

УДК 004.89:004.94:37.018.43

ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ КОГНІТИВНОГО СТАНУ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ У ВІРТУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Т. В. Дитко

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет»**пл. Народна, 3, Ужгород, 88000, Україна**https://orcid.org/0009-0003-8860-8183, e-mail: taras.dytko@uzhnu.edu.ua*

У статті розглянуто проєктування інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти у віртуальних навчальних середовищах. Запропонований підхід базується на інтеграції мультимодальних даних, зокрема поведінкових, фізіологічних та контекстних показників, які отримуються з різних джерел, включаючи LMS, сенсорні пристрої та цифрові сліди взаємодії користувача.

Сформовано архітектуру інформаційної технології, що охоплює підсистеми збору даних, їх попередньої обробки, видобування ознак, аналітичного моделювання, прогнозування та формування персоналізованих рекомендацій. Особливу увагу приділено аналітичному ядру системи, яке реалізує оцінювання поточного когнітивного стану та прогнозування його змін із використанням методів машинного навчання та нечіткої логіки. Запропоновано формалізацію процесу обробки даних у вигляді DFD діаграм, секвенційних та Use Case-діаграм, що дозволило комплексно описати як структуру системи, так і динаміку її функціонування.

Отримані результати свідчать про перспективність використання запропонованої інформаційної технології для підтримки адаптивного навчання, підвищення рівня залученості здобувачів освіти та оптимізації освітнього процесу у віртуальних освітніх середовищах.

Ключові слова: *когнітивний стан, моніторинг, віртуальні навчальні середовища, інформаційні технології, мультимодальні дані, поведінкові метрики, цифрові фенотипи, машинне навчання, нечітка логіка, адаптивне навчання, персоналізовані рекомендації, аналітичні системи, освітня аналітика, інтелектуальні системи, обробка даних.*

Постановка проблеми. Поєднання віртуальних навчальних середовищ (LMS, онлайн-платформи, віртуальні лабораторії) з біометричними і поведінковими даними відкриває нові можливості для оцінювання когнітивного стану учнів. За наявності реальних часових відгуків від ЕЕГ, трекерів погляду, сенсорів активності тощо можна виявляти втомлення, перевантаження або демотивацію і, відповідно, надавати адаптивний фідбек. Завдання дослідження – розробити інтегровану технологію, яка пасивно збирає дані від користувача, будує материнську модель його

когнітивних процесів, а також забезпечує діагностику (поточний стан) і прогноз (як зміниться навантаження), що буде доступним для викладача і учня. Ключові цілі: визначення компонентів системи (датчики, алгоритми, інтерфейси), архітектурної взаємодії між ними та користувачем, а також плану її експериментальної перевірки ефективності.

Проблема актуальна: традиційні системи навчання (ЛМС) реєструють лише кліки та оцінки, що не дає повної картини когнітивних процесів. Натомість мультимодальні навчальні аналітики (MMLA) вказують, що слід збирати глибші сліди – від фізіології і поведінки (погляд, серцебиття, рухи) до цифрових слідів (лог-кліки, метрики введення). Розвиток IoT, VCI-інструментів та AI надало технологічну можливість побудувати закритий конвеєр: від пристроїв збору даних до моделей машинного навчання, здатних класифікувати навантаження і навіть коригувати навчальний процес в реальному часі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Когнітивний стан учня охоплює когнітивне навантаження, увагу, стрес і втомлюваність, що проявляються під час навчання. Когнітивні теорії, зокрема теорія когнітивного навантаження (Cognitive Load Theory) та мультимедійного навчання, підкреслюють обмеженість робочої пам'яті і важливість адаптації навчального матеріалу [1, 2]. Активне дослідження з нейрокомп'ютерних інтерфейсів (HCI, VCI) показало, що непроактивний VCI може фіксувати когнітивне робоче навантаження (WML) і емоції без переривання задачі [3]. Наприклад, Gerjets та ін. показують, що мережі з EEG можуть виявляти рівні навантаження без участі користувача [3]. Класичні огляди з когнітивної психології та ергономіки дають основу визначень і метрик [4, 6, 6]. Використовуються суб'єктивні методи (анкетні, самооцінка) і об'єктивні (час реакції, помилки). Останнім часом популярні multimodal learning analytics (MMLA), що поєднують декілька модальностей: поведінкові дані, відео, аудіо, фізіологічні сенсори та т. ін. [7]. Такі підходи дозволяють не просто розпізнавати окремі події (натиснули «далі» чи ні), а будують цілісну картину процесу навчання і мають більший потенціал для точного відображення прихованих конструктів (зокрема, «увага» та «втома») [7].

