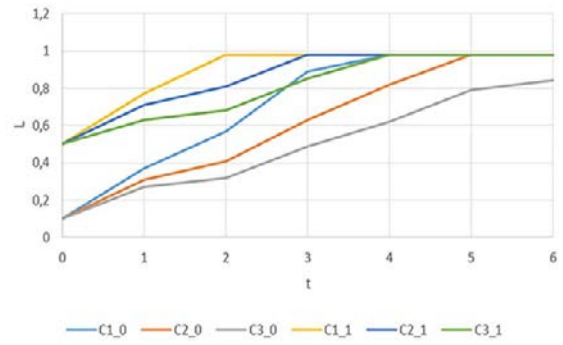


Рис. 3. Графік залежності ступеня засвоєння  $L$  від часу  $t$  і рівня початкових знань  $Q_0 = 0,1$  та  $Q_1 = 0,5$  для занять трьох рівнів складності  $C_i$  для студентів з високим ступенем сприйняття

Таблиця 2

**Ймовірнісні параметри навчального заняття для конкретного студента**

Ідентифікатор заняття	$Z_1$	$Z_2$	...	$Z_n$
Початковий рівень знань студента	$Q_1$	$Q_2$	...	$Q_n$
Ступінь важливості	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$
Ймовірні ступені засвоєння	$\begin{bmatrix} L_{z1_1}^0 & L_{z1_2}^0 & L_{z1_3}^0 \\ L_{z1_1}^1 & L_{z1_2}^1 & L_{z1_3}^1 \\ L_{z1_1}^2 & L_{z1_2}^2 & L_{z1_3}^2 \\ L_{z1_1}^3 & L_{z1_2}^3 & L_{z1_3}^3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} L_{z2_1}^0 & L_{z2_2}^0 & L_{z2_3}^0 \\ L_{z2_1}^1 & L_{z2_2}^1 & L_{z2_3}^1 \\ L_{z2_1}^2 & L_{z2_2}^2 & L_{z2_3}^2 \\ L_{z2_1}^3 & L_{z2_2}^3 & L_{z2_3}^3 \end{bmatrix}$	...	$\begin{bmatrix} L_{zn_1}^0 & L_{zn_2}^0 & L_{zn_3}^0 \\ L_{zn_1}^1 & L_{zn_2}^1 & L_{zn_3}^1 \\ L_{zn_1}^2 & L_{zn_2}^2 & L_{zn_3}^2 \\ L_{zn_1}^3 & L_{zn_2}^3 & L_{zn_3}^3 \end{bmatrix}$

Для оптимізації функції пристосованості використано квантовий генетичний алгоритм вищих порядків (QGA), який забезпечує глобальний пошук розв'язку при швидкій збіжності та невеликому розмірі популяції. Для пошуку розв'язку в QGA виконується зміна вихідної суперпозиції станів за допомогою послідовної дії квантових операторів в ході еволюції в часі. Вся інформація про задачу та алгоритм її розв'язку закладена в квантовому гейті, тому алгоритм його роботи є визначальним для побудови будь-якого QGA. [10].

В цілому алгоритм роботи оператора квантового гейту до квантової хромосоми, що складається з  $n$  квантових регістрів розміру  $r$ , можна реалізувати таким чином (Алгоритм 1).

```

Алгоритм 1. Оператор квантового гейту
1   for  $i \in 1, \dots, n$  do
2       bestamp  $\leftarrow$  b
3       Sum  $\leftarrow 1 - [\alpha_i^{bestamp}]^2$ 
4       .....
5       .....
6   for  $amp \in \{0, 1, 2, \dots, 2^r - 1\}$  do
7       if  $amp \neq bestamp$  then
8            $\alpha_i^{amp} = M \cdot \alpha_i^{amp}$ 
9       end if
10      end for
11      end for
    
```

Тут  $\mu$  — параметр роботи алгоритму, значення якого лежить в межах  $[0, 1]$  та визначається в результаті попередніх досліджень.

