

А. І. МАЛЮГА

Національний аерокосмічний університет

«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

## МЕТОД ОНЛАЙН-ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ТЕМАТИЧНИХ МОДУЛІВ В АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ, ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ТА ПОТОЧНОГО СТАНУ КОРИСТУВАЧА

Предметом статті є методична база забезпечення адаптивності навчальних систем (НС), з біометричним зворотним зв'язком із користувачем у реальному часі, що забезпечує персоніфікацію процесу навчання водіїв транспортних засобів, пілотів літальних апаратів, операторів складних технологічних комплексів, тощо. Метою є підвищення ефективності комп'ютерних засобів навчання, шляхом розроблення методу онлайн-диспетчеризації навчальних тематичних модулів (НТМ), що базується на використанні вектору профілю користувача та вектору стану користувача. Зазначені вектори формуються шляхом інтеграції попередніх психометричних оцінок рівня підготовки, аналізу результатів навчання та подальшої конвертації інформації щодо стану користувача у дискретні рівні складності для диспетчеризації НТМ у складі НС. Завдання, що потребують вирішення: провести критичний аналіз підходів до розроблення програмного забезпечення адаптивних НС з біометричним зворотним зв'язком та засобами персоніфікації процесу навчання; розробити метод онлайн-диспетчеризації навчальних модулів на основі інтеграції оцінки профілю та стану біометрики користувача, що агрегує попередні результати виконання завдань та враховує варіабельність серцевого ритму користувача. Були отримані наступні результати. Практична перевага розробленого методу полягає у забезпеченні персоніфікації навчання у програмних архітектурах адаптивних НС в різних предметних галузях, на основі ефективної онлайн-диспетчеризації НТМ, із використанням векторів індивідуального профілю та поточного стану осіб, які навчаються. Висновки. В результаті проведеного дослідження розроблено метод підвищення рівню адаптивності НС, шляхом диспетчеризації у реальному часі програмних модулів у складі системи, з урахуванням даних про індивідуальні особливості конкретного користувача, та його поточний психо-фізіологічний стан. Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому. Вперше запропоновано метод динамічної диспетчеризації НТМ у адаптивних системах електронного навчання. Метод, на відміну від існуючих враховує рівень підготовки, поточний психофізичний стан користувача, а також ступінь новизни завдань у НТМ. Метод використовує попередню фільтрацію модулів за ступенем відповідності рівню підготовки користувача, що дає можливість суттєво зменшити обчислювальні витрати на диспетчеризацію і забезпечує роботу модуля в режимі онлайн. Результати експериментальної перевірки засвідчили дієвість розроблених методичних засобів при вирішенні задач, що пов'язані із підвищенням ефективності функціонування НС, в аспекті їх адаптивності до індивідуальних особливостей користувача.

**Ключові слова:** навчальна система; адаптивність; навчальний тематичний модуль; психометричні характеристики користувача; біометричний зворотний зв'язок; індивідуальний профіль користувача; профіль поточного стану користувача; онлайн-диспетчеризація; VR-середовище; фільтрація модулів; фільтр тематики модулів; фільтр складності; фільтр тривалості навчання; логування.

### 1. Вступ

На даний час значного поширення набули навчальні системи (НС), що призначені для забезпечення ефективності процесу набуття знань, вмінь та навичок операторами складної техніки, як ось водіями, пілотами, диспетчерами руху та іншими фахівцями, професійна діяльність яких пов'язана із необхідністю оперативного формування і прийняття відповідальних рішень, у тому числі, і в екстремальних

умовах [1]. Дидактична складова таких систем базується на сукупності стандартизованих фрагментів навчального матеріалу – навчальних тематичних модулів (НТМ). НТМ можуть значно відрізнятися один від одного значущістю тем та складністю засвоєння навчального матеріалу. Разом з тим, особи, які навчаються (користувачі НС) також різняться між собою когнітивними здібностями, освітнім досвідом та динамікою засвоєння навчального матеріалу. Зазначені обставини визначають проблеми, що



пов'язані із забезпеченням належного рівню ефективності НС, а саме врахуванням індивідуальних траєкторій розвитку компетенцій при навчанні і забезпеченням персоналізації навчального процесу в режимі реального часу. Часткове вирішення зазначених проблем запропоновано в роботах [1, 2]. Дане ж дослідження присвячене розробці методичних і програмних засобів маніпулювання НТМ безпосередньо у ході навчання, із врахуванням індивідуальних особливостей особи, яка навчається.

Розробка алгоритмів онлайн-диспетчеризації НТМ у адаптивних НС, що враховують як психометричний профіль користувача, так і його поточний психофізіологічний стан, потребує свого вирішення у сфері інженерії програмного забезпечення, оскільки традиційні підходи до розробки програмної архітектури, що забезпечує вибір навчального контенту, зазвичай базуються на використанні статичних правил, або рекомендаційних алгоритмів колаборативної фільтрації [3], які працюють в режимі офлайн. Такі підходи не дають можливості оперативної підібрати НТМ в залежності від комбінації базових навичок та поточного стану користувача. Проте, дана задача має бути вирішена при швидких змінах стану користувача внаслідок стресу або втоми при навчанні, а також когнітивного перевантаження внаслідок недостатньої базової підготовки або дезорієнтації у VR-середовищі, що мають серйозний вплив на ефективність навчання. Дана проблема може виникнути навіть при початковому підборі рівня складності на основі індивідуального профілю користувача.