Проведений аналіз свідчить, про відсутність ґрунтовних досліджень саме інформаційних систем та технологій які дозволяють здійснювати контроль когнітивного навантаження на здобувачів освіти за рахунок саморегулювання та аналізу активності здобувачів освіти у віртуальному навчальному середовищі.

Мета статті. Виконати проектування архітектури інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти у віртуальних навчальних середовищах на основі інтеграції мультимодальних даних, а також у розробленні підходів до оцінювання та прогнозування когнітивних процесів із використанням методів машинного навчання та аналітичного моделювання з метою підвищення ефективності адаптивного навчання.

Виклад основного матеріалу дослідження. На початковому етапі роботи було розроблено вимоги до системи, основні з яких це збір даних з різних джерел, таких як LMS API (логування подій), вебкамери, EEG-шолому, сенсорів тілесних

показників (пульсометр, браслет з ЕКГ/EDA) [12, 13]. Модулі препроцесингу для згладжування, вирівнювання часових рядів, виявлення артефактів. Аналітичне ядросистеми для обчислення ознак і предиктивні моделі, що видають поточний/прогнозований стан. Інтерфейс викладача що являє собою дошку з графіками стану студентів, попереджувальні сигнали про критичне навантаження, рекомендації. Інтерфейс здобувача освіти який відображає поточний рівень втоми/уваги та поради. Рекомендаційний модуль який на основі результатів моделі формулює поради – змінити складність, зробити перерву, перемкнути тип активності [11, 15]. Система управління даними, що являє собою базу даних для довгострокового зберігання, API для доступу модулів [10]. Додатково запропоновано, що система повинна працювати майже в реальному часі (<0.5 секунд затримки від потоку даних до відгуку). Має підтримувати сумісність з популярними LMS та забезпечувати масштабованість і надійність [8, 9].

Загальна архітектура. Розроблена загальна архітектура системи, яка складається з послідовно взаємопов'язаних функціональних підсистем (див. рис. 1), що забезпечують повний цикл обробки даних – від їх збору до формування рекомендацій і відображення результатів користувачам [10, 12]. На першому етапі функціонує підсистема збору даних, яка забезпечує отримання різномірної інформації з кількох джерел, зокрема логів LMS і клікстріму, подій миші та клавіатури, даних айтрекера, EEG-гарнітури, носимих пристроїв (пульс, електродермальна активність), вебкамери (аналіз обличчя), мікрофона (аудіосигнали), а також цифрових фенотипів, що відображають поведінкові патерни користувача. Усі ці дані формують первинний масив не структурованої інформації. Далі відбувається передобробка даних, яка включає їх очищення, фільтрацію шумів, усунення артефактів, перевірку повноти та коректності, а також синхронізацію сигналів у часі для забезпечення узгодженості між різними джерелами [12, 13]. Наступним етапом є видобування ознак, у межах якого з очищених даних обчислюються інформативні характеристики, що можуть мати статистичний, часовий, частотний або поведінковий характер і використовуються як вхідні параметри для подальшого аналізу. Центральним компонентом системи є аналітичне ядро, яке виконує інтеграцію мультимодальних ознак і їх моделювання з використанням методів машинного навчання або інших аналітичних підходів з метою визначення когнітивного стану користувача [15, 18]. На основі результатів цього аналізу функціонує підсистема ухвалення рішень та зворотного зв'язку, яка забезпечує діагностику когнітивного стану, прогнозування його змін та формування персоналізованих рекомендацій за допомогою рекомендаційного механізму, що дозволяє адаптувати навчальний процес до індивідуальних особливостей користувача [11, 14]. Завершальним етапом є підсистема інтерфейсів, яка забезпечує представлення результатів роботи системи через панель викладача у вигляді аналітичного дашборду та інтерфейс здобувача, орієнтований на реалізацію адаптивного навчання шляхом надання рекомендацій і зворотного зв'язку [9].

