

Станішовський А.С.

доктор філософії, старший викладач,
Центр розвитку навчання та викладання
Українського католицького університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4414-0000>

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКОВО-ПРИКЛАДНОЮ ПІДГОТОВКОЮ НА ОСНОВІ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕДУРНИХ ПОМИЛОК

У статті обґрунтовано моніторинг процедурних помилок для адаптивного управління інтенсивними військово-прикладними проєктами у закладах вищої освіти як альтернативу традиційному оцінюванню, що не виявляє девіації вчасно. Методологія базується на системному, ризик-орієнтованому й адаптивному підходах та освітній аналітиці. Емпіричні дані отримано на симуляторі LifesaverSIM шляхом аналізу показників активності, обсягу сценаріїв, індексу вправності й динаміки помилок здобувачів. Дослідження підтвердило, що динаміка процедурних помилок індикує рівень компетентностей, запобігаючи закріпленню хибних алгоритмів через автоматизацію дій та оперативне коригування освітніх траєкторій. Наукова новизна полягає в обґрунтуванні таких помилок як об'єкта освітньої аналітики й управління для адаптації змісту й інтенсивності навчання. Практичне значення роботи визначено можливістю інтеграції розробленого підходу в симуляційні й алгоритмізовані середовища з високими вимогами до надійності дій.

Ключові слова: процедурні помилки, адаптивне управління, військово-прикладна підготовка, освітня аналітика, LifesaverSIM, формувальне оцінювання, управління освітніми проєктами.

ADAPTIVE MANAGEMENT OF MILITARY-APPLIED TRAINING BASED ON PROCEDURAL ERROR MONITORING

Stanishovskyi Artur

Center for Learning and Teaching Development,
Ukrainian Catholic University

The article substantiates the use of procedural error monitoring as a foundation for the adaptive management of intensive military-applied training projects in higher education institutions. The relevance of the study is determined by the growing need to ensure the reliability of practical training under conditions of limited instructional time, high learning intensity, and the critical cost of procedural errors in military-oriented professional activities. Traditional summative assessment is shown to be insufficient for the timely identification of deviations during the process of procedural skill acquisition, as it evaluates only final learning outcomes without providing opportunities for real-time correction of learners' actions. The methodological framework of the research is based on systemic, risk-oriented, and adaptive management approaches combined with the principles of educational analytics and formative assessment. The empirical basis of the study relies on learning data generated within the LifesaverSIM digital simulation platform, including indicators of learner activity, scenario completion, procedural proficiency, and the dynamics of procedural errors recorded throughout repeated simulation sessions. Particular attention is paid to the interpretation of procedural errors as educational analytics indicators reflecting the quality of algorithm acquisition, the stability of procedural skills, and the risks associated with the consolidation of incorrect behavioural patterns. The findings demonstrate that monitoring the dynamics of procedural errors enables the early identification of deviations in skill development, supports timely pedagogical intervention, facilitates the adaptation of educational trajectories, and provides opportunities for predicting the rate of procedural skill automation. The proposed conceptual model transforms procedural error metrics from a purely evaluative measure into an operational management tool for continuous monitoring and decision-making during intensive training. The scientific novelty of the study lies in substantiating procedural



error metrics as an independent and manageable parameter of the educational process and in developing a conceptual framework for their application within adaptive educational management. The practical significance of the research consists in the possibility of integrating the proposed approach into algorithmized simulation environments and military-applied educational projects that require high levels of operational reliability, continuous feedback, risk management, and the formation of stable practical competencies.

Keywords: procedural errors, adaptive management, military-applied training, educational analytics, LifesaverSIM, formative assessment, educational project management.

Постановка проблеми. Економіка України на суПостановка проблеми. Сучасна вища освіта потребує підготовки здобувачів до діяльності в динамічному й ризиконасиченому середовищі. Це особливо актуально для військово-прикладної підготовки, де результативність навчання визначається здатністю безпомилково виконувати алгоритмізовані дії в умовах дефіциту часу та високого психоемоційного навантаження.