Таким чином, у кожному новому поколінні забезпечується збільшення ймовірності того, що в результаті спостереження генеруються класичні особини, більш схожі на найкращу.

**Оцінка якості методів та програмних засобів ІАСПКЗ**

Автоматизована побудова і підтримка адаптивної траєкторії навчання є результатом взаємодії усіх складових частин ІАСПКЗ і є основною задачею даних систем, тому оцінка якості модуля побудови АТН впливає з оцінки якості системи в цілому. Якість ІАСПКЗ можна оцінювати як числовим значенням окремих вихідних показників (критеріїв, характеристик, метрик), так і зведеною оцінкою всієї сукупності показників з урахуванням рейтингу їх важливості. Оцінювання проводиться безпосередньо експертами за частковими критеріями, які в подальшому об'єднуються з іншими частковими оцінками цього рівня ієрархії і таким чином утворюються узагальнені (проміжні) оцінки на вищому рівні ієрархії. Потім відбувається об'єднання на вищому рівні і т. д. Такий процес продовжується до отримання потрібної кінцевої оцінки якості [11].

Оскільки основним завданням ІАСПКЗ є автоматизація та адаптація процесу оволодіння знаннями, для дослідження ефективності розроблених методів та програмних засобів визначені та оці-

нені такі показники якості ІАСПКЗ (табл. 2).

Таблиця 2

## Оцінка показників якості ІАСПКЗ

Характеристика		Підхарактеристика		Рейтинг
Назва	Шифр	Назва	Оцінка	
Функційність	Ф	релевантність побудованої адаптивної траєкторії навчання	0,96	В
		цілісність представлення адаптованого навчального матеріалу	0,9	В
		якість контролю знань	0,94	В
		якість засвоєння нових знань	0,9	В
Зручність використання	З	зручність та зрозумілість інтерфейсу користувачів	0,9	С
		автоматизація процесу структурування та імпорту навчального матеріалу	0,95	С
Ефективність	Е	використовуваність праці викладачів та експертів	0,85	В
		використовуваність технічних засобів	0,84	С
		час відповіді системи	0,83	С
Надійність	Н	відновлюваність даних	0,99	В
		цілісність бази знань	0,99	В
Переносність	П	сумісність	0,99	Н

*Примітка:* В (високий), С (середній) та Н (низький) — рейтинги показників якості програмних продуктів; значення показників якості є уніфікованими та нормованими шляхом переведення їх в діапазон від 0 до 1.

Розроблена ІАСПКЗ апробована під час організації навчального процесу студентів спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 113 «Прикладна математика» Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ) з дисциплін «Веб-дизайн», «Програмування Інтернет» та «Веб-програмування».

Дослідження таких показників як «релевантність побудованої адаптивної траєкторії навчання», «цілісність представлення адаптованого навчального матеріалу», «якість контролю знань», «зручність та зрозумілість інтерфейсу користувачів» проводилось шляхом опитування студентів з виставленням оцінки для кожного параметра за 100-бальною шкалою.

Оцінку якості засвоєння нових знань проведено методом спліт-тестування. Статистичні обчислення виконані на основі вибірки результатів навчання трьох груп вищезазначених спеціальностей у 2018/2019 н. р. та двох інших груп за перший семестр 2019/2020 н. р. Провівши тестування на виявлення початкового рівня знань і ступеня сприйняття нового матеріалу, встановивши кінцеву мету вивчення дисциплін, для кожної групи студентів сформовані підгрупи з приблизно однаковим середнім ступенем сприйняття, рівнем знань матеріалу та кінцевою метою вивчення дисциплін. Порівняння вибірок студентів до експерименту проводилось з використанням *t*-критерію Стьюдента та критерію Хі-квадрат. Перевірка гіпотези про нормальний розподіл вибірок після експерименту виконувалась із застосуванням критерію Пірсона.