Послідовність взаємодій. На діаграмі (рис.2) відображено послідовність взаємодії між основними компонентами системи: здобувачем освіти, сенсорною

підсистемою (LMS, EEG, eye-tracker, носимі пристрої), системою моніторингу, аналітичною моделлю та викладачем. Процес розпочинається зі взаємодії здобувача освіти з навчальною платформою, під час якої генеруються поведінкові та фізіологічні дані. Ці дані збираються сенсорами та передаються до системи моніторингу у вигляді різномірних потоків, включаючи лог-файли, сигнали EEG, дані відстеження погляду та інші параметри [12, 13].

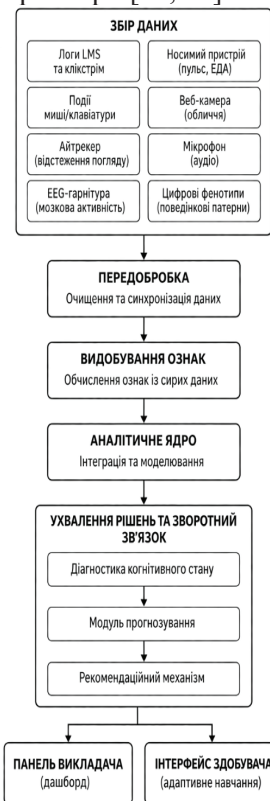


Рис. 1. Архітектурна блок-схема ІТ для моніторингу когнітивного стану

У системі моніторингу виконується попередня обробка даних, що включає препроцесінг, синхронізацію різних джерел та видалення шумів [16, 19]. Після цього формується вектор ознак, який передається до аналітичної моделі для подальшої оцінки. Аналітична модель обробляє отримані дані, визначає когнітивний стан здобувача освіти та формує прогноз його змін [20].

Результати аналізу повертаються до системи моніторингу, де вони використовуються для оновлення стану системи та формування відповідного зворотного зв'язку. Зокрема, відбувається оновлення інформаційної панелі викладача (дашборду), що дозволяє відслідковувати поточний стан здобувачів освіти в реальному часі. Паралельно система генерує рекомендації, які передаються здобувачу освіти через інтерфейс користувача, зокрема у вигляді повідомлень або через інтеграцію з інтелектуальним помічником (чат-ботом).

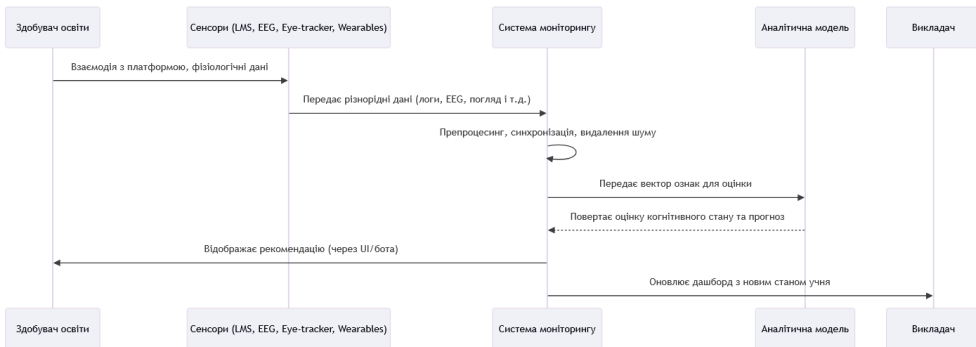


Рис. 2. Секвенційна діаграма взаємодій: збирання даних з користувача, аналіз, передача результатів і рекомендацій

Таким чином, діаграма відображає часову послідовність процесів збору даних від здобувача освіти, їх обробку, аналізу та подальшу передачу результатів і рекомендацій користувачам системи. Вона дозволяє простежити динаміку функціонування інформаційної технології, зокрема порядок обміну повідомленнями між компонентами системи та ролями користувачів. Разом з тим, для більш глибокого розуміння внутрішньої структури аналітичного ядра та формалізації потоків даних розроблено діаграму потоків даних (DFD) рівня 1 (рис.3), яка деталізує процеси перетворення інформації та взаємозв'язки між підсистемами.

Розроблена діаграма DFD-рівня аналітичного ядра інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти, що відображає послідовність обробки даних, взаємозв'язки між підсистемами та використання моделей штучного інтелекту. Вхідними даними системи виступають очищені дані, сформовані вектори ознак та цифрові профілі користувачів, які надходять до модуля 3.1 інтеграції мультимодальних даних. На цьому етапі здійснюється об'єднання різномірних джерел інформації, включаючи поведінкові, сенсорні та історичні дані, з метою формування узгодженого представлення стану користувача.