### 1.1. Мотивація дослідження

Вихідними даними для реалізації методу онлайн-диспетчеризації НТМ є вміст вектору індивідуального профілю користувача та вектору поточного стану користувача; процедури формування цих векторів викладені в роботах [1, 2] відповідно. Даний метод орієнтований на використання зазначених векторів для підбору навчальних модулів з бази сценаріїв, що входить до складу програмного забезпечення НС. Диспетчеризація модулів виконується з урахуванням поточного рівня підготовки користувача, можливостей його адаптації до припустимого рівня когнітивного навантаження при навчанні, новизни сценарію навчання для користувача.

Існуючі підходи до адаптивної диспетчеризації навчальних модулів характеризуються наступними ключовими властивостями, які обмежують побудову онлайн-адаптивних персоналізованих програмних систем на основі комбінованої оцінки профілю та стану користувача.

По-перше, традиційний підхід до диспетчеризації на основі статичних причинно-наслідкових

правил (наприклад, якщо частота серцевих скорочень  $>120$  ударів на хвилину, то знизити на 1 рівень складність навчального модуля) не враховує індивідуальні відмінності користувача. Зокрема, в залежності від рівня спортивної підготовки, базова частота серцевих скорочень може змінюватись від 50 до 80 ударів на хвилину, що потребує адаптації порогового значення в 120 ударів на хвилину у наведеному прикладі. Також в залежності від поточного рівня досвіду один користувач може навчатись зі складними модулями навіть при підвищеному серцебитті, тоді як інший потребує зниження складності навчального модулю навіть при нормальній частоті серцевих скорочень внаслідок недостатньої підготовленості [4]. Тому адаптивна система, що використовує лише порогове значення частоти серцевих скорочень, може некоректно змінити складність модуля. В результаті користувач може отримати пропуски важливих навчальних тем на поточному рівні навчання.

По-друге, традиційні рекомендаційні алгоритми на основі колаборативної фільтрації [3] або на основі правил [5] зазвичай використовуються для статичного контенту у платформах дистанційного навчання (навчальні фільми, онлайн-курси). Проте, ці підходи не орієнтовані на вивчення знань та навичок, що пов'язані із безпекою людей і тому не враховують поточний стан користувача під час сесії навчання. Тобто, вибір навчального модуля виконується з урахуванням минулих уподобань користувачів з аналогічними профілями або на основі схожості семантики модулів, без урахування поточного рівня когнітивного навантаження (перенавантаження). Вибір навчальних модулів у такій ситуації може приводити до стресу та втоми, внаслідок підвищеної складності модулів, що не відповідають стану користувача, а це, в свою чергу, не дає можливість реалізувати онлайн-адаптацію у навчальних VR-системах.

По-третє, методи адаптації складності навчальних модулів на основі порогових значень параметрів стану людини не враховують тривалість стану з підвищеною частотою пульсу. Наприклад, підвищення частоти серцевих скорочень на декілька секунд, що виникає внаслідок різкого руху користувача, та підвищена частота пульсу протягом хвилини-двох внаслідок когнітивного перевантаження при навчанні у VR-системі потребують різних схем вибору модулів. Також потрібно врахувати новизну модуля (чи виконував користувач схожі сценарії навчання раніше), структурно-логічну схему курсу, тощо. Наприклад навчання водінню за темою «Обгін на двосмуговій дорозі» потребує попереднього вивчення теми «Правила використання смуг руху». Без врахування послідовності вивчення модулів адаптивна система

може помилково знизити складність модуля для поточного користувача. Тобто сукупність цих факторів приводить до зниження точності підбору навчальних модулів у порівнянні з вибором людини-інструктора та відповідного зниження рівня задоволеності користувачів такої системи.

Таким чином, наведене протиріччя між потребою практики щодо підбору модулів в навчальній програмній системі та можливостями архітектурних патернів щодо адаптивної диспетчеризації програмних модулів в реальному часі підкреслює актуальність проблеми, що вирішується в даному дослідженні.

Проблематика диспетчеризації НТМ з урахуванням психометричного профілю користувача та його поточного стану безпосередньо пов'язана із моделюванням динамічної поведінки користувача як вхідного параметра для прийняття рішень в режимі м'якого реального часу, за умов обмежень щодо обчислювальної складності та задоволення нефункціональних вимог до диспетчеризації. Останні пов'язані із затримкою часу та точністю рекомендацій щодо задіяння навчального модуля.

Диспетчер модулів представляє собою центральний компонент гібридної архітектури НС. Він отримує вектори профілю та вектори стану користувача, виконує двоетапну фільтрацію модулів, сортує модулі за корисністю і передає навчальні модулі-кандидати для вибору користувачем. Логування процесу вибору модулів дає можливість в подальшому відтворити фактичну послідовність виконання даного процесу, що забезпечує побудову двофазного циклу адаптації НС. Процес адаптації базується на процедурі уточнення індивідуального профілю користувача.