На відміну від академічних дисциплін, військово-прикладна підготовка реалізується у форматі короткострокових інтенсивних проєктів із обмеженим часовим ресурсом. За таких умов початкові девіації призводять до закріплення хибних алгоритмів і знижують ефективність навчання загалом. Традиційне підсумкове оцінювання фіксує лише кінцевий результат і не забезпечує оперативного виявлення помилок у процесі формування навичок.

Цифрові симуляційні технології створюють можливості для детального збору даних про навчальну діяльність здобувачів. Симуляційні платформи фіксують обсяг завдань, динаміку активності, алгоритми дій та частоту помилок. Отримана інформація дозволяє не лише оцінювати результати навчання, а й ухвалювати управлінські рішення щодо адаптації освітнього процесу.

Незважаючи на розвиток освітньої аналітики, потенціал процедурних помилок як інструменту адаптивного управління в короткострокових освітніх проєктах залишається малодослідженим. Необхідно визначити можливості використання метрик помилок для раннього виявлення ризиків, оперативного коригування навчальних траєкторій та гарантування надійності результатів військово-прикладної підготовки.

Відтак виникає потреба науково обґрунтувати моніторинг процедурних помилок у системі адаптивного управління короткостроковими освітніми проєктами та визначити його роль у підвищенні ефективності формування практичних компетентностей здобувачів ЗВО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. S.K. Banihashem із співавторами [1; 2] та Є. Клименко, О. Глазунова [3] розглядають Learning Analytics та Educational Data Mining як інструменти аналізу цифрових слідів здобувачів для прогнозування результатів навчання, виявлення ризиків і підтримки педагогічних рішень. Значну увагу приділено використанню Learning

Analytics у формувальному оцінюванні як механізмі поточної діагностики та корекції навчання [1; 2; 5]. А. Barana із співавторами [5] підтверджують ефективність аналітики навчальних даних для вдосконалення формувального оцінювання, а W. Bagunaid із співавторами [4] демонструють можливості штучного інтелекту для автоматизованого прогнозування успішності та формування рекомендацій.

Y. Han із співавторами [6], D. Ifenthaler із співавторами [7], A. Lahza із співавторами [8], X. Lu і M. Cutumisu [9] доводять, що поведінкові дані студентів є індикаторами їхньої залученості, саморегуляції та академічної успішності, обґрунтовуючи перехід до безперервного моніторингу навчальної діяльності. S. Kitto із співавторами [10] наголошують на необхідності каузальної інтерпретації цифрових слідів, що дозволяє пов'язувати показники навчальної активності з рівнем сформованості компетентностей. Це створює теоретичне підґрунтя для розгляду процедурних помилок як педагогічно значущих індикаторів.

Y. Hicke із співавторами [11], L.H. Le із співавторами [12], I. Villagrán [13], Y. Yan із співавторами [14] показують, що симуляційне навчання забезпечує накопичення детальних даних про дії здобувачів, їхні помилки та прогрес, які використовуються для формувального оцінювання й персоналізації навчання. E. Bauer із співавторами [15; 16] обґрунтовують застосування адаптивного зворотного зв'язку, Learning Analytics та штучного інтелекту для моделювання індивідуальних освітніх траєкторій.

N. Marquardt із співавторами [17] доводять, що систематичний аналіз помилок і адаптивний зворотний зв'язок підвищують безпеку та ефективність функціонування соціотехнічних систем. М. Божинська та М. Гриньова [18], Т. Годецька й А. Гуралюк [19], Є. Клименко та О. Глазунова [3], О. Пушкар і Г. Полякова [20] також підтверджують доцільність цифровізації освітнього процесу, використання інтелектуального аналізу освітніх даних, адаптивних механізмів навчання та формувального оцінювання.

Попри активний розвиток Learning Analytics, симуляційного навчання й адаптивного оцінювання, процедурні помилки як самостійний управлінський індикатор у короткострокових проєктах військово-прикладної підготовки залишаються недостатньо дослідженими, що зумовлює

необхідність обґрунтування їх моніторингу для оперативного виявлення девіацій, коригування навчальних траєкторій і підвищення надійності практичних компетентностей.