Студенти обох підгруп виконували та захищали лабораторні роботи та проходили тестовий контроль після кожного заняття з використанням ІАСПКЗ, але для першої (контрольної) підгрупи навчальний курс був сформований без задіяння модуля побудови АТН, а кожний студент другої (експериментальної) підгрупи вивчав навчальний матеріал згідно з сформованою адаптивною траєкторією, яка враховує індивідуальні особливості та темп виконання навчальних операцій, кожне наступне заняття формувалося з урахуванням результатів проходження попереднього заняття. Студентам обох підгруп дозволено виконувати і захищати лабораторні роботи в зручному для них темпі, але з призначенням дати підсумкового тестування з дисципліни та виконання індивідуального підсумкового практичного завдання, до якої всі лабораторні роботи повинні бути захищені. За підсумком цього експерименту проведений аналіз результатів впровадження розроблених методів і програмних засобів. Цей аналіз показав стабільну та ефективну роботу модуля побудови АТН, результатом використання якого стали швидші темпи захисту лабораторних робіт, меншу кількість звернень по допомогу до викладача і вищий ступінь засвоєння (на 15 % за результатами виконання індивідуального підсумкового практичного завдання і 20 % за результатами підсумкового тестового контролю) студентів, для яких в процесі навчання відбувалась побудова АТН в порівнянні зі студентами, які навчалися за традиційними технологіями навчання.

Процес структурування та імпорту навчального матеріалу в базу знань ІАСПКЗ повністю автоматизований і не потребує додаткових маніпуляцій з боку викладачів чи експертів у порівнянні з



підготовкою навчального матеріалу для імпорту в системи зі статичним викладом навчального матеріалу.

Використовуваність праці викладачів в процесі навчання: розроблена ІАСПКЗ спрямована на мінімізацію втручання викладача в організацію процесу навчання. Загалом, праця викладачів полягає у формуванні навчального контенту, тестових завдань, наданні консультацій та, за наявності, перевірки виконаних практичних завдань, організація самого процесу навчання проходить в автоматизованому режимі з видачею проміжних та підсумкових результатів навчання.

Використовуваність технічних засобів: загалом, для ІАСПКЗ характерними є досить складні та трудомісткі обчислювальні процеси, які пов'язані з невизначеністю та високою розмірністю вхідних та вихідних параметрів, великою кількістю цих параметрів та значним обсягом опрацьовуваних даних загалом, високими вимогами до якості процесу та результату навчання, тому високими є вимоги до обчислювальних можливостей використовуваних технічних засобів.

Час відповіді системи залежить від обчислювальних можливостей технічних засобів і пропускної здатності каналів передачі інформації, а також від складності обчислювальних задач та обсягу опрацьовуваних даних.

Цілісність бази знань та відновлюваність даних забезпечується особливостями створення та наповнення бази знань, а завдяки резервуванню і електронному архівуванню даних.

Сумісність: програмні модулі реалізовано на мові програмування PHP із застосуванням системи управління базами даних PostgreSQL, що дає можливість розгорнути розроблений програмний продукт на будь-якій платформі, що підтримує виконання PHP-скриптів та надає доступ до PostgreSQL.

### Висновки

Отже, розроблено та апробовано нові методи вирішення проблеми автоматизованої побудови АТН в ІАСПКЗ на основі визначення поточного стану студента, оцінювання ймовірностей переходу між станами в часі в залежності від поставленої навчальної мети, встановлених параметрів конкретного студента та параметрів навчального матеріалу. Запропоновано функціональну оптимізацію АТН з використанням квантового генетичного алгоритму вищих порядків.

Одним з основних методів дослідження став експеримент і оцінка рівня досягнення поставленої мети та технічних параметрів програмних засобів. Експериментом вважається автоматизована побудова і вибір із множини запропонованих оптимальної для конкретного студента АТН, проходження занять студентом за певною траєкторією, внесення цієї АТН у базу знань із зазначенням оцінки рівня досягнення поставленої мети. Таким чином, кожне проходження дисциплін студентами уточнює і удосконалює процедуру побудови АТН з урахуванням накопичених знань. Розроблена ІАСПКЗ удосконалюється і «навчається» в процесі навчання студентів.