## 1.2. Огляд літератури

Аналіз літературних джерел щодо диспетчеризації НТМ У процесі функціонування адаптивних НС для адаптивних навчальних систем, показав, що існуючі підходи реалізують окремо підбір модулів на основі історії взаємодії з користувачем, або з урахуванням його рівня компетентності, або з урахування його біометричного стану.

Дослідження [6] присвячено побудові рекомендацій на основі традиційної колаборативної фільтрації. Даний підхід забезпечує персоналізацію рекомендацій, однак використовує пакетну обробку і тому не призначений для роботи в режимі онлайн. Цей підхід не враховує біометричні дані користувача і не призначений для застосування в системах віртуальної реальності.

У роботі [3] використані статичні правила для адаптації складності навчальних модулів на основі

результатів біометричного моніторингу. Але дане дослідження не враховує базові індивідуальні особливості користувачів, наприклад частоту серцевих скорочень у стані спокою, що може привести до помилок для користувачів з підвищеною базовою частотою пульсу.

Дослідження [7] та [8] базуються на використанні психометричної моделі IRT 3PL (Item Response Theory) з логістичною функцією з трьох параметрів та CAT-підхід (Computerized Adaptive Testing) для того, щоб визначати рівень підготовки користувачів. Оцінка рівня підготовки виконується на основі ймовірності правильної відповіді з урахування рівня складності завдання. Однак ці підходи потребують виконання набору питань, який адаптується у процесі відповідей, що на практиці потребує 10-15 хвилин часу. Вказані підходи оцінюють рівень підготовки користувача, однак не враховують його поточний стан і тому не призначені для вибору модулів у процесі навчання.

Зокрема, у роботах [5, 6] показано, що при функціонуванні у НС з підготовки водіїв некоректна оцінка поточного стану користувача при когнітивному перевантаженні останнього може призвести до підвищення ризику помилок у симульованих дорожніх ситуаціях, кіберхвороби, яка приводить до дезорієнтації та зорової втоми серед значної частини користувачів, та недостатньої підготовки до реальних дорожніх ситуацій через відсутність персоналізованого навантаження.

Аналіз процесу розробки програмного забезпечення для адаптивних НС, що представлений у [3, 8] показав, що побудові комплексних архітектурних рішень, які інтегрують біометричний моніторинг (зокрема, на основі аналізу варіабельності серцевого ритму) у програмні компоненти зі специфікаціями програмного інтерфейсу на основі вектору поточного стану користувача для диспетчеризації модулів під час виконання, не приділяється достатньо уваги. Зокрема, у дослідженні [3] описано процес адаптації на основі правил із статичними порогоми для частоти серцевих скорочень, проте, такий підхід не враховує розвиток навичок користувача, зміни його стану у часі та контекстуальні фактори, що призводить до обмеженої точності класифікації..

Відсутність математичного забезпечення для розроблення програмних компонент адаптивної НС для оцінки поточного стану користувача в режимі реального часу може призвести до помилок у ході проектування програмної системи, пов'язаних із відсутністю адаптивності системи при невідповідності складності навчальних модулів і поточного стану користувача в ситуації когнітивного перевантаження. Дане перенавантаження в навчальних середовищах віртуальної реальності призводить до таких

негативних ефектів як кіберхвороба та суттєве зниження результатів навчання [8].

Таким чином, задача розробки методу диспетчеризації програмних модулів у адаптивній НС потребує подальшого вирішення.

### 1.3. Мета та завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка методу онлайн-диспетчеризації навчальних модулів на основі інтеграції оцінки профілю та стану біометрики користувача, що агрегує попередні результати виконання завдань та враховує варіабельність серцевого ритму користувача.

Метод призначений для автоматизованого підбору підмножини кандидатів із бази сценаріїв навчання з тим, щоб користувач міг вибрати один із запропонованих навчальних модулів.

Запропонований підхід до онлайн-диспетчеризації навчальних модулів включає фільтрацію підмножини навчальних модулів на основі правил; обчислення значення корисності модулю; відбір підмножини кращих модулів-кандидатів.

Стаття структурована наступним чином. У розділі 1 представлені: мотивація дослідження; критичний огляд літературних джерел, у яких запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування НС, в аспекті персоніфікації процесу навчання; мета й завдання дослідження. У розділі 2 описано метод онлайн-диспетчеризації НТМ в процесі функціонування НС, із використанням даних векторів індивідуального профілю та біометричних даних, що характеризують поточний стан користувача. Розділ 3 містить дані щодо експериментальної перевірки результатів дослідження. Розділ 4 присвячено обговоренню отриманих результатів, їх порівнянню з альтернативними підходами. У розділі 5 підсумовуються результати роботи, сформульовано висновки та представлено напрями подальших досліджень.