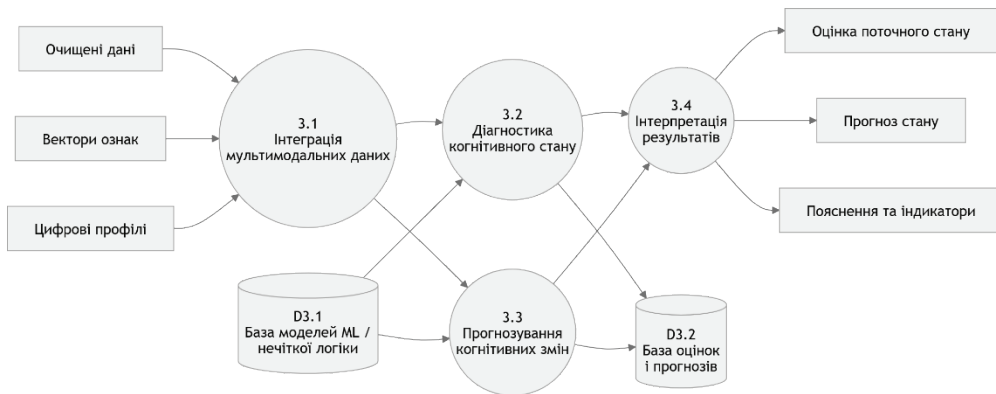


Рис. 3. Діаграма потоків даних (DFD) рівня 1

Результати інтеграції передаються до модуля 3.2 діагностики когнітивного стану, який реалізує оцінювання поточного стану здобувача освіти із використанням моделей машинного навчання та нечіткої логіки, що зберігаються у базі моделей D3.1. Паралельно сформовані дані надходять до модуля 3.3 прогнозування когнітивних змін, де на основі часових залежностей та навчальних патернів здійснюється прогноз майбутніх станів користувача; результати прогнозування накопичуються у базі оцінок і прогнозів D3.2. Далі результати діагностики та прогнозування передаються до модуля 3.4 інтерпретації результатів, який виконує їх узагальнення, пояснення та формування зрозумілих для користувача індикаторів. На виході системи формуються ключові результати такі як: оцінка поточного когнітивного стану, прогноз його змін, а також пояснення та індикатори, що використовуються для подальшої адаптації навчального процесу. Таким чином, представлена схема відображає повний цикл перетворення даних починаючи від інтеграції мультимодальної інформації до формування інтерпретованих аналітичних результатів, що є необхідною складовою функціонування інтелектуальної інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти [15, 18, 20].

Для формалізації функціональної структури інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти та визначення ролей користувачів у процесі її функціонування виконано побудову діаграми варіантів використання (Use Case), яка дозволяє відобразити основні сценарії взаємодії між користувачами системи та її функціональними компонентами, а також визначити межі системи та її ключові сервіси.

На рисунку 4 представлено Use Case-діаграму інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувача освіти, яка демонструє взаємодію трьох основних ролей користувачів: здобувача освіти, викладача та адміністратора

Здобувач освіти ініціює процес шляхом взаємодії з навчальним контентом, що супроводжується реєстрацією подій та збором поведінкових і мультимодальних даних. На основі цих даних здійснюється формування цифрового профілю користувача, який використовується для подальшого оцінювання когнітивного стану та прогнозування його змін.

Аналітичне ядро системи забезпечує обробку отриманих даних, реалізуючи функції оцінювання когнітивного стану та прогнозування його динаміки із застосуванням моделей штучного інтелекту. Отримані результати використовуються для формування персоналізованих рекомендацій, які відображаються у користувачькому інтерфейсі здобувача освіти, а також агрегуються у вигляді аналітичних панелей для викладача, що дозволяє здійснювати моніторинг стану групи або курсу.

Викладач взаємодіє з системою через механізми перегляду дашбордів, аналізу результатів, формування звітів та прийняття рішень щодо адаптації навчального процесу. Адміністратор, у свою чергу, відповідає за налаштування моделей, параметрів системи, керування користувачами та ролями доступу, а також забезпечення дотримання вимог безпеки, етики та конфіденційності.

