



ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ

УДК 37.091.3:004.8

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.20136408>

Ефективність адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах

Коршевніук Тетяна Валеріївна,

кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу біологічної, хімічної та фізичної освіти,

Інститут педагогіки НАПН України,

м. Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-0430-5808>

Берестовой Іван Олегович,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки і системи», Дунайський інститут Національного університету

«Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна,

<https://orcid.org/0000-0002-3843-570X>

Прийнято: 11.04.2026 | Опубліковано: 30.04.2026

Анотація. Метою статті є узагальнення механізмів функціонування адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах, визначення їхнього впливу на результати навчання та виявлення основних обмежень педагогічного застосування. Методи. Методологічну основу становили аналіз, порівняння, узагальнення та систематизація сучасних наукових публікацій, присвячених адаптивному навчанню, інтелектуальним навчальним системам, персоналізованому освітньому середовищу та використанню штучного інтелекту у STEM-освіті. Для



інтерпретації результатів застосовано аналітичний підхід, який дав змогу порівняти різні наукові позиції, виокремити повторювані закономірності та визначити умови, за яких адаптивні системи демонструють найвищу результативність. **Результати.** В аналізі показано, що результативність адаптивних систем визначається не суто використанням штучного інтелекту, а точністю поєднання його діагностичних, коригувальних і пояснювальних функцій у межах єдиного освітнього середовища. Найбільш значущими механізмами дії адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту визначено діагностику прогалин у знаннях здобувачів освіти, адаптацію послідовності та складності завдань до індивідуальних можливостей і потреб, надання персоналізованого зворотного зв'язку та формування аналітичних даних для викладача. Найвиразніший ефект простежено у тих STEM-дисциплінах, де навчальний матеріал має чітку логічну послідовність і високий рівень залежності між темами, насамперед у математиці, програмуванні та суміжних напрямках. Узагальнення результатів засвідчило, що адаптивні навчальні системи на основі штучного інтелекту передусім підвищують точність виконання завдань, якість засвоєння базових понять, сприяють послідовнішому просуванню в навчанні та дають змогу своєчасно коригувати типові помилки. Водночас виявлено, що вплив на мотиваційні показники та загальну залученість є менш вираженим, ніж вплив на опанування навчального матеріалу та формування практичних навичок. **Висновки.** Адаптивні навчальні системи на основі штучного інтелекту доцільно розглядати як дієвий інструмент підвищення ефективності STEM-навчання за умови їхнього методично виваженого й педагогічно контрольованого впровадження. Практична цінність таких систем полягає у поєднанні персоналізації, своєчасного коригування навчальної траєкторії та наданні викладачеві аналітичних інструментів для педагогічного супроводу навчання. Перспективи подальших досліджень



пов'язані із поглибленим вивченням довготривалого впливу адаптивних систем у різних STEM-дисциплінах, порівнянням їхньої результативності на різних рівнях освіти та аналізом етичних і організаційних умов їхнього використання.

Ключові слова: персоналізоване навчання, інтелектуальні навчальні системи, навчальна аналітика, індивідуальна освітня траєкторія, математична освіта, програмування, цифрова педагогіка.

The effectiveness of adaptive learning systems based on artificial intelligence in STEM disciplines

Tetiana Korshevniuk,

PhD in Pedagogical Sciences, Senior Research Fellow, Leading Researcher at the
Department of Biological, Chemical and Physical Education,
Institute of Pedagogy of the NAES of Ukraine,
Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-0430-5808>

Ivan Berestovoi,

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the
Department «Ship Power Plants and Systems», Danube Institute of National
University «Odessa Maritime Academy», Izmail, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0002-3843-570X>

Abstract. *The purpose of the article is to generalize the mechanisms underlying the functioning of artificial intelligence-based adaptive learning systems in STEM disciplines, to determine their impact on learning outcomes, and to identify the main limitations of their pedagogical application. Methods.* *The methodological basis of the study included the analysis, comparison, generalization, and*