## 2. Метод диспетчеризації НТМ в реальному часі, з урахуванням індивідуального профілю та біометричних даних, що характеризують поточний стан користувача

Вихідними даними при реалізації методу онлайн-диспетчеризації НТМ слугують вектор індивідуального профілю користувача та актуальний вектор біометричних даних, що відображає поточний стан даного користувача. Вектор індивідуального профілю оновлюється після виконання користувачем порогової кількості завдань, наприклад, після 40 завдань або 2 тижнів навчання. Вектор поточного

стану користувача оновлюється після API-виклику компонента моніторингу стану користувача. Стан користувача оновлюється онлайн і містить біометричні дані за актуальний період часу, наприклад, за останню хвилину. Представлена у векторах інформація передається у форматі JSON.

Попередній відбір модулів реалізується на основі послідовного використання фільтру тематики модулів, фільтру складності та фільтру тривалості навчання.

Фільтрація тематики за попередніми вивченими модулями надає змогу виключити із подальшого розгляду НТМ, для яких користувач ще не вивчив обов'язкові попередні теми. Наприклад, при функціонуванні НС підготовки водіїв, для модулю «Обгін на двосмуговій дорозі» попередньо користувач має вивчити теми «Дорожня розмітка» та «Правила обгону». Якщо користувач не вивчав ці теми, то модуль «Обгін на двосмуговій дорозі» виключається з розгляду.

Фільтр складності призначений для виявлення та блокування НТМ, складність яких виходить за межі поточного рівню підготовки користувача. Тобто, застосування такого фільтра необхідне для виявлення та зняття з розгляду на даному етапі навчання модулів, які явно можуть спричинити когнітивне перенавантаження користувача.

Фільтрація вивчених модулів призначена для виключення з розгляду тих модулів, які користувач вже проходив декілька разів (тобто досяг порогового значення). На даному етапі диспетчеризації доцільно врахувати винятки: модулі, вивчення яких необхідно для безпечного водіння, наприклад «Екстрене гальмування».

Обчислення корисності НТМ виконується згідно рівня компетентності користувача, а також з урахуванням когнітивного стану та новизни навчального сценарію. Новизна сценарію розраховується в залежності від кількості повторів у вивченні навчального модуля. Показник новизни зменшується від 1 до 0 в залежності від кількості повторних навчань користувача з використання поточного модуля.

Підмножина модулів-кандидатів з максимальною корисністю надається користувачеві. З цієї множини він має відібрати один модуль. Результати вибору користувача логуються для подальшого удосконалення процесу диспетчеризації НТМ.

Метод онлайн-диспетчеризації НТМ визначає алгоритм роботи диспетчера модулів ModuleDispatch як інтеграційного компонента адаптивної навчальної системи. Останній об'єднує результати реалізації методу формування індивідуального профілю користувача [1], методу онлайн-оцінки поточного стану користувача [2], та адаптивної верифікації процесу вибору модулів на основі

інтелектуального аналізу процесів у єдиний цикл підтримки персоналізованого навчання. Програмна архітектура НС відноситься до типу «клієнт-периферія-хмара», при цьому компонент диспетчера модулів розгортається на периферійному сервері у локальній мережі навчального закладу (наприклад автошколи) з тим, щоб зменшити затримки при взаємодії з користувачем, в тому числі, за рахунок кешування даних. Такий підхід забезпечує автономність НС при відмові доступу до хмари або до глобальної мережі в цілому.

Розроблений метод має забезпечувати виконання наступних функціональних вимог:

- фільтрацію модулів, які не відповідають рівню підготовки та поточного стану користувача;
- обчислення корисності модуля для користувача;
- ранжування і відбір модулів за корисністю.

Метод має задовольняти наступним нефункціональним вимогам:

- роботі в режимі онлайн;
- забезпеченню порогового рівня прийнятності користувачем.
- незалежності від конкретних особливостей предметної області.

Робота НС в режимі онлайн передбачає несуттєві затримки на диспетчеризацію, на практиці такі затримки мають бути не більше 1 секунди.

Рівень прийнятності запропонованого модулю для користувача розраховується в залежності від того, чи вибрав користувач перший рекомендований модуль із списку.

Незалежність від предметної області реалізовано за рахунок використання векторів профілю та стану користувача. Розроблений метод може забезпечувати підтримку навчання у віртуальній реальності в таких сферах, як водіння, медицина, авіаційна галузь, високотехнологічна промисловість.

Задача диспетчеризації модулів за своєю природою є багатокритеріальною, оскільки враховує:

- відповідність рівня складності навчального модуля  $a_i$  рівню підготовки особи, яка навчається (наприклад, курсанта автошколи) на основі вектору профілю користувача  $V_{user}^1$ ; при цьому вектор профілю користувача включає рівні складності модулів для користувача  $L_m$  згідно порогових значень здібностей користувача, поточну оцінку здібностей користувача  $b_j^*$ , профіль помилок  $U_{error}$  із частотами помилок по рівням  $l$ , а також траєкторію  $U_{trend}$  зміни рівня підготовки користувача навчальної програмної системи, що являє собою лінійну регресію;

- відповідність рівня складності модулю  $a_i$  поточному стану користувача, представленим век-

тором  $V_{user}^2$ ; вектор поточного стану містить  $HRV_{norm}$  – нормалізовану варіабельність серцевих скорочень,  $HR_{norm}$  – нормалізовану частоту серцевих скорочень, поточний стан когнітивного навантаження,

$$B_{user} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Високе навантаження; Норма;} \\ \text{Низьке навантаження} \end{array} \right\},$$

а також мітку часу  $t_{current}$ ;

– новизну  $Nov(a_i)$  модулю  $a_i$  для користувача.