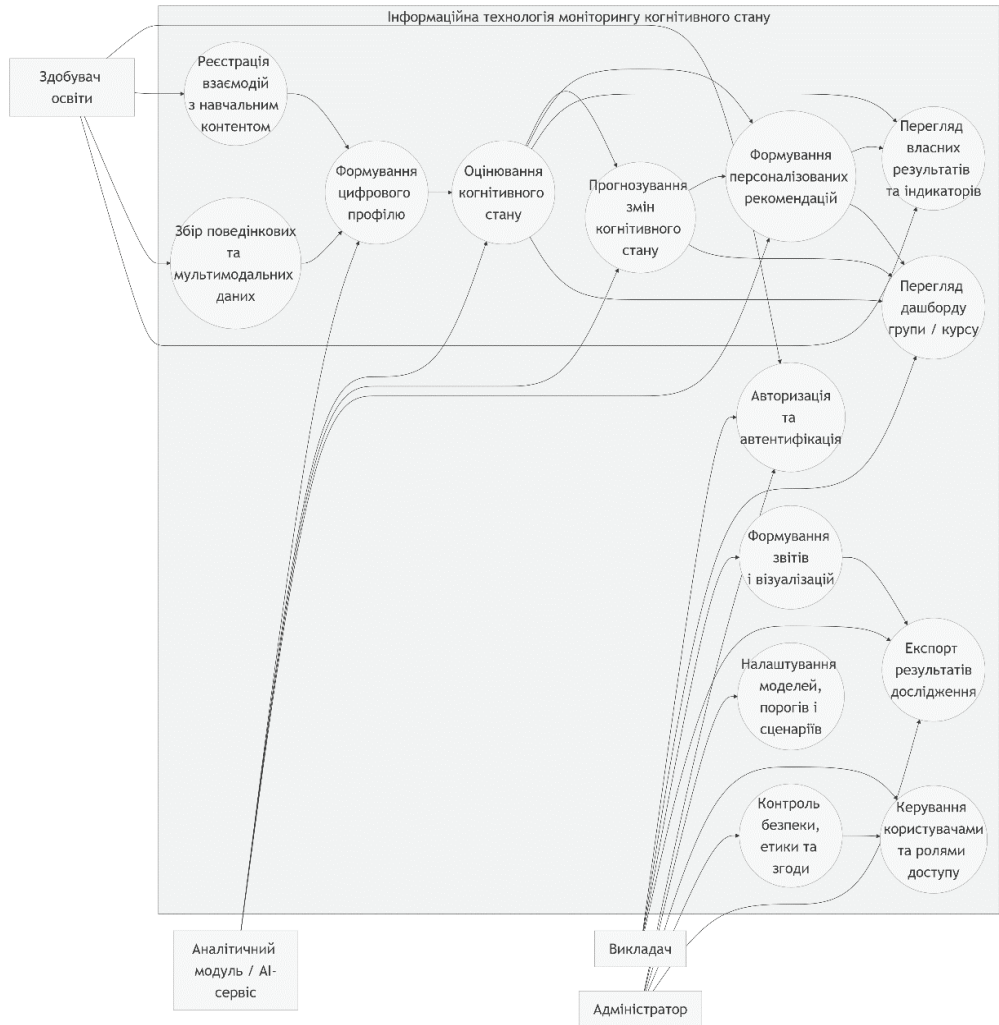


Рис. 4. Use Case-діаграма інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувача освіти

Таким чином, побудована діаграма демонструє комплексну взаємодію користувачів та компонентів інформаційної технології, відображаючи як процеси збору та аналізу даних, так і механізми прийняття рішень та управління системою, що є необхідним для забезпечення ефективного моніторингу когнітивного стану у віртуальних навчальних середовищах.

У межах проведеного дослідження було сформовано цілісну концепцію інформаційної технології моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти у віртуальних навчальних середовищах, що охоплює всі етапи обробки даних. Побудовані діаграми дозволили формалізувати як динаміку функціонування системи, так і її внутрішню структуру та взаємодію з користувачами. Запропонований підхід забезпечує

інтеграцію мультимодальних даних, використання методів машинного навчання для оцінювання когнітивного стану та підтримку прийняття рішень у навчальному процесі. Особливу увагу приділено питанням безпеки, етики та експериментальної валідації, що підтверджує можливість практичного застосування розробленої інформаційної технології в реальних освітніх середовищах

Висновки. У роботі розроблено інформаційну технологію моніторингу когнітивного стану здобувачів освіти у віртуальних навчальних середовищах, яка забезпечує комплексний підхід до збору, обробки та аналізу мультимодальних даних. Запропонована система поєднує поведінкові, фізіологічні та цифрові показники, що дозволяє формувати узгоджене представлення когнітивного стану користувача та враховувати індивідуальні особливості навчальної діяльності.