systematization of contemporary scholarly publications on adaptive learning, intelligent tutoring systems, personalized educational environments, and the use of artificial intelligence in STEM education. An analytical approach was applied to interpret the results, enabling comparisons of different scholarly positions, identification of recurring patterns, and determination of the conditions under which adaptive systems demonstrate the highest effectiveness. **Results.** The analysis showed that the effectiveness of adaptive systems is determined not by the mere use of artificial intelligence, but by the precision with which diagnostic, corrective, and explanatory functions are integrated within a unified learning environment. The most significant mechanisms of action of adaptive learning systems based on artificial intelligence are diagnosing knowledge gaps among education seekers, adapting the sequence and complexity of tasks to individual capabilities and needs, providing personalized feedback, and generating analytical data for teachers. The most pronounced effect was observed in STEM disciplines characterized by a clear logical sequence and a high degree of interdependence among topics, primarily in mathematics, programming, and related fields. The generalization of the results demonstrated that artificial intelligence-based adaptive learning systems primarily improve the accuracy of task performance, enhance the quality of mastering basic concepts, promote more consistent learning progress, and enable timely correction of typical errors. At the same time, it was found that their impact on motivational indicators and overall engagement is less pronounced than on mastery of learning material and the development of practical skills. **Conclusions.** Artificial intelligence-based adaptive learning systems should be regarded as an effective tool for enhancing STEM education, provided that their implementation is methodologically sound and pedagogically controlled. The practical value of such systems lies in combining personalization, timely adjustment of the learning trajectory, and the provision of analytical tools that support teachers in the pedagogical guidance of learning. Prospects for further research include a more in-



depth study of the long-term impact of adaptive systems across different STEM disciplines, comparisons of their effectiveness at different levels of education, and analyses of the ethical and organizational conditions of their use.

Keywords: *personalized learning, intelligent educational systems, educational analytics, individual educational trajectory, mathematics education, programming, digital pedagogy.*

Постановка проблеми. Цифрова трансформація освіти суттєво змінила підходи до організації освітнього процесу, зокрема у галузі STEM-дисциплін, де якість підготовки значною мірою залежить від послідовності засвоєння змісту, точності виконання навчальних дій і своєчасного подолання прогалин у знаннях. За цих умов особливого значення набувають адаптивні навчальні системи на основі штучного інтелекту, здатні змінювати складність, темп, логіку подання матеріалу та характер зворотного зв'язку відповідно до індивідуальних особливостей здобувача освіти. Такі системи дедалі активніше інтегруються в освітнє середовище, однак сам факт їхнього технологічного впровадження ще не дає підстав автоматично ототожнювати цифрову інновацію з реальною педагогічною ефективністю. Проблема полягає у тому, що у сучасній освітній практиці адаптивні системи часто розглядаються переважно як перспективне технологічне рішення, тоді як їхній реальний вплив на результати навчання у STEM-дисциплінах потребує чіткішого наукового осмислення. Зокрема, не з'ясовано, які саме механізми адаптації забезпечують підвищення результативності навчання, за яких педагогічних умов цей ефект виявляється найвиразніше та які обмеження супроводжують використання таких систем у роботі зі складним, логічно структурованим навчальним матеріалом.

У цьому аспекті неоднорідність підходів до застосування адаптивних навчальних систем, відмінності у моделях персоналізації, різний рівень



цифрової готовності викладачів і здобувачів освіти, нерівномірність емпірично підтверджених результатів у різних STEM-напрямах ускладнюють формування цілісного уявлення про їхню освітню цінність. Унаслідок цього виникає суперечність між активним упровадженням адаптивних рішень в освітній процес і недостатньою визначеністю щодо того, які саме освітні ефекти є стійкими, педагогічно значущими та відтворюваними у різних навчальних контекстах. Особливо гостро ця проблема виявляється у STEM-дисциплінах, де несвоєчасне виявлення помилок, формальне засвоєння базових понять або відсутність індивідуалізованої підтримки швидко призводять до накопичення системних труднощів у подальшому навчанні. З огляду на це аналіз ефективності адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту виходить за межі суто технологічної тематики й набуває виразного дидактичного значення. Тож, актуальним є не лише питання впливу таких систем на навчальні результати, а і їхнього забезпечення необхідними механізмами для з'ясування шляхів трансформації показників навчання та визначення меж їхньої результативності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх п'яти років проблема цифрової трансформації освіти розглядалася у кількох суміжних напрямках. Так, на кейс-чемпіонатах як практико орієнтованому засобі навчання в ІТ-освіті акцентують Г. Заволодько (G. Zavalodko), О. Харченко (O. Kharchenko) та З. Тяхунова (Z. Tiahunova), підкреслюючи значення діяльнісних форматів для розвитку професійних умінь [1]. Використання генеративного штучного інтелекту для формування персоналізованих стратегій у закладах професійної освіти розглядає С. Нерсісян (S. Nersisian) [2]. Водночас на проектуванні цифрового середовища вищої освіти для якісної підготовки фахівців зосереджуються С. Човрій із колегами (S. Chovriy et al.) [3], тоді як вплив цифрових технологій на якість вищої освіти загалом показують С. Човрій зі співавторами