Впровадження і використання розробленої ІАСПКЗ дозволяє підвищити якість навчального процесу, раціональніше використовувати трудові, матеріальні та технічні ресурси закладів освіти шляхом автоматизації та адаптації процесу оволодіння знаннями.

Перспективним напрямом подальших досліджень є удосконалення модуля побудови АТН і ІАСПКЗ в цілому з метою підвищення якості навчального процесу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R. Chantal, L. Danielle, and C. Jennifer, "Applying Best Practice Online Learning," *Teaching, and Support to Intensive Online Environments: An Integrative Review* Front. Educ., 21 November 2017. <https://doi.org/10.3389/educ.2017.00059>.
- [2] С. О. Сисоєва, и К. П. Осадча, *Системи дистанційного навчання: порівняльний аналіз навчальних можливостей*, 2011. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.academia.edu/931578>.
- [3] І. М. Погребнюк, і В. М. Томашевський, «Моделювання сценаріїв адаптивного навчання з використанням мереж Петрі», *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія : Інформатика, управління та обчислювальна техніка*, № 55, с. 38-46, 2012.
- [4] О. О. Гагарін, і С. В. Титенко, «Дослідження і аналіз методів та моделей навчання систем безперервного навчання», *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, № 6 (56), с. 37-48, 2007
- [5] В. В. Вишнівський, М. П. Гніденко, Г. І. Гайдур, і О. О. Ільїн, *Організація дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та електронних тестів*, навч. посіб. Київ, Україна: ДУТ, 2014, 140 с.
- [6] В. М. Томашевський, Ю. Л. Новіков, і П. А. Камінська, «Огляд сучасного стану систем дистанційного навчання», *Наукові Праці*, т. 160, вип. 122. *Комп'ютерні технології*. Миколаїв, Україна: вид. ЧДУ ім. П. Могили, с. 146-157, 2011
- [7] П. И. Федорук, и М. С. Дутчак, «Построение базы знаний адаптивной систем дистанционного обучения на основе фреймовой и продукционной моделей представления знаний», *УСиМ: Управляющие системы и машины*, № 5, с. 10-15, 2012.

- [8] М. В. Пікуляк, «Застосування теорії мультимножин для формування індивідуального квантового набору навчального контенту», *Математичні машини і системи*, № 3, с. 96-103, 2014.
- [9] В. В. Казимир, П. І. Федорук, і М. С. Дутчак, «Адаптивна передача знань в системі дистанційного навчання», *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: технічні науки*, Чернігів, с. 166-170, 2011.
- [10] V. M. Tkachuk, M. I. Kozlenko, M. V. Kuz, I. M. Lazarovych, and M. S. Dutchak, "Function Optimization Based on Higher-Order Quantum Genetic Algorithm," *Electronic modeling*, № 3 (2019), с. 43-58, 2019. <https://doi.org/10.15407/emodel.41.03> .
- [11] М. В. Кузь, Я. Т. Соловко, і В. М. Андрейко, «Методологія формування узагальненого критерію якості програмного забезпечення в умовах невизначеності», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 104-107, 2015.

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.03.2020

**Дутчак Марія Степанівна** — викладачка кафедри інформаційних технологій, e-mail: [mariia.dutchak@pnu.edu.ua](mailto:mariia.dutchak@pnu.edu.ua) .

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», Івано-Франківськ

**M. S. Dutchak<sup>1</sup>**

## **Methods and Software of Automated Construction of Adaptive Trajectory of Training**

<sup>1</sup>Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk

*There have been developed and approved new methods of solving the problem of the automated construction of adaptive trajectory of educating in the intellectual adaptive systems of transmission and control of knowledge on the basis of determination of current status of student, estimations of transition probabilities between the states in time depending on the educational aim, set parameters of certain student and parameters of educational material. There has been offered the functional optimization of adaptive trajectory of educating with the use of quantum genetic algorithm of higher orders.*