У межах дослідження сформовано архітектуру системи, що включає підсистему збору даних, їх передобробки, видобування ознак, аналітичного моделювання, прогнозування та формування рекомендацій. Розроблені діаграми (архітектурна, секвенційна, DFD та Use Case) дозволили формалізувати структуру інформаційної технології, визначити основні потоки даних, ролі користувачів та логіку взаємодії між компонентами системи.

Запропоноване аналітичне ядро реалізує оцінювання та прогнозування когнітивного стану на основі методів машинного навчання та нечіткої логіки, що забезпечує можливість адаптивного реагування системи на зміни стану здобувача освіти. Результати аналізу використовуються для формування персоналізованих рекомендацій, які сприяють оптимізації навчального процесу, зниженню когнітивного навантаження та підвищенню ефективності засвоєння матеріалу.

Проведений аналіз критеріїв ефективності та запропонований дизайн експериментального дослідження підтверджують потенційну результативність розробленої системи, зокрема можливість досягнення високої точності оцінювання когнітивного стану та позитивного впливу на навчальні результати. Водночас враховано аспекти безпеки, етики та конфіденційності даних, що є критично важливими для впровадження подібних технологій у освітнє середовище.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні моделей оцінювання когнітивного стану з урахуванням міжіндивідуальної варіативності, розширенні набору джерел мультимодальних даних, інтеграції з сучасними LMS-платформами, а також у проведенні масштабних експериментів для підтвердження ефективності системи в реальних умовах навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Busch B., Watson E., Bogatchek L. Cognitive Load Theory. Teaching & Learning Illuminated. London, 2023. P. 39–47. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003334361-4>.
2. Mayer R. Multimedia Learning. Cambridge University Press, 2020. 320 p.
3. Gerjets P, Walter C, Rosenstiel W, Bogdan M and Zander TO (2014) Cognitive state monitoring and the design of adaptive instruction in digital environments: lessons learned from cognitive workload assessment using a passive brain-computer interface approach. Front. Neurosci. 8:385. doi: 10.3389/fnins.2014.00385.

4. When working memory may be just working, not memory. / A. Beukers et al. *Psychological Review*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1037/rev0000448>.
5. Sweller J., van Merriënboer J. J. G., Paas F. Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*. 2019. Vol. 31, no. 2. P. 261–292. URL: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
6. Miyake S., Kuraoka H., Kurosaka C. Correlations among NASA-TLX Scores. *The Japanese Journal of Ergonomics*. 2019. Vol. 55, no. 6. P. 247–253. URL: <https://doi.org/10.5100/jje.55.247>.
7. Blikstein P., Worsley M. Multimodal Learning Analytics and Education Data Mining: using computational technologies to measure complex learning tasks. *Journal of Learning Analytics*. 2016. Vol. 3, no. 2. P. 220–238. URL: <https://doi.org/10.18608/jla.2016.32.11>.
8. Бабак О., Ісак Л. Хмарні технології в освіті. *Grail of Science*. 2023. № 27. С. 486–490. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.079>.
9. Жаровська О. Інформаційно-комунікаційні технології в управлінні освітньою сферою. *Philosophy and Governance*. 2025. №3(7). URL: <https://doi.org/10.70651/3041-248x/2025.3.04>.
10. Мар'єнко М. В., Шишкіна М. П., Коновал О. А. Методологічні засади формування хмаро орієнтованих систем відкритої науки у закладах вищої педагогічної освіти. *Information Technologies and Learning Tools*. 2022. Т. 89, № 3. С. 209–232. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v89i3.4981>.
11. Олійник О., Солошенко О., Васильєва М. Інтерактивні методи навчання дисциплін суспільствознавчої галузі знань: теорія і практика. *new collegium*. 2024. Т. 114, № 2. С. 72–79. URL: <https://doi.org/10.34142/nc.2024.2.72>.
12. Особливості використання інформаційних технологій в освіті / О. Сіняєва та ін. *Education. Innovation. Practice*. 2023. Т. 11, № 7. С. 98–104. URL: <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i7-013>.
13. Симоненко К. П. Інформаційні технології та їх використання в навчальному процесі. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2019. № 21 (28). С. 112–116. URL: [https://doi.org/10.31392/npu-nc-series2.2019.21\(28\).18](https://doi.org/10.31392/npu-nc-series2.2019.21(28).18).
14. Affective Dynamics and Cognition during Game-based Learning / E. B. Cloude et al. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2022. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1109/taffc.2022.3210755>.
15. Baker R. S. Learning Analytics: An Opportunity for Education. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*. 2023. Vol. 29, no. 3. P. 18–21. URL: <https://doi.org/10.1145/3589636>.
16. Design and Evaluation of a Clippable and Personalizable Pneumatic-haptic Feedback Device for Breathing Guidance / K. Y. Choi et al. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 1–36. URL: <https://doi.org/10.1145/3517234>.
17. Farinola N. Comprehensive guide to biological agents. *Medical Journal of Australia*. 2017. Vol. 207, no. 4. P. 150. URL: <https://doi.org/10.5694/mja17.00009>.
18. Kharis S. A. A., Zili A. H. A. Learning Analytics dan Educational Data Mining pada Data Pendidikan. *Jurnal riset pembelajaran matematika sekolah*. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 12–20. URL: <https://doi.org/10.21009/jrpms.061.02>.