(S. Chovriy et al.), обґрунтовуючи розуміння особливостей цифрового освітнього середовища [4]. На цьому тлі значення дистанційних технологій для стійкості української вищої освіти доводять Г. Антоненко, Д. Терменжи та Г. Різак [5], а на управлінській адаптації закладів вищої освіти до викликів штучного інтелекту та автоматизації оцінювання зосереджуються О. Скоробагатська, Л. Сидорук та Г. Різак [6]. Отже, у наведених працях переконливо обґрунтовано важливість цифрових рішень, інституційної гнучкості та персоналізації для підвищення ефективності освітнього процесу. У ширшому науковому контексті продуктивність порівняльно-аналітичного підходу в осмисленні інституційних стратегій досліджує Ю. Пінчук (Y. Pinchuk), застосовуючи порівняльний аналіз до вивчення професійних траєкторій у культурному середовищі [7].

Питання персоналізації в адаптивній освіті, яка ґрунтується на поєднанні машинного навчання, навчання з підкріпленням і багатоканальної аналітики, у систематичному огляді показують Харіянто (Hariyanto), Ф. К. Д. Крістіанінгсіх (F. X. D. Kristianingsih) та Р. Махарані (R. Maharani), наголошуючи на проблемах інтерпретованості моделей, конфіденційності даних і масштабованості [8]. Зокрема, узагальнивши 25 публікацій у період 2019–2024 рр., перехід від ранніх правил орієнтованих систем до рішень, що інтегрують машинне навчання, оброблення природної мови, інтелектуальні навчальні системи та великі мовні моделі, розглядають А. Фортуна із колегами (A. Fortuna et al.), підкреслюючи значущість етичних норм і підготовки викладачів до ефективного використання розумних алгоритмів у STEM-освіті [9]. Крім того, основні форми використання штучного інтелекту в освітньому середовищі, виокремивши адаптивне навчання, інтелектуальне наставництво та навчальну аналітику, що є важливим для систематизації наявних рішень, класифікують Дж. Гарзон (J. Garzón), Е. Патіно (E. Patiño) та К. Маруланда (C. Marulanda) [10]. Насамкінець систематично розглядаючи інтелектуальні

навчальні системи, на поєднанні персоналізації, аналізу навчальних даних і підтримки індивідуальної траєкторії наголошують Ч.-Ч. Лін (C.-C. Lin), А. Й. К. Хуан (A. Y. Q. Huang) та О. Г. Т. Лу (O. H. T. Lu), зазначаючи необхідність їхнього подальшого вивчення у реальних освітніх контекстах [11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри активне упровадження цифрових технологій у вищу та шкільну освіту, питання ефективності адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах залишається нерозкритим. В останніх публікаціях переважають або загальне оцінювання цифровізації освітнього середовища, або аналіз окремих технологічних інструментів без чіткого розмежування між звичайними цифровими платформами та власне адаптивними системами, здатними змінювати освітню траєкторію відповідно до індивідуальних результатів здобувача. Недостатньо визначено, які саме механізми адаптації забезпечують позитивний освітній ефект у STEM-дисциплінах, у чому полягає специфіка їхнього впливу на засвоєння структурованого навчального матеріалу та за яких умов цей вплив є найбільш вираженим. Окремого уточнення потребує і питання меж ефективності таких систем, оскільки у наявних дослідженнях не завжди розмежовано їхній вплив на знання, практичні навички, навчальну залученість і педагогічну підтримку.

Формулювання цілей статті (визначення завдання). Метою статті є визначення механізмів функціонування адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах, з'ясування їхнього впливу на результати навчання здобувачів середньої і вищої освіти та окреслення основних обмежень їхнього педагогічного застосування.

Для досягнення мети дослідження передбачено виконання таких завдань: 1) схарактеризувати основні механізми роботи адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту; 2) визначити особливості



їхнього впливу на навчання у STEM-дисциплінах та узагальнити освітні ефекти, які проявляються під час використання таких систем; 3) окреслити чинники, що посилюють або знижують їхню результативність та визначити основні обмеження їхнього педагогічного використання у сучасному освітньому середовищі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективність адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах обґрунтовується їхньою здатністю безперервно співвідносити кожен навчальний дію із поточним станом засвоєння матеріалу. Найвищу результативність в освітньому процесі демонструють ті системи, які поєднують діагностику рівня знань, коригування послідовності навчальних етапів, персоналізований зворотний зв'язок і накопичення аналітичних даних для подальшого педагогічного втручання. Саме ця комбінація відрізняє адаптивну систему від звичайної електронної платформи із фіксованим набором завдань. Так, адаптивні системи демонструють помірно виражений позитивний вплив на когнітивні результати навчання порівняно із неадаптивними освітніми втручаннями. Водночас сила цього ефекту змінюється залежно від навчальної дисципліни, тривалості використання системи, рівня освіти та особливостей дослідницького дизайну. У STEM-середовищі цей механізм виявляється особливо виразно, оскільки навчальний матеріал має високу внутрішню залежність між темами. Помилка в алгебраїчному перетворенні, нерозуміння базового фізичного принципу або неповне опанування алгоритмічної логіки швидко переходять із локального утруднення у системний дефіцит знань. Проте саме адаптивна система перериває цей ланцюг завдяки ранньому виявленню слабкої ланки та негайній зміні освітньої траєкторії [12–14].