При виконанні задачі диспетчеризації використовуються три компоненти функції корисності: рівень складності модулю  $L(a_i)$ , рівень когнітивного навантаження  $B_{user}(a_i)$ , а також новизна модулю  $Nov(a_i)$ .

Корисність  $Utility$  кожного з компонентів визначається з використанням ядра Гауса для першої компоненти  $L(a_i)$ , порогових значень для другої компоненти  $B_{user}(a_i)$ , а також через лінійну інтерполяцію для третьої компоненти  $Nov(a_i)$ .

Корисність  $Utility(L_m, a_i)$  визначається на основі порівняння рівня складності модулю  $L(a_i)$  та цільового значення складності  $L_m$ :

$$Utility(L_m, a_i) = \exp \left( - \left( \frac{L(a_i) - L_m}{2\sigma} \right)^2 \right).$$

Корисність  $L(a_i)$  визначається на основі оцінювання експертним шляхом атрибутів НТМ.

Використання ядра Гауса забезпечує згладжування для широкого діапазону рівнів. Тобто модулі із складністю близькою до цільової мають значення корисності близьким до 1.

Корисність модуля у відповідності до когнітивного стану визначається на основі порогових значень складності модулю  $L(a_i)$ :

$$Utility(B_{user}, a_i) = \begin{cases} 1 \text{ iff } B_{user} = \text{Норма,} \\ 1 - L(a_i) \text{ iff } B_{user} = \\ \quad = \text{Високе навантаження,} \\ L(a_i) \text{ iff } B_{user} = \\ \quad = \text{Низьке навантаження.} \end{cases}$$

Якщо для поточного модулю  $a_i$  когнітивне навантаження є нормальним, то корисність є максимальною і дорівнює 1. У випадку високого навантаження корисність розраховується як  $1-L(a_i)$ , тобто чим вище складність модулю, тим нижче корисність. У випадку низького навантаження корисність розраховується як  $L(a_i)$ , тобто чим вище рівень складності модулю, тим вище корисність.

Новизна розраховується як нормована різниця між максимально допустимою кількістю разів проходження модулів та кількістю виконаних спроб вивчення модулю  $Used(a_i)$ :

$$Nov(a_i) = \frac{MaxUsed - Used(a_i)}{MaxUsed}$$

На практиці  $MaxUsed$  зазвичай приймається рівним 3 [3].

Загальна корисність модулю визначається як згортка компонент:

$$Utility(a_i) = w_1 Utility(L_m, a_i) + w_2 Utility(B_{user}, a_i) + w_3 Nov(a_i)$$

Ваги  $w_1$ ,  $w_2$  та  $w_3$  визначаються емпірично на основі історії навчання користувачів.

Модулі  $a_i^*$  при диспетчеризації підбираються за максимальним значенням функції корисності:

$$a_i^* = \underset{i}{\operatorname{argmax}} (Utility(a_i))$$

Метод онлайн-диспетчеризації навчальних модулів включає в себе наступні етапи.

Етап 1. Попередня фільтрація НТМ.

На даному етапі послідовно використовуються три фільтри відбору підмножини модулів. Фільтри базуються на правилах, що задають обмеження щодо відповідності тематики модуля, складності модулів та кількості повторів при навчанні.

Крок 2.1. Відбір НТМ за темою.

На даному кроці відбираються модулі, які належать до заданої підмножини тем, згідно структурно-логічної схеми курсу. Результатом реалізації кроку є підмножина  $A_{filtered}^1$ .

Крок 2.2. Фільтрація модулів за рівнем складності.

На даному кроці відбираються підмножина модулів  $A_{filtered}^2$ , що знаходяться у заданому діапазоні складності  $\Delta L$ :

$$A_{filtered}^2 = \{a_i \in A_{filtered}^1 : |L(a_i) - L_m| \leq \Delta L\}$$

Крок 2.3. Відбір модулів за кількістю повторних проходжень.

На даному кроці відсіюються модулі, які користувач вже опановував задану (порогову) кількість разів  $MaxUsed$ .

$$A_{filtered}^3 = \{a_i \in A_{filtered}^2 : Used(a_i) < MaxUsed\}$$

Етап 3. Обчислення значення елементів функції корисності для відібраних модулів.

На даному етапі виконується комплексна оцінка корисності модулів із множини  $A_{filtered}^3$  для користувача, яка враховує відповідність рівню підготовки користувача, поточному стану користувача, а також рівень новизни модуля для користувача.