19. Kuś M. Fundamentals of quantum computing. *Elektronika - konstrukcje, technologie, zastosowania*. 2023. Vol. 1, no. 8. P. 8–13. URL: <https://doi.org/10.15199/13.2023.8.2>.
20. Pattern detection in bipartite networks: A review of terminology, applications, and methods / Z. P. Neal et al. *PLOS Complex Systems*. 2024. Vol. 1, no. 2. P. e0000010. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pcsy.0000010>.

REFERENCES

1. Busch B., Watson E., Bogatchek L. *Cognitive Load Theory. Teaching & Learning Illuminated*. London, 2023. P. 39–47. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003334361-4>.
2. Mayer R. *Multimedia Learning*. Cambridge University Press, 2020. 320 p.
3. Gerjets P, Walter C, Rosenstiel W, Bogdan M and Zander TO (2014) Cognitive state monitoring and the design of adaptive instruction in digital environments: lessons learned from cognitive workload assessment using a passive brain-computer interface approach. *Front. Neurosci.* 8:385. doi: 10.3389/fnins.2014.00385.
4. When working memory may be just working, not memory. / A. Beukers et al. *Psychological Review*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1037/rev0000448>.
5. Sweller J., van Merriënboer J. J. G., Paas F. *Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later*. *Educational Psychology Review*. 2019. Vol. 31, no. 2. P. 261–292. URL: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
6. Miyake S., Kuraoka H., Kurosaka C. Correlations among NASA-TLX Scores. *The Japanese Journal of Ergonomics*. 2019. Vol. 55, no. 6. P. 247–253. URL: <https://doi.org/10.5100/jje.55.247>.
7. Blikstein P., Worsley M. *Multimodal Learning Analytics and Education Data Mining: using computational technologies to measure complex learning tasks*. *Journal of Learning Analytics*. 2016. Vol. 3, no. 2. P. 220–238. URL: <https://doi.org/10.18608/jla.2016.32.11>.
8. Babak, O., & Isak, L. (2023). Cloud technologies in education. *Grail of Science*, 27, 486–490. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.079>
9. Zharovska, O. (2025). Information and communication technologies in educational management. *Philosophy and Governance*, 3(7). <https://doi.org/10.70651/3041-248x/2025.3.04>.
10. Marienko, M. V., Shyshkina, M. P., & Konoval, O. A. (2022). Methodological principles of forming cloud-oriented systems of open science in higher pedagogical education institutions. *Information Technologies and Learning Tools*, 89(3), 209–232. <https://doi.org/10.33407/itlt.v89i3.4981>.
11. Oliinyk, O., Soloshenko, O., & Vasylieva, M. (2024). Interactive teaching methods in social sciences: Theory and practice. *New Collegium*, 114(2), 72–79. <https://doi.org/10.34142/nc.2024.2.72>.
12. Siniaieva, O., et al. (2023). Features of the use of information technologies in education. *Education. Innovation. Practice*, 11(7), 98–104. <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i7-013>.
13. Symonenko, K. P. (2019). Information technologies and their use in the educational process. *Scientific Journal of NPU named after M. P. Drahomanov. Series 2*, 21(28), 112–116. <https://doi.org/10.31392/npu-nc.series2.2019.21%2828%29.18>.
14. Affective Dynamics and Cognition during Game-based Learning / E. B. Cloude et al. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2022. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1109/taffc.2022.3210755>.