Відповідно, педагогічна результативність адаптивних систем у STEM значною мірою залежить від того, наскільки точно цифровий інструмент



узгоджується зі структурою конкретної дисципліни. У навчанні математики найефективнішими є платформи ALEKS і MATHia. Система ALEKS будує індивідуальну траєкторію навчання на основі діагностики поточного рівня знань і визначає, до яких тем здобувач освіти вже готовий, а які потребують попереднього доопрацювання. Платформа MATHia орієнтована на покроковий супровід розв'язання. Система надає контекстні підказки у момент помилки та адаптується на рівні окремих умінь, а не лише підсумкового результату. Тож у математичній освіті особливу значущість мають не лише цифрові вправи, а й інструменти, здатні фіксувати логіку розв'язання, розрізняти типи помилок і пропонувати проміжні кроки для відновлення пропущеної ланки. У програмуванні акцентовано на інструментах, які не лише перевіряють правильність кінцевого результату, а й підтримують процес побудови рішення. У цьому контексті показовим є використання GitHub Copilot як інструменту пояснення фрагментів коду, генерації прикладів, уточнення синтаксичних конструкцій і перевірки окремих рішень у процесі навчання. Його педагогічна цінність виявляється не в автоматичному створенні відповіді, а в можливості швидко отримати пояснення, побачити альтернативний спосіб реалізації й локалізувати логічний або синтаксичний збій.

У природничих STEM-дисциплінах, зокрема у фізиці, хімії та біології, продуктивними є платформи, що поєднують адаптивну підтримку із візуалізацією та моделюванням. Для хімії прикладом є Mastering Chemistry, де поєднуються діагностичні інструменти, персоналізовані плани відпрацювання прогалин і ШІ-керована практика, що перетворює помилки на навчальні підказки. Для лабораторно орієнтованих курсів доцільно інтегрувати Labster, який дає змогу працювати із віртуальними експериментами, інтерактивними симуляціями, вбудованими тестовими завданнями та теоретичними поясненнями. Зокрема, у шкільному сегменті природничо-математичної



підготовки ефективною є платформа CENTURY, яка використовує рекомендації штучного інтелекту для персоналізації освітніх маршрутів у математиці й природничих науках. Отже, ефективність адаптивного навчання в STEM визначається не загальною наявністю штучного інтелекту, а відповідністю конкретного інструментарію логіці певної дисципліни та типу навчальної діяльності.

У цьому процесі одним із провідних механізмів педагогічної результативності адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту є своєчасна діагностика прогалин у знаннях. Адаптивна система не обмежується фіксацією правильної чи неправильної відповіді, а перетворює кожную навчальну дію на індикатор стану засвоєння теми: ураховує тип помилки, час виконання, послідовність кроків, стабільність успішності та характер повторного звернення до підказок [12; 13]. У навчанні математики це дає змогу відокремлювати технічну помилку від концептуальної, у програмуванні – відрізнити синтаксичну проблему від логічної, у фізиці – виявляти, чи труднощі пов'язані із формулою, інтерпретацією умови чи причинно-наслідковим зв'язком між явищами [15; 16]. Завдяки цьому система спрямовує здобувача не до механічного повторення всього блоку, а до конкретного вузлового елемента, який блокує подальше просування [13; 16]. Педагогічна цінність такого підходу полягає у тому, що корекція здійснюється не постфактум, а в момент виникнення навчального утруднення. Це особливо важливо у STEM-дисциплінах, де помилки у засвоєнні базових понять зумовлюють некоректне опанування наступних тем. Практична реалізація такого підходу добре простежується у сучасних адаптивних платформах. Так, ALEKS визначає, які саме теми вже засвоєні, а які наразі залишаються недоступними без опанування попередніх змістових елементів. Система MATHia фіксує послідовність дій під час розв'язання математичної задачі й надає адресні підказки саме у тій точці, де виникає помилка. У курсах хімії



аналогічну функцію частково виконують інструменти Mastering Chemistry, де діагностичний модуль виявляє слабкі місця й формує персоналізовану траєкторію доопрацювання. Таким чином, показано, що діагностика в адаптивному навчанні є не абстрактною властивістю цифрової системи, а конкретним механізмом виявлення базових труднощів в освітньому процесі.