*There have been investigated such indexes of quality of the developed adaptive system of transmission and control of knowledge as: relevancy of the built adaptive trajectory of educating, integrity of presentation of the adapted educational material, quality of control of knowledge, quality of mastering of new knowledge, comfort and clearness of interface of users, automation of process of structuring and import of educational material, usage of labour of teachers and experts, usage of technical equipments, time of answer of the system, resilience of data, integrity of knowledge base, compatibility.*

*One of the main research methods was the experiment, which allowed assessing the level of achievement of the goal and technical parameters of software. An experiment is automated construction and selection optimal adaptive learning trajectory from several proposed, passing lessons by student on this trajectory, and then entering this adaptive trajectory into the system's knowledge base with an assessment of the level of achievement of the goal. Thus, each passing lessons by students refines and improves the procedure for automate constructing an adaptive learning trajectory. So, the developed Intelligent Online e-Learning System is improved and "learns" in the process of student learning.*

*The paper reports methods for assessing the likelihood of achieving the set educational goal, what are determined depending on the parameters of the student model and the parameters of the model of the adaptive learning trajectory.*

*The study presents the results of applying the developed methods for constructing an individualized educational process on improving the quality indicators of students' academic achievements.*

*The introduction and use of the developed Intelligent Online e-Learning System allows to improve the quality of the educational process, to rationally use the labor, technical and material resources of educational institutions by automating and adapting the process of mastering knowledge.*

**Keywords:** Intelligent Online e-Learning Systems, adaptive trajectory of learning, optimization of reliability function, evaluation of software quality.

**Dutchak Mariia S.** — Lecturer of the Chair of Information Technology, e-mail: [mariia.dutchak@pnu.edu.ua](mailto:mariia.dutchak@pnu.edu.ua)



## Методы и программные средства автоматизированного построения адаптивной траектории обучения

<sup>1</sup>Прикарпатский национальный университет имени Василя Стефаника, Ивано-Франковск

*Представлены разработанные и апробированные новые методы решения проблемы автоматизированного построения адаптивной траектории обучения в интеллектуальных адаптивных системах передачи и контроля знаний на основе определения текущего состояния студента, оценки вероятностей перехода между состояниями во времени в зависимости от поставленной учебной цели, установленных параметров конкретного студента и параметров учебного материала. Предложена функциональная оптимизация адаптивной траектории обучения с использованием квантового генетического алгоритма высших порядков.*

*Исследованы такие показатели качества разработанной адаптивной системы передачи и контроля знаний как: релевантность построенной адаптивной траектории обучения, целостность представления адаптированного учебного материала, качество контроля знаний, качество усвоения новых знаний, удобство и понятность интерфейса пользователей, автоматизация процесса структурирования и импорта учебного материала, использованность труда преподавателей и экспертов, использованность технических средств, время ответа системы, восстанавливаемость данных, целостность базы знаний, совместимость.*

*Одним из основных методов исследования стал эксперимент, который позволил оценить уровень достижения поставленных целей и технические параметры программных средств. Экспериментом считается автоматизированное построение и выбор из нескольких предложенных оптимальной для конкретного студента адаптивной траектории обучения, прохождение занятий студентом согласно этой траектории, внесенные этой адаптивной траектории в базу знаний системы с указанием оценки уровня достижения поставленной цели. Таким образом, каждое прохождение дисциплин студентами уточняет и совершенствует процедуру построения адаптивной траектории обучения с учетом накопленных знаний. Разработанная адаптивная система передачи и контроля знаний совершенствуется и «учится» в процессе обучения студентов.*

*Определены методы оценки вероятности достижения поставленной учебной цели в зависимости от параметров модели студента и параметров адаптивной траектории обучения.*

*Внедрение и использование разработанной интеллектуальной адаптивной системы передачи и контроля знаний позволяет повысить качество учебного процесса, рационально использовать трудовые, технические и материальные ресурсы учебных заведений путем автоматизации и адаптации процесса овладения знаниями.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная адаптивная система передачи и контроля знаний, адаптивная траектория обучения, оптимизация функции достоверности, оценка качества программного обеспечения.

*Дутчак Мария Степановна* — преподаватель кафедры информационных технологий, e-mail: mariia.dutchak@pnu.edu.ua