15. Baker R. S. Learning Analytics: An Opportunity for Education. XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students. 2023. Vol. 29, no. 3. P. 18–21. URL: <https://doi.org/10.1145/3589636>.
16. Design and Evaluation of a Clippable and Personalizable Pneumatic-haptic Feedback Device for Breathing Guidance / K. Y. Choi et al. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 1–36. URL: <https://doi.org/10.1145/3517234>.
17. Farinola N. Comprehensive guide to biological agents. Medical Journal of Australia. 2017. Vol. 207, no. 4. P. 150. URL: <https://doi.org/10.5694/mja17.00009>.
18. Kharis S. A. A., Zili A. H. A. Learning Analytics dan Educational Data Mining pada Data Pendidikan. Jurnal Riset Pembelajaran Matematika Sekolah. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 12–20. URL: <https://doi.org/10.21009/jrpms.061.02>.
19. Kuś M. Fundamentals of quantum computing. elektronika - konstrukcje, technologie, zasto-sowania. 2023. vol. 1, no. 8. p. 8–13. url: <https://doi.org/10.15199/13.2023.8.2>.
20. Pattern detection in bipartite networks: A review of terminology, applications, and methods / Z. P. Neal et al. PLOS Complex Systems. 2024. Vol. 1, no. 2. P. e0000010. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pcomplex.1000010>.

doi: 10.32403/1998-6912-2026-1-72-102-113

DESIGN OF THE ARCHITECTURE OF AN INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING THE COGNITIVE STATE OF LEARNERS IN VIRTUAL LEARNING ENVIRONMENTS

T. V. Dytko

*Uzhhorod National University, 3 Narodna Sq., Uzhhorod, 88000, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-8860-8183>, e-mail: taras.dytko@uzhnu.edu.ua*

The rapid development of digital education and virtual learning environments has significantly expanded the possibilities for monitoring and analyzing learners' cognitive states in real time. However, traditional learning management systems (LMS) mainly rely on interaction logs and assessment results, which provide only limited insight into the actual cognitive processes of learners. This creates the need for advanced information technologies capable of integrating heterogeneous data sources and providing a comprehensive assessment of cognitive states.

This study focuses on the design of an information technology architecture for monitoring the cognitive state of learners in virtual learning environments. The proposed approach is based on the integration of multimodal data, including behavioral, physiological, and contextual indicators obtained from various sources such as LMS platforms, wearable sensors, EEG devices, eye-tracking systems, and digital interaction traces. Such integration enables the formation of a holistic representation of the learner's cognitive processes, including cognitive load, attention, fatigue, and emotional state.

The developed architecture includes several interconnected subsystems: data acquisition, preprocessing, feature extraction, analytical modeling, prediction, and

recommendation generation. Particular attention is paid to the analytical core, which implements cognitive state assessment and forecasting using machine learning techniques and fuzzy logic models. The system operates in near real-time, allowing dynamic adaptation of the learning process based on the detected cognitive state of the learner.

To formalize the system design, a set of modeling tools was applied, including Data Flow Diagrams (DFD), sequence diagrams, and use case diagrams. These models provide a comprehensive representation of both the structural and functional aspects of the system, as well as the interaction between users and system components. The proposed solution supports multiple user roles, including learners, instructors, and administrators, enabling personalized feedback, real-time monitoring, and adaptive decision-making.

The results demonstrate that the designed information technology has significant potential for enhancing adaptive learning, improving learner engagement, and optimizing educational processes in virtual environments. The proposed approach contributes to the development of intelligent educational systems capable of supporting personalized and data-driven learning experiences.

Keywords: cognitive state, monitoring, virtual learning environments, information technology, multimodal data, behavioral metrics, digital phenotyping, machine learning, fuzzy logic, adaptive learning, personalized recommendations, analytical systems, learning analytics, intelligent systems, data processing.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2026.

Submitted: 24.03.2026.

Прийнято до друку: 30.04.2026.

Accepted: 30.04.2026.

Опубліковано: 30.05.2026.

Published: 30.05.2026.



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Т. В. Дитко