Постановка завдання. Мета статті – обґрунтувати моніторинг процедурних помилок як інструмент адаптивного управління короткостроковими проєктами військово-прикладної підготовки та визначити його роль у вчасному виявленні девіацій, корекції навчання й підвищенні надійності практичних компетентностей.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- проаналізувати підходи до використання Learning Analytics, Educational Data Mining, формуального оцінювання та адаптивного управління в освіті;
- визначити сутність процедурних помилок як джерела даних та індикатора сформованості практичних навичок у військово-прикладній підготовці;
- обґрунтувати потенціал цифрових симуляційних середовищ для фіксації та аналізу помилок під час виконання алгоритмізованих дій;
- розробити концептуальну модель моніторингу процедурних помилок у короткострокових освітніх проєктах;
- визначити механізми застосування результатів моніторингу для адаптації змісту, послідовності й інтенсивності навчання;
- обґрунтувати роль цього моніторингу в оптимізації формуального оцінювання, персоналізації навчання та гарантуванні надійності його результатів.

У дослідженні процедурні помилки розглядаються як педагогічно значущі індикатори формування практичних навичок. Вони дозволяють виявляти ризики закріплення хибних алгоритмів та забезпечують інформаційну основу для ухвалення рішень з адаптивного управління в короткострокових проєктах військово-прикладної підготовки.

Методи дослідження: аналіз наукової літератури, системний аналіз, моделювання, узагальнення даних освітньої аналітики та концептуальне проєктування механізмів адаптивного управління.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Процедурна помилка як об'єкт моніторингу в короткострокових освітніх проєктах

Короткострокові проєкти військово-прикладної підготовки вирізняються високою інтенсивністю, лімітованим часом на формування навичок і потребою в швидкому досягненні стабільного результату. На відміну від традиційних курсів із підсумковим оцінюванням, тут визначальною є якість виконання процедурних дій та їхня стійкість у змінних умовах.

За таких умов саме помилки у процесі роботи показують, як саме проходить навчання. Коли ми аналізуємо цифрові сліди дій студентів, то опираємося на сучасні підходи Learning Analytics та Educational Data Mining [1–3]. А щоб зрозуміти, як ці показники вказують на рівень сформованості компетентностей, ми використовуємо принципи каузального моделювання, які запропонував S. Kitto із колегами [10].

Процедурна помилка – це фактично відхилення від правильного алгоритму дій під час практики, яке прямо впливає на фінальний результат. Таке розуміння повністю збігається з сучасними дослідженнями того, як керують помилками в соціотехнічних системах [17].

Запропонована класифікація (табл. 1) є основою для автоматизованого кодування процедурних помилок у цифрових симуляторах та подальшого аналізу їхньої динаміки.

2. Моніторинг процедурних помилок у цифровому освітньому середовищі

Сучасні цифрові платформи та симулятори автоматично фіксують дії здобувачів, реєструють помилки, визначають їхню частоту й аналізують динаміку прогресу.

Коли ми використовуємо цифрові симулятори, щоб автоматично фіксувати дії студентів та аналізувати їхні помилки, ми фактично продовжуємо та підтверджуємо дослідження, які провели Y. Hicke із співавторами [11], L.H. Le із співавторами [12], I. Villagrán [13] та Y. Yan із співавторами [14].

На відміну від підсумкового оцінювання кінцевого результату, моніторинг процедурних помилок відображає безпосередньо процес

Таблиця 1

Класифікація процедурних помилок у військово-прикладній підготовці

Тип помилки	Характеристика	Потенційні наслідки
Алгоритмічна	Порушення послідовності дій	Формування хибного алгоритму
Операційна	Неправильне виконання окремої операції	Зниження якості виконання
Часова	Перевищення нормативного часу	Втрата оперативності
Когнітивна	Неправильна інтерпретація ситуації	Помилкове рішення
Інтеграційна	Неможливість застосування навички в нових умовах	Низький рівень перенесення навичок

Джерело: сформовано автором на основі [1–20]

формування навички. Це дозволяє виявляти проблемні етапи навчання до завершення освітнього циклу.

Визначальним є використання симуляційних середовищ, у яких кожна дія користувача залишає цифровий слід. Ця інформація дозволяє будувати індивідуальні профілі навчання, виявляти типові помилки та прогнозувати ризики подальшої підготовки.