Другий механізм – динамічне коригування навчальної траєкторії. У STEM-дисциплінах найкращий результат дає не жорстка лінійна послідовність завдань, а адаптивне керування переходом від базового до складного рівня. Якщо система фіксує стійке засвоєння фундаментального блоку, вона ускладнює завдання, зменшує обсяг підказок або пропонує задачі комбінованого типу. Якщо виявляє нестійкість, вона повертає здобувача до проміжної ланки, змінює тип пояснення або розбиває складне завдання на менші операції. Така модель запобігає двом проблемам: передчасному ускладненню матеріалу і надмірному затримуванню на вже засвоєному рівні. Для STEM це має принципове значення, оскільки правильний вибір наступного кроку часто визначає успішність засвоєння всього тематичного блоку [14; 16].

Третій механізм – персоналізований зворотний зв'язок. Його ефективність залежить не від факту повідомлення про помилку, а від змісту пояснення і своєчасністю його надання відповідно до індивідуальних потреб здобувача освіти. У продуктивній моделі система не лише сигналізує про хибну відповідь, а й уточнює, який саме крок порушено, нагадує відповідне правило, подає проміжний приклад або пропонує споріднене завдання нижчого рівня складності. У STEM-дисциплінах це має особливу значущість, оскільки предметне мислення формується не через запам'ятовування правильних відповідей, а через послідовне виправлення неправильних розумових операцій [15; 16]. У прикладному вимірі персоналізований зворотний зв'язок реалізується по-різному залежно від дисципліни. У системі



МАНіа він подається у формі контекстних підказок і покрокового супроводу математичних дій, а у GitHub Copilot зворотний зв'язок може набувати форми пояснення коду, уточнення призначення окремих фрагментів, демонстрації альтернативного способу реалізації та виявлення помилкової логіки. Зокрема, на платформі Labster підтримка вибудовується через симуляційне середовище, де здобувач освіти отримує не лише інструкцію до дії, а й візуально змодельований наслідок правильного або помилкового вибору. Така конкретизація дає змогу розглядати персоналізований зворотний зв'язок не як універсальну цифрову функцію, а як дисциплінарно специфічний інструмент педагогічного супроводу.

Четвертим механізмом дії адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту є аналітична підтримка викладача. Такі системи накопичують і впорядковують дані, які у традиційному освітньому процесі нерідко залишаються розрізненими. На основі цих даних можна визначити, хто систематично помиляється у певному типі завдань, на якому етапі знижується успішність, які теми є найпроблемнішими та як змінюється динаміка результатів після повторного пояснення [12; 13]. У результаті викладач отримує не загальне враження про сильну чи слабку групу, а детальну карту труднощів. Така карта забезпечує перехід від однакового повторення матеріалу для всіх до адресного коригування занять, групування здобувачів за типом їхньої помилки, зміни практичних вправ та уточнення логіки викладу.

Однак такий ефект можливий лише за умови, що викладач здатний інтерпретувати отримані дані та інтегрувати їх у методичні рішення. Інакше аналітика виконує лише технічну функцію і не перетворюється на дієвий педагогічний інструмент [13]. У практичному вимірі це означає, що адаптивна система не замінює викладача, а змінює характер його участі в освітньому процесі. Акцент переноситься із суто контролюючої функції на аналітико-



коригувальну діяльність, у межах якої викладач отримує підстави для оперативного перегрупування завдань, зміни темпу подання матеріалу, уточнення пояснення та індивідуалізації підтримки. За такого підходу цифрова аналітика набуває методичного значення, оскільки вона перетворюється на основу для педагогічного рішення, а не лишається сукупністю статистичних показників.