Перша складова такої оцінки враховує індивідуальний профіль користувача на основі вхідних даних. Друга складова враховує поточний фізіологічний стан особи, яка навчається (наприклад, курсанта автошколи). Третя складова дає можливість врахувати кількість повторів при вивченні НТМ. При цьому нові модулі отримують перевагу перед тими, які користувач вже вивчав.

Етап 4. Відбір НТМ із максимальним значенням корисності для представлення користувачеві.

На даному етапі виконується ранжування НТМ. Із отриманої упорядкованої підмножини відбираються модулі із максимальним значенням корисності для особи, яка навчається. Наприклад, 3 найкорисніших модуля.

Етап 5. Вибір НТМ користувачем.

На даному етапі користувачеві представляються відібрані модулі з найбільшим значенням корисності. Користувач має вибрати один із модулів. Якщо за заданий інтервал часу, наприклад 30 секунд, користувач не вибрав модуль, то відібраним автоматично вважається навчальний модуль з максимальним значенням корисності.

Результати вибору користувача логуються для подальшого аналізу.

### 3. Експериментальна перевірка результатів дослідження

Розглянемо приклад використання даного методу для диспетчеризації трьох модулів у процесі навчання користувача з рівнем та когнітивним станом  $B_{user} = \text{Норма}$ .

Характеристики модулів наведено в табл. 1.

Таблиця 1  
Характеристики навчальних тематичних модулів

Індекс модуля	Тип завдання	Рівень складності	Кількість проходжень модуля
mod_078	Обгін на двосмуговій дорозі	0,75	0
mod_137	Проїзд Перехрестя з круговим рухом	0,58	1
mod_194	Розпізнавання дорожніх знаків у тумані	0,45	2

Корисність для модуля mod\_078 розраховується із використанням ваг  $w_1=0,5$ ,  $w_2=0,35$ ,  $w_3=0,15$  наступним чином:

$$Utility(L_3, mod_078) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{0,75-0,6}{0,15}\right)^2\right) = 0,6,$$

$$Utility(Норма, B_{user}, mod_078) = 1,$$

$$Nov(mod_078) = \frac{3-0}{3} = 1,$$

$$Utility(mod_078) = 0,5 \times 0,6 + 0,35 \times 1 + 0,15 \times 1 = 0,8.$$

Результати аналогічних розрахунків для модулів mod\_137 та mod\_194 мають такі значення:  $Utility(mod_137)=0,95$ ,  $Utility(mod_194)=0,7$ .

Очевидно, модуль mod\_137 має найвищу корисність завдяки відповідності рівню підготовки за профілем користувача та новизні (був використаний в процесі навчання лише один раз).

Результуючі дані щодо трьох модулів для вибору користувача представлені на рис. 1.

#### 4. Обговорення результатів

Розроблений метод онлайн-диспетчеризації НТМ на основі оцінки профілю та стану користувача має наступні переваги.

По-перше, комплексна оцінка забезпечує підбір складності модуля згідно рівня підготовки та поточного стану користувача. На відміну від розробленого підходу, у традиційних адаптивних НС використовується профіль користувача, який відображає його рівень підготовки на основі історії виконаних завдань [3]. Проте, даний профіль не містить інформації щодо поточного психофізіологічного стану користувача. Альтернативний підхід до оцінки рівня користувача на основі поточних біометричних

```
{
  "candidates": [
    {
      "id": "mod_137",
      "name": "Проїзд перехрестя з круговим рухом",
      "thumbnail": "/thumbnails/roundabout.jpg",
      "complexity_label": "Рівень L3",
      "duration": "8 хв",
      "description_short": "Проїзд перехрестя з круговим рухом: вибір правильної смуги, пропуск транспорту.",
      "utility_score": 0.95
    },
    {
      "id": "mod_078",
      "name": "Обгін на двосмуговій дорозі",
      "thumbnail": "/thumbnails/overtaking.jpg",
      "complexity_label": "Рівень L4",
      "duration": "10 хв",
      "description_short": "Тренування безпечного обгону на двосмуговій дорозі: вибір дистанції, контроль швидкості зустрічного транспорту.",
      "utility_score": 0.8
    },
    {
      "id": "mod_194",
      "name": "Розпізнавання дорожніх знаків у тумані",
      "thumbnail": "/thumbnails/fog_signs.jpg",
      "complexity_label": "Рівень L3",
      "duration": "7 хв",
      "description_short": "Сценарій з обмеженою видимістю: розпізнавання дорожніх знаків та попереджувальних сигналів.",
      "utility_score": 0.7
    }
  ],
  "recommendation": "mod_137"
}
```

Рис. 1. Інформація щодо трьох модулів з максимальним значенням корисності для представлення користувачеві

даних (наприклад, частоти серцебиття) не враховує базовий рівень його знань [8]. В результаті користувач з низьким рівнем стресу може отримати для вивчення занадто складний модуль, який не зможе опанувати. Або ж підготовлений користувач у стресовому стані отримає занадто простий модуль.

По-друге, розроблений метод послідовно виконує фільтрацію модулів на основі правил, після чого реалізує підбір модулів лише для відфільтрованої підмножини. Такий підхід характеризується суттєвим зменшенням обчислювальних витрат порівняно

із традиційним підходами на основі колаборативної фільтрації та матричної факторизації [3].