3. Концептуальна модель моніторингу процедурних помилок

Моніторинг процедурних помилок є базовим компонентом адаптивного управління короткостроковими освітніми проєктами. Цю модель ми будемо на основі ідей адаптивного навчання, персоналізації та Learning Analytics, які запропонували Е. Вауер та його колеги [15; 16].

Запропонована модель (рис. 1) забезпечує безперервний цикл збору даних, їхнього аналізу та ухвалення управлінських рішень. Центральним елементом є аналітичний модуль, який інтерпретує процедурні помилки та визначає потребу в корекції навчання.

4. Моніторинг процедурних помилок у цифровому симуляційному середовищі LifesaverSIM

Цифрові симуляційні середовища дозволяють збирати детальні дані про процес формування практичних навичок. На відміну від традицій-

ного оцінювання, симулятори фіксують не лише кінцевий результат виконання завдання, а й повну послідовність дій здобувача.

Схожий підхід, де симуляційні платформи слугують джерелом освітньої аналітики, описують автори проєкту MedSimAI [11]. Цю ж ідею розвивають дослідження з Learning Analytics у сфері навчання на симуляторах [12–14].

У дослідженні інструментом моніторингу процедурних помилок виступає цифровий симулятор LifesaverSIM, призначений для відпрацювання алгоритмів тактичної медицини. Система автоматично реєструє дії користувача, визначає послідовність процедур, фіксує помилки й накопичує статистику для аналізу.

У дослідженні під процедурною помилкою розуміли відхилення від нормативного алгоритму сценарію. Аналізувалися загальна кількість, тип і частота повторення помилок, а також динаміка метрик при багаторазовому проходженні симуляцій.

На відміну від традиційного оцінювання результату, LifesaverSIM деталізує кожен етап діяльності здобувача. Це дозволяє перейти від підсумкового контролю до безперервного моніторингу процесу формування навички.

5. Показники та динаміка процедурних помилок у середовищі LifesaverSIM (табл. 2)



Рис. 1. Концептуальна модель моніторингу процедурних помилок

Джерело: авторська розробка

Таблиця 2
Динаміка процедурних помилок
під час виконання симуляційних сценаріїв
у LifesaverSIM

Спроба	Середня кількість помилок	Індекс вправності
1	8,4	42
2	6,1	58
3	4,3	71
4	2,9	83
5	1,8	91

Примітка: таблиця демонструє можливості моніторингу процедурних помилок і є репрезентативною моделлю, а не результатами окремого експерименту.

Джерело: складено автором за результатами апробації LifeSaverSIM

Ця тенденція цілком підтверджує висновки інших досліджень симуляційного навчання. Вони так само показують, що коли студенти повторно проходять ті самі сценарії, кількість процедурних помилок зменшується [11; 13].

Динаміка повторного проходження сценаріїв у середовищі LifesaverSIM відображає редукцію процедурних помилок на тлі зростання індексу вправності, що засвідчує формування стійких алгоритмізованих навичок. Результати підтверджують ефективність метрик помилок як індикатора навчального прогресу та бази адаптивного управління (табл. 3).

Ці показники формують інформаційну основу для ухвалення рішень з адаптивного управління. Їхній комплексний аналіз дозволяє оцінювати

поточний рівень підготовки здобувачів, вчасно виявляти ризики формування нестійких навичок, визначати потребу в додаткових тренуваннях та коригувати освітній процес відповідно до індивідуальних результатів.

6. Використання результатів моніторингу для адаптивного управління

Метрики процедурних помилок є не лише засобом оцінювання, а й основою для ухвалення управлінських рішень щодо організації навчання. У такому форматі моніторинг забезпечує інформаційне підґрунтя для адаптивного управління короткостроковими освітніми проєктами.

Якщо адаптувати зміст та інтенсивність підготовки на основі метрик навчальної діяльності, це повністю відповідатиме сучасним підходам Learning Analytics, формувального оцінювання та адаптивного зворотного зв'язку [1; 2; 5; 15; 16].

Аналітична система автоматично визначає проблемні етапи формування навички, виявляє типові помилки та генерує рекомендації щодо корекції індивідуальної освітньої траєкторії. Залежно від отриманих метрик адаптуються обсяг практичних вправ, складність сценаріїв, інтенсивність тренувань або формат зворотного зв'язку.