Крім того, найстійкіший позитивний ефект адаптивні системи демонструють у тих STEM-напрямах, які характеризуються високим рівнем структурованості навчального змісту. Це найвиразніше простежується у процесі опанування математики та програмування, де система може достатньо точно відстежувати логіку просування через послідовність операцій і швидко локалізувати місце збою. Одночасно ефективність адаптивних систем не є однаковою ні між рівнями освіти, ні між різними типами технологічної реалізації. У шкільній STEM-освіті найвищі ефекти спостерігаються у середній і старшій школі. За даними метааналізу С. Лі зі співавторами (S. Li et al.), для старшої школи узагальнений ефект становив $g = 0,534$, тоді як для дошкільного рівня – лише $g = 0,118$ [14]. Це показує, що адаптивні системи краще працюють там, де здобувач освіти вже має базовий рівень саморегуляції, може утримувати навчальну мету й взаємодіяти зі складнішою логікою цифрового середовища. Значущим виявляється і тип технології: у шкільному STEM найбільший ефект у метааналізі продемонстрували рішення на основі доповненої та віртуальної реальності, тоді як інтелектуальні навчальні системи та персоналізовані навчальні ігри виявили дещо слабший вплив. Такі дані не демонструють універсальну перевагу однієї технології над іншою. Натомість вони засвідчують, що результативність залежить від здатності конкретного інструменту робити абстрактний навчальний зміст наочнішим і доступнішим для здобувача освіти. У цьому зв'язку доцільно розмежовувати не лише тип технології, а й характер її навчального



інструментарію. Для навчання математики найефективнішими є засоби покрокового розв'язування, адаптивні підказки та автоматизоване виявлення типових помилок у проміжних обчисленнях. Для опанування програмування результативнішими є механізми перевірки коду, розпізнавання типових логічних збоїв, варіативне подання аналогічних задач і повторне тренування окремих конструкцій. Для занять із фізики, хімії та інженерних дисциплін значущими є інтерактивні симуляції, візуалізація процесів і контекстні пояснення, які перетворюють абстрактну модель на наочно сприйману форму. З огляду на це ефективність адаптивного навчання визначається не актуальністю цифрового рішення, а його відповідністю логіці конкретного навчального змісту.

У цьому контексті важливо враховувати, що позитивний ефект адаптивних систем виявляється не лише у предметних результатах, а й у змінах, пов'язаних із залученістю до навчання. Водночас ці зміни є менш вираженими, ніж покращення у сфері засвоєння навчального матеріалу. Зокрема, у метааналізі С. Лі із колегами (S. Li et al.) узагальнений ефект для залученості становив $g = 0,386$, тоді як для сприйняття – $g = 0,264$ [14]. Такі показники дають змогу уточнити надмірно оптимістичне уявлення про штучний інтелект як універсальний засіб підвищення мотивації. Адаптивна система справді може зменшувати фрустрацію, створювати відчуття індивідуалізованої підтримки та краще узгоджувати рівень складності завдань із можливостями здобувача освіти. Проте як окрема ланка вона не забезпечує формування внутрішньої навчальної мотивації. Її вплив на залученість є відчутнішим лише тоді, коли адаптація поєднується зі зрозуміло сформульованими навчальними цілями, відчуттям послідовного поступу та педагогічно виваженим дизайном завдань (табл. 1).

Таблиця 1

Механізми забезпечення результативності адаптивних навчальних систем на основі штучного інтелекту у STEM-дисциплінах

Механізм	Як працює в освітньому процесі	Найвиразніший ефект	Основне обмеження
Діагностика прогалин у знаннях	Аналізує типи помилок, послідовність дій, час виконання, звернення до підказок	Раннє виявлення базових труднощів у математиці, фізиці, програмуванні	Похибка моделі може спрощувати реальну структуру знань
Адаптація освітньої траєкторії	Змінює складність, порядок завдань, інтенсивність підтримки	Забезпечує поступове просування без перевантаження або застою	Потребує якісної моделі учня та педагогічно валідного контенту
Персоналізований зворотний зв'язок	Пояснює помилку, пропонує проміжні кроки, вправи та повторення	Підвищує точність дій і стійкість засвоєння базових понять	Шаблонний зворотний зв'язок швидко втрачає навчальну цінність
Аналітична підтримка викладача	Виявляє проблемні теми, типові збої, динаміку групи й окремих здобувачів	Дає підстави для адресного коригування викладання	Ефект залежить від цифрової компетентності викладача
Підтримка залученості	Узгоджує рівень складності з можливостями учня, створює відчуття керованого поступу	Зменшує фрустрацію і полегшує роботу зі складними темами	Не замінює внутрішню мотивацію
Масштабована персоналізація	Забезпечує індивідуалізацію у великих групах на основі потокових даних	Посилює диференціацію без пропорційного зростання навантаження викладача	Породжує етичні й інфраструктурні ризики

Джерело: узагальнено на основі [11–16]

Наведена систематизація показує, що адаптивне навчання у STEM не може зводитися до автоматичного ускладнення або спрощення завдань. Йдеться про багаторівневе педагогічне налаштування освітнього середовища, у якому змінюються не лише рівень складності, а й темп просування, тип