По-третє, розроблений метод підтримує взаємодію з користувачем шляхом вибору одного із запропонованих модулів-кандидатів, що сприяє підвищенню рівня задоволеності користувача. Зокрема, користувач може врахувати поточні обмеження свого часу при виборі модуля.

Четверте, використання правил попередньої фільтрації на першому етапі методу створює умови для побудови пояснень щодо персональних причин підбору конкретного модуля для користувача. Такий підхід відрізняється від традиційних підходів на основі машинного навчання, в яких вибір є непрозорим для користувача. Особливо важливим стає наявність процедури формування пояснень є у випадку, якщо потрібна сертифікація навчальної системи. Така сертифікація зазвичай проводиться як у автомобільній, так і загалом у транспортній, зокрема, авіаційній, галузях.

Також слід зазначити, що існуючі методи диспетчеризації як правило реалізуються у вигляді монолітних модулів без відповідного API, що ускладнює їх інтеграцію у мікросервісну архітектуру, оскільки в основі таких архітектур лежать принципи слабкого зв'язку між модулями та високої зв'язності модулів. Розроблений метод використовує вектори вхідних даних, представлені у JSON –форматі, що дає можливість інтегрувати метод як окремих мікросервісів у розроблену гібридну архітектуру НС.

Обмеження розробленого методу визначають умови його застосування та можливості подальшого удосконалення.

По-перше, ефективність методу залежить від коректності метаданих у модулях, що містять сценарії навчання (складність, передумови використання).

По-друге, при підборі НТМ метод враховує поточний стан користувача, але не враховує такі довгострокові темпоральні патерни, як циркадні ритми, криву забування тощо. Останні можуть суттєво впливати на когнітивні можливості особи, яка навчається.

По-третє, метод використовує набір даних про виконання НТМ для уточнення метаданих кожного модуля. Однак такий підхід не враховує проблему холодного старту, тобто проблему налагодження нових модулів. Подальший розвиток методу з урахуванням проблеми холодного старту може бути пов'язаний із використанням метаданих із подібних НТМ, наприклад тих, що містять схожі сценарії, погодні умови, рівень трафіку, тощо.

Таким чином, розроблений метод онлайн-диспетчеризації НТМ у НС забезпечує підбір модуля згідно рівня підготовки та поточного стану кори-

стувача із можливістю вибору одного із запропонованих модулів користувачем.

## 5. Висновки

Проведене дослідження надало змогу отримати такі основні наукові результати:

Вперше запропоновано метод динамічної диспетчеризації навчальних тематичних модулів у адаптивних системах електронного навчання. Метод, на відміну від існуючих враховує рівень підготовки, поточний психофізичний стан користувача, а також ступінь новизни завдань у навчальних тематичних модулях. Метод передбачає попередню фільтрацію модулів за ступенем відповідності рівню підготовки користувача, що дає можливість суттєво зменшити обчислювальні витрати на диспетчеризацію і забезпечує роботу модуля в режимі онлайн.

Результати експериментальної перевірки засвідчили дієвість розроблених методичних засобів при вирішенні задач, що пов'язані із підвищенням ефективності функціонування НС в аспекті забезпечення персоніфікації процесу навчання шляхом поєднання процесу автоматичного підбору модуля, згідно фактичного рівня підготовки та поточного психо-фізіологічного стану користувача, із можливістю вибору ним одного із запропонованих модулів.

## Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

## Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

## Доступність даних

Рукопис не містить пов'язаних даних.

## Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що він не використовував технології штучного інтелекту під час створення цієї роботи.

Автор прочитав та погодився з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. *Малюга, А. І. Гібридна програмна архітектура з периферійними обчисленнями для адаптивних*

VR-систем навчання водінню з біометричним зворотним зв'язком [Текст] / А. І. Малиуга // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2025. – №5 (207). – С. 96 - 111. DOI: 10.32620/akt.2025.5.09.

2. Малиуга, А. І. Методи побудови адаптивно-го програмного забезпечення навчальних систем [Текст] / А. І. Малиуга // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2025. – №6 (208). – С. 113 – 127. DOI: 10.32620/akt.2025.6.11.

3. Koedinger, K. R. *The Knowledge-Learning-Instruction (KLI) framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning* [Text] / K. R. Koedinger, A. T. Corbett, & C. Perfetti // *Cognitive Science*, – 2012. – Vol. 36, iss. 5. – P. 757–798. DOI: 10.1111/j.1551-6709.2012.01245.x.

4. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use [Text] / M. Malik, J. T. Bigger, A. J. Camm, R. E. Kleiger, A. Malliani, A. J. Moss, & P. J. Schwartz // *Circulation*. – 1996. – Vol. 93, no. 5. – P. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

5. Nasri, M. *Towards intelligent VR training: A physiological adaptation framework for cognitive load and stress detection* [Text] / M. Nasri // *In Proceedings of the 33rd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (UMAP '25)*. Association for Computing Machinery. – 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2504.06461.