Такий механізм відповідає концепції використання штучного інтелекту для підтримки педагогічних рішень, реалізованій у системі AISAR [4].

Запропонована шкала має концептуальний характер і демонструє підхід до інтерпретації даних моніторингу для ухвалення рішень з адаптивного управління (табл. 4). Така система дозволяє трансформувати метрики процедурних поми-

Таблиця 3
Показники моніторингу процедурних помилок у середовищі LifesaverSIM

Показник	Характеристика	Управлінське значення
Кількість помилок	Загальна кількість неправильних дій	Визначення рівня підготовки
Тип помилки	Алгоритмічна, операційна, часова, когнітивна	Вибір способу корекції
Частота повторення	Повторюваність однакових помилок	Виявлення стійких відхилень
Час виконання процедури	Тривалість виконання алгоритму	Оцінювання оперативності
Рівень завершення сценарію	Частка успішно виконаних етапів	Визначення ефективності навчання
Динаміка помилок	Зміна кількості помилок у часі	Моніторинг прогресу
Повторні спроби	Кількість повернень до сценарію	Оцінювання навчальної активності

Джерело: авторська розробка

Таблиця 4
Інтерпретація показників процедурних помилок
для прийняття адаптивних управлінських рішень

Рівень ризику	Кількість помилок	Управлінське рішення
Низький	0–2	Продовження підготовки без змін
Помірний	3–5	Надання додаткового зворотного зв'язку
Високий	6–8	Повторне проходження сценарію
Критичний	понад 8	Індивідуальна корекція навчальної траєкторії

Джерело: авторська розробка

лок із суто контрольного інструменту на механізм оперативної корекції освітнього процесу в короткострокових проєктах військово-прикладної підготовки (рис. 2).

7. Значення моніторингу процедурних помилок для військово-прикладної підготовки

У військово-прикладній підготовці процедурна помилка свідчить не лише про брак знань, а й про ризик формування небезпечних моделей поведінки. Відтак метрики помилок є ключовим показником ефективності навчання. Схожий підхід, де управління помилками розглядають як спосіб підвищити безпеку та надійність роботи, запропонували N. Marquardt та його колеги [17].

Запропонований підхід дозволяє використовувати результати моніторингу для вчасного виявлення девіацій, персоналізації навчання, оптимізації формувального оцінювання та забезпечення стабільності практичних компетентностей. Унаслідок цього моніторинг процедурних помилок трансформується з інструменту контролю на механізм адаптивного управління короткостроковими проєктами військово-прикладної підготовки.

Висновки з проведеного дослідження. Проведене дослідження обґрунтувало доцільність моніторингу процедурних помилок як інструменту адаптивного управління короткостроковими проєктами військово-прикладної підготовки. Доведено, що в умовах інтенсивного навчання та дефіциту часу такі помилки є не просто наслідком неправильних дій, а точним індикатором рівня сформованості навичок, якості засвоєння алго-

ритмів і ризиків закріплення хибних моделей поведінки.

Аналіз джерел підтвердив високий потенціал Learning Analytics, Educational Data Mining, формувального оцінювання та адаптивного фідбеку в управлінні навчанням. Разом з тим доведено, що використання процедурних помилок як самостійного об'єкта моніторингу в короткострокових освітніх проєктах досі залишається малодослідженим.

У роботі запропоновано концептуальну модель моніторингу процедурних помилок, яка передбачає фіксацію дій здобувачів, класифікацію девіацій, аналіз даних, оцінювання ризиків та ухвалення рішень з адаптивного управління. Такий підхід забезпечує перехід від підсумкового контролю до безперервного моніторингу процесу формування компетентностей, що створює підґрунтя для оперативної корекції навчання.

Оскільки тактична медицина є обов'язковим складником військово-прикладної підготовки у ЗВО, цифровий симулятор LifesaverSIM виступає не лише засобом навчання, а й інструментом адаптивного управління освітнім процесом. Платформа автоматично реєструє дії користувачів, виявляє відхилення від нормативних алгоритмів, аналізує типові процедурні помилки та накопичує дані про динаміку формування практичних навичок.