пояснення, формат вправ і характер підтримки. Така багатокомпонентність забезпечує перехід від формальної цифровізації до реального підвищення якості навчання. Ефективність адаптивних навчальних систем значною мірою визначається тим, як саме вони змінюють компоненти освітнього процесу залежно від результатів здобувача освіти [17]. Значущими модераторами є не лише підсумкові оцінки, а й когнітивні, поведінкові та частково емоційні показники навчання. Якщо система орієнтується лише на кінцевий бал, вона працює грубіше, ніж система, яка враховує динаміку виконання, характер помилок, послідовність просування та взаємодію з освітнім середовищем. Для STEM це особливо важливо, адже успішність формується не в одній точці підсумкового контролю, а в ланцюгу дрібних операцій, кожна з яких може бути правильною або хибною. У цьому контексті адаптивність у STEM наближається до безперервного керування навчанням, а не до періодичного контролю результату. Тож, принципово важливо, щоб об'єктом адаптації був не лише підсумковий результат, а весь процес засвоєння матеріалу. Чим точніше система реагує на проміжні дії здобувача освіти, тим вищою є ймовірність своєчасного виявлення навчального збою [18]. У STEM-середовищі це має особливе значення, оскільки саме поетапність засвоєння визначає міцність подальшого навчального поступу.

Поряд із позитивним ефектом адаптивних навчальних систем чітко окреслюються й межі їхньої ефективності. По-перше, формування персоналізованих освітніх траєкторій залежить від якості вимірювання навчальних змінних: якщо система неточно інтерпретує рівень підготовки та наявні навчальні труднощі здобувача освіти, вона помиляється у визначенні подальших навчальних дій. По-друге, масштабованість систем створює технічний виклик обробленню великих масивів різнорідних даних у реальному часі. По-третє, навіть технічно досконала система не забезпечує високого результату за слабкої методичної інтеграції в курс і недостатньої



готовності викладача до роботи з аналітичними даними. По-четверте, використання адаптивних систем актуалізує питання прозорості алгоритмів, захисту даних та збереження вирішальної ролі викладача у педагогічному рішенні. До цього варто додати ще одну суттєву межу ефективності, пов'язану із неоднаковою готовністю різних освітніх середовищ до упровадження адаптивних технологій. За відсутності якісного цифрового контенту, стабільної інфраструктури та методично підготовленого педагогічного супроводу навіть перспективна система не демонструє очікуваного результату. Отже, ефективність адаптивного навчання визначається не лише алгоритмічною досконалістю платформи, а й повнотою її інтеграції у реальний освітній процес.

Висновки. У процесі дослідження підтверджено, що адаптивні навчальні системи на основі штучного інтелекту є дієвим інструментом підвищення ефективності навчання у STEM-дисциплінах, насамперед у тих освітніх контекстах, що характеризуються чіткою логічною послідовністю змісту та необхідністю його поетапного засвоєння. Досягнення мети дослідження забезпечено через виявлення основних механізмів дії таких систем, аналіз їхнього впливу на навчальні результати та окреслення меж їхньої педагогічної результативності. Узагальнення результатів показало, що найбільшу цінність мають функції діагностики прогалин у знаннях у здобувача освіти, коригування та адаптації освітньої траєкторії, персоналізованого зворотного зв'язку та аналітичної підтримки викладача. Саме їхнє поєднання сприяє підвищенню точності виконання завдань, кращому засвоєнню складного матеріалу, зменшенню кількості типових помилок і більш адресному педагогічному супроводу. Проте з'ясовано, що ефективність таких систем не є однаковою в усіх умовах і залежить від дисциплінарної специфіки, якості педагогічного проектування, рівня



підготовки викладача, інтенсивності взаємодії здобувача освіти із системою та коректності алгоритмічної адаптації.

Перспективу подальших досліджень доцільно пов'язувати із вивченням довготривалого впливу таких систем на навчальні досягнення здобувачів середньої і вищої освіти, порівнянням їхньої ефективності в окремих STEM-дисциплінах, особливо з аналізом етичних засад, організаційних і методичних умов їхнього упровадження у реальне освітнє середовище.

