

Секція Освітні науки	
УДК 378.147:004.8:51	
Дата першого надходження статті до видання	2026-08-30
Дата прийняття статті до друку після рецензування	2026-09-30
Дата публікації/оприлюднення	2026-09-30

Персоналізоване навчання математичних дисциплін у закладах вищої освіти в умовах цифровізації освітнього процесу

Семенишина Ірина Віталіївна

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, фізико-математичних та безпекових дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Кам'янець-Подільський, Україна
e-mail: isemenisina@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9300-8914>

Кравченко Вікторія Валеріївна

старший викладач кафедри фундаментальних дисциплін