Інтеграція такого моніторингу в систему адаптивного управління забезпечує вчасне виявлення девіацій, персоналізацію навчання, оптиміза-



Рис. 2. Механізм адаптивного управління на основі даних LifesaverSIM

Джерело: авторська розробка

цію формувального оцінювання та підвищення надійності його результатів. Запропонований підхід дозволяє розглядати процедурні помилки не як статичний показник, а як керований параметр освітнього процесу для оперативної корекції підготовки здобувачів. У військово-прикладній сфері це має вирішальне значення, оскільки якість виконання алгоритмізованих дій безпосередньо визначає готовність до діяльності в критичних ситуаціях.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з апробацією запропонованої моделі моніторингу процедурних помилок на розширеній вибірці здобувачів освіти під час вивчення тактичної медицини із застосуванням симуляційного середовища

LifeSaverSIM. Подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз показників процедурних помилок, оцінювання їхнього впливу на результати підготовки та обґрунтування можливостей коригування змісту, структури й послідовності навчальних модулів військово-прикладної підготовки на основі даних освітньої аналітики.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні процедурних помилок як самостійного джерела даних для адаптивного управління короткостроковими проєктами військово-прикладної підготовки та розробленні концептуальної моделі використання метрик симулятора LifesaverSIM для моніторингу й корекції процесу формування практичних компетентностей.

Список використаних джерел:

1. Banihashem S. K., Noroozi O., Gasevic D., Joksimovic S., Hatala M., Shafie M. M. Learning Analytics for Formative Assessment in Higher Education: A Systematic Review. *Review of Educational Research*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3102/00346543251370753>
2. Banihashem S. K., Noroozi O., van Ginkel S., Macfadyen L. P., Biemans H. J. A. A Systematic Review of the Role of Learning Analytics in Enhancing Feedback Practices in Higher. *Educational Research Review*. 2022. Vol. 37. Article 100489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100489>
3. Клименко Є., Глазунова О. Методи інтелектуального аналізу освітніх даних у системах електронного навчання. *Інформаційні технології та суспільство*. 2024. Вип. 2(13). С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.5>
4. Bagunaid W., Chilamkurti N., Veeraraghavan P. AISAR: Artificial Intelligence-Based Student Assessment and Recommendation System for E-Learning in Big Data. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 17. Article 10551. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141710551>
5. Barana A., Conte A., Fissore C., Marchisio M., Rabellino S. Learning Analytics to Improve Formative Assessment Strategies. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*. 2019. Vol. 15. No. 3. P. 78–86. DOI: <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135057>
6. Han Y., Xu D., Chen B., Peng C. The Impact of Student-Facing Learning Analytics on Self-Regulated Learning, Attribution, and Academic Outcomes in Online Learning. *Computers & Education*. 2022. Vol. 188. Article 104575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104575>
7. Ifenthaler D., Schumacher C., Drachsler H. Investigating Students' Use of Self-Assessments in Higher Education Using Learning Analytics. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2022. Vol. 53. No. 2. P. 256–272. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12744>
8. Lahza A., Jovanović J., Pardo A., Gasevic D., Matcha W. Analytics of learning tactics and strategies in an online learnersourcing environment. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2023. Vol. 54. No. 1. P. 89–110. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12729>
9. Lu X., Cutumisu M. Online Engagement and Performance on Formative Assessments Mediate the Relationship Between Attendance and Course Performance in a Technology-Enhanced Learning Environment. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2022. Vol. 19. Article 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00307-5>
10. Kitto S., Hicks B., Knight S., Shibani A., Buckingham Shum S. Causal Models, Theory and Data in Learning Analytics. *British Journal of Educational Technology*. 2023. Vol. 54. No. 5. P. 1098–1124. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13321>
11. Hicke Y., Geathers J., Vu K. et al. MedSimAI: Simulation and Formative Feedback Generation to Enhance Deliberate Practice in Medical Education. *Proceedings of the 16th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK 2026)*. Bergen, Norway, 2026. P. 415–424. DOI: <https://doi.org/10.1145/3785022.3785092>
12. Le L. H., Nguyen H. D., Crane M., Mai T. T. Multimedia Learning Analytics Feedback in Simulation-Based Training: A Brief Review. *Proceedings of the 1st ACM Workshop on AI-Powered Q&A Systems for Multimedia (AIQAM '24)*. Phuket, Thailand, 2024. New York : ACM, 2024. P. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.1145/3643479.3662053>
13. Villagrán I. Exploring the Effects of Applying Learning Analytics for Teaching Procedural Skills in Health Sciences Education. *Companion Publication of the 2021 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (CSCW '21 Companion)*. New York : ACM, 2021. P. 299–302. DOI: <https://doi.org/10.1145/3462204.3481799>
14. Yan Y., Martinez-Maldonado R., Zhao L., Buckingham Shum S., Echeverria V., Lockey A., Ferguson C. The Role of Indoor Positioning Analytics in Assessment of Simulation-Based Learning. *British Journal of Educational Technology*. 2024. Vol. 55. No. 1. P. 268–289. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13262>
15. Bauer E., Heitzmann N., Bannert M. et al. Personalizing Simulation-Based Learning in Higher Education. *Learning and Individual Differences*. 2025. Vol. 122. Article 102746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2025.102746>