Список використаних джерел

1. Zavolodko G., Kharchenko O., Tiahunova Z. Case championships as a means of learning in IT education. *Characteristics and trends of socioeconomic development at the macro- and micro-levels: conference proceedings*, May 5–6, 2023, Kielce, Poland. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2023. P. 100–103. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-306-4-26>.
2. Nersisian S. Generative AI for developing personalized male image strategies in barber education. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 26. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18301248>.
3. Chovriy S., Havrylenko A., Kostolovych M., Derkach O., Hrebenyk T. Diseñar el entorno digital de la educación superior para la formación de calidad de especialistas. *Revista Eduweb*. 2025. Vol. 19, № 3. P. 284–302. DOI: <https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2025.19.03.18>.
4. Chovriy S., Marieiev D., Tsymbal-Slatvinska S., Vytrykhovska O., Tsybulko A. Impacto de las tecnologías digitales en la calidad de la educación superior. *Revista Eduweb*. 2024. Vol. 18, № 4. P. 265–285. DOI: <https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2024.18.04.18>.
5. Антоненко Г. М., Терменжи Д. Є., Різак Г. В. Дослідження ролі дистанційних технологій у забезпеченні стійкості української вищої освіти.



Педагогічна Академія: наукові записки. 2025. № 19. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15779450>.

6. Скоробагатська О. І., Сидорук Л. М., Різак Г. В. Адаптація моделей управління в закладах вищої освіти до викликів штучного інтелекту та автоматизації оцінювання. *Академічні візії.* 2025. № 50. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17851974>.

7. Pinchuk Y. Comparative analysis of career strategies of opera singers in European and American cultural institutions. *Актуальні питання гуманітарних наук.* 2025. № 93, Т. 2. С. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/93-2-16>.

8. Hariyanto, Kristianingsih F. X. D., Maharani R. Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning // *Discover Education.* 2025. Vol. 4. Article 458. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>.

9. Fortuna A., Prasetya F., Samala A. D., Rawas S., Criollo-C S., Kaya D., Raihan M., Andriani W., Safitri D., Nabawi R. A. Artificial intelligence in personalized learning: a global systematic review of current advancements and shaping future opportunities. *Social Sciences & Humanities Open.* 2025. Vol. 12. Article 102114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102114>.

10. Garzón J., Patiño E., Marulanda C. Systematic review of artificial intelligence in education: trends, benefits, and challenges. *Multimodal Technologies and Interaction.* 2025. Vol. 9, № 8. Article 84. DOI:
<https://doi.org/10.3390/mti9080084>.

11. Lin C.-C., Huang A. Y. Q., Lu O. H. T. Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learning Environments.* 2023. Vol. 10. Article 41. DOI:
<https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>.



12. Wang X., Huang R. T., Sommer M., Pei B., Shidfar P., Rehman M. S., Ritzhaupt A. D., Martin F. The efficacy of artificial intelligence-enabled adaptive learning systems from 2010 to 2022 on learner outcomes: a meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*. 2024. Vol. 62, № 6. P. 1348–1383. DOI: <https://doi.org/10.1177/07356331241240459>.

13. Tan L. Y., Hu S., Yeo D. J., Cheong K. H. Artificial intelligence-enabled adaptive learning platforms: a review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2025. Vol. 9. Article 100429. DOI: 10.1016/j.caeai.2025.100429.

14. Li S., Zeng C., Liu H., Jia J., Liang M., Cha Y., Lim C. P., Wu X. A meta-analysis of AI-enabled personalized STEM education in schools. *International Journal of STEM Education*. 2025. Vol. 12. Article 58. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00566-y>.

15. Villegas-Ch W., Buenano-Fernandez D., Maldonado Navarro A., Mera-Navarrete A. Adaptive intelligent tutoring systems for STEM education: analysis of the learning impact and effectiveness of personalized feedback. *Smart Learning Environments*. 2025. Vol. 12. Article 41. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00389-y>.

16. Son T. Intelligent tutoring systems in mathematics education: a systematic literature review using the substitution, augmentation, modification, redefinition model. *Computers*. 2024. Vol. 13, № 10. Article 270. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13100270>.

17. Novik K., Honcharuk V., Kyrychenko V., Petrovska K., Zelinska V. The role of social media and online communities in learning and collaboration in the age of digital transformation. *Futurity Education*. 2024. Vol. 4, № 3. P. 334–351. DOI: <https://doi.org/10.57125/FED.2024.09.25.19>.

18. Novik K. Impact of artificial intelligence on teaching methods and teacher training effectiveness in online education. Modern research in science and education: proc. of the 12 th Intl sci. and pract. conf. (Chicago, July 25-27, 2024).



Chicago: BoScience Publisher, 2024. P. 108–111. URL:
https://www.researchgate.net/profile/Lesia-Soldatova-2/publication/386339708_Usage_of_the_explanatory_formula_saying's_meaning_in_the_process_of_interlanguage_translations/links/674def41359dcb4d9d4b84e5/Usage-of-the-explanatory-formula-sayings-meaning-in-the-process-of-interlanguage-translations.pdf#page=108 (дата звернення: 15.02.2026).