6. van der Linden, W. J. *Elements of adaptive testing* [Text] / W. J. van der Linden, & C. A. W. Glas. – Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-0-387-85461-8.

7. Embretson, S. E. *Item response theory for psychologists* [Text] / S. E. Embretson, & S. P. Reise. – Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000. – 384 p. DOI: 10.4324/9781410605269.

8. Weiss, D. J. *Application of computerized adaptive testing to educational problems* [Text] / D. J. Weiss, & G. G. Kingsbury // *Journal of Educational Measurement*. – 1984. – Vol. 21, no. 4. – P. 361–375. DOI: 10.1111/j.1745-3984.1984.tb01040.x.

VR-system navchannia vodinniu z bio-metrychnym zворотnym zviazkom [Hybrid software architecture with edge computing for adaptive VR driving training systems with biometric feedback]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2025, no.5 (207), pp. 96-111. DOI: 10.32620/akt.2025.5.09. (in Ukrainian).

2. Maliuha, A. I. Metody pobudovy adaptivnoho prohrannoho zabezpechennia navchalnykh system [Methods of adaptive software protection of control systems]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2025, no.6 (208), pp. 113-127. DOI: 10.32620/akt.2025.6.11. (in Ukrainian).

3. Koedinger, K. R., Corbett, A. T., & Perfetti, C. The Knowledge-Learning-Instruction (KLI) framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning. *Cognitive Science*, 2012, vol. 36, iss. 5, pp. 757–798. DOI: 10.1111/j.1551-6709.2012.01245.x.

4. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 1996, vol. 93, no. 5, pp. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

5. Nasri, M. *Towards intelligent VR training: A physiological adaptation framework for cognitive load and stress detection*. *In Proceedings of the 33rd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (UMAP '25)*. Association for Computing Machinery, 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2504.06461.

6. van der Linden, W. J., & Glas, C. A. W. *Elements of adaptive testing*. Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-0-387-85461-8.

7. Embretson, S. E., & Reise, S. P. *Item response theory for psychologists*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2000. 384 p. DOI: 10.4324/9781410605269.

8. Weiss, D. J., & Kingsbury, G. G. Application of computerized adaptive testing to educational problems. *Journal of Educational Measurement*, 1984, vol. 21, no. 4, pp. 361–375. DOI: 10.1111/j.1745-3984.1984.tb01040.x.

## References

1. Maliuha, A. I. Hibrydna prohranna arkhitektura z peryfiriinymy obchyslenniamy dlia adaptivnykh

Отримано 05.12.2025, отримано у доопрацьованому вигляді 08.01.2026  
Дата ухвалення 15.01.2026, дата публікації 22.01.2026

## METHOD OF ONLINE DISPATCHING OF THEMATIC MODULES IN ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS USING VECTOR OF INDIVIDUAL PROFILE AND CURRENT STATE OF THE USER

Artur Maliuha

The subject of the article is the methodological basis for ensuring the adaptability of training systems (TS), utilizing real-time biometric feedback to the user, which provides personalization of the training process for vehicle drivers, aircraft pilots, operators of complex technical systems, etc. The goal is to increase the efficiency of computer-based training tools by developing a method for online dispatching of thematic training modules (TTM), which is based on the use of a user profile vector and a user state vector. These vectors are formed by integrating previous psychometric assessments of the level of training, analyzing learning results, and subsequently converting information about the user's state into discrete levels of complexity for dispatching TTM as part of the TS. The tasks addressed include: conducting a critical analysis of approaches to developing software for adaptive TS with biometric feedback and means of personalizing the training process; and developing a method for the online dispatching of training modules based on the integration of user profile assessments and biometric state, which aggregates previous task performance results and takes into account the variability of the user's heart rate. The following results were obtained. The practical advantage of the developed method lies in ensuring the personalization of training in adaptive TS software architectures across various subject areas, based on effective online dispatching of TTM, using vectors of the individual profile and the current state of the learners. Conclusions. As a result of the research, a method was developed to increase the level of TS adaptability by the real-time dispatching of software modules in the system, considering data on the individual characteristics of a particular user and his current psychophysiological state. The scientific novelty of the results obtained is as follows. For the first time, a method for the dynamic dispatching of TTM in adaptive e-learning systems was proposed. The method, unlike existing ones, considers the level of training, the current psychophysical state of the user, as well as the degree of novelty of the tasks in the TTM. The method uses preliminary filtering of modules based on the degree of alignment with the level of user training, which makes it possible to significantly reduce the computational costs for dispatching and ensures the operation in the module in online mode. The results of experimental testing have shown the effectiveness of the developed methodological tools in solving problems related to increasing the efficiency of TS operation, in terms of their adaptability to the individual characteristics of the user.

**Keywords:** training system; adaptability; thematic training module; psychometric characteristics of the user; biometric feedback; individual user profile; current user state profile; online dispatching; VR environment; module filtering; module topic filter; complexity filter; training duration filter; logging.

**Малюга Артур Іванович** – асп. каф. інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Artur Maliuha** – PhD Student, the Department of Software Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine,  
e-mail: artur.maliuha@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1855-5757.