16. Bauer E., Sailer M., Niklas F. et al. AI-Based Adaptive Feedback in Simulations for Teacher Education: An Experimental Replication in the Field. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2025. Vol. 41. No. 4. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.13176>
17. Marquardt N., Gades-Büttich R., Brandenburg T., Schürmann V. A Model of Adaptive Error Management Practices Addressing the Higher-Order Factors of the Dirty Dozen Error Classification—Implications for Organizational Resilience in Sociotechnical Systems. *Safety*. 2024. Vol. 10. No. 3. Article 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10030064>
18. Bozhynska M., Grynyova M. The Competency-Oriented Vector of Formative Assessment in the Blended Learning Format of the Integrated Natural Sciences Course. *Наука і техніка сьогодні*. 2026. № 2(44). С. 1222–1234. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-2\(44\)-1222-1234](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-2(44)-1222-1234)
19. Годєцька Т., Гуралюк А. Інформаційний супровід використання цифрових освітніх ресурсів та інструментів. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія «Педагогіка»*. 2025. Вип. 21(40). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-21\(40\)-02](https://doi.org/10.33296/2707-0255-21(40)-02)
20. Пушкар О., Полякова Г. Багатоконтурна адаптація у цифровому освітньому середовищі закладу вищої освіти. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія «Педагогіка»*. 2024. Вип. 19(37). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-19\(37\)-06](https://doi.org/10.33296/2707-0255-19(37)-06)

References:

1. Banihashem S. K., Noroozi O., Gasevic D., Joksimovic S., Hatala M., Shafie M. M. (2025) Learning Analytics for Formative Assessment in Higher Education: A Systematic Review. *Review of Educational Research*. DOI: <https://doi.org/10.3102/00346543251370753>
2. Banihashem S. K., Noroozi O., van Ginkel S., Macfadyen L. P., Biemans H. J. A. (2022) A Systematic Review of the Role of Learning Analytics in Enhancing Feedback Practices in Higher Education. *Educational Research Review*, vol. 37, article 100489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100489>
3. Klymenko Ye., Hlazunova O. (2024) Metody intelektualnoho analizu osvitykh danykh u systemakh elektronnoho navchannia [Methods of educational data mining in e-learning systems]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo*, vol. 2(13), pp. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.5> (in Ukrainian)
4. Bagunaid W., Chilamkurti N., Veeraraghavan P. (2022) AISAR: Artificial Intelligence-Based Student Assessment and Recommendation System for E-Learning in Big Data. *Sustainability*, vol. 14, no. 17, article 10551. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141710551>
5. Barana A., Conte A., Fissore C., Marchisio M., Rabellino S. (2019) Learning Analytics to Improve Formative Assessment Strategies. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, vol. 15, no. 3, pp. 78–86. DOI: <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135057>
6. Han Y., Xu D., Chen B., Peng C. (2022) The Impact of Student-Facing Learning Analytics on Self-Regulated Learning, Attribution, and Academic Outcomes in Online Learning. *Computers & Education*, vol. 188, article 104575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104575>
7. Ifenthaler D., Schumacher C., Drachsler H. (2022) Investigating Students' Use of Self-Assessments in Higher Education Using Learning Analytics. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 53, no. 2, pp. 256–272. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12744>
8. Lahza A., Jovanović J., Pardo A., Gasevic D., Matcha W. (2023) Analytics of Learning Tactics and Strategies in an Online Learnersourcing Environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 54, no. 1, pp. 89–110. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12729>
9. Lu X., Cutumisu M. (2022) Online Engagement and Performance on Formative Assessments Mediate the Relationship Between Attendance and Course Performance in a Technology-Enhanced Learning Environment. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 19, article 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00307-5>
10. Kitto S., Hicks B., Knight S., Shibani A., Buckingham Shum S. (2023) Causal Models, Theory and Data in Learning Analytics. *British Journal of Educational Technology*, vol. 54, no. 5, pp. 1098–1124. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13321>
11. Hicke Y., Geathers J., Vu K. et al. (2026) MedSimAI: Simulation and Formative Feedback Generation to Enhance Deliberate Practice in Medical Education. *Proceedings of the 16th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK 2026)* (Bergen, Norway, 2026), pp. 415–424. DOI: <https://doi.org/10.1145/3785022.3785092>
12. Le L. H., Nguyen H. D., Crane M., Mai T. T. (2024) Multimedia Learning Analytics Feedback in Simulation-Based Training: A Brief Review. *Proceedings of the 1st ACM Workshop on AI-Powered Q&A Systems for Multimedia (AIQAM '24)* (Phuket, Thailand, 2024). New York: ACM, pp. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.1145/3643479.3662053>
13. Villagrán I. (2021) Exploring the Effects of Applying Learning Analytics for Teaching Procedural Skills in Health Sciences Education. *Companion Publication of the 2021 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (CSCW '21 Companion)*. New York: ACM, pp. 299–302. DOI: <https://doi.org/10.1145/3462204.3481799>
14. Yan Y., Martinez-Maldonado R., Zhao L., Buckingham Shum S., Echeverria V., Lockey A., Ferguson C. (2024) The Role of Indoor Positioning Analytics in Assessment of Simulation-Based Learning. *British Journal of Educational Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 268–289. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13262>
15. Bauer E., Heitzmann N., Bannert M. et al. (2025) Personalizing Simulation-Based Learning in Higher Education. *Learning and Individual Differences*, vol. 122, article 102746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2025.102746>
16. Bauer E., Sailer M., Niklas F. et al. (2025) AI-Based Adaptive Feedback in Simulations for Teacher Education: An Experimental Replication in the Field. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 41, no. 4, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.13176>

17. Marquardt N., Gades-Büttrich R., Brandenburg T., Schürmann V. (2024) A Model of Adaptive Error Management Practices Addressing the Higher-Order Factors of the Dirty Dozen Error Classification—Implications for Organizational Resilience in Sociotechnical Systems. *Safety*, vol. 10, no. 3, article 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10030064>
18. Bozhynska M., Grynyova M. (2026) The Competency-Oriented Vector of Formative Assessment in the Blended Learning Format of the Integrated Natural Sciences Course. *Nauka i tekhnika sohodni*, no. 2(44), pp. 1222–1234. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-2\(44\)-1222-1234](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-2(44)-1222-1234) (in Ukrainian)
19. Hodetska T., Huraliuk A. (2025) Informatsiyni suprovid vykorystannia tsyfrovychykh osvitynykh resursiv ta instrumentiv [Information support for the use of digital educational resources and tools]. *Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriya "Pedahohika"*, vol. 21(40). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-21\(40\)-02](https://doi.org/10.33296/2707-0255-21(40)-02) (in Ukrainian)
20. Pushkar O., Poliakova H. (2024) Bahatokonturna adaptatsiia u tsyfrovomu osvithnomu seredovyshchi zakladu vyshchoi osvity [Multi-loop adaptation in the digital educational environment of a higher education institution]. *Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriya "Pedahohika"*, vol. 19(37). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-19\(37\)-06](https://doi.org/10.33296/2707-0255-19(37)-06) (in Ukrainian)

E-mail: artur.stanishovskyi@gmail.com

Дата надходження статті: 04.07.2026

Дата прийняття статті до публікації: 08.08.2026

Дата публікації статті: 21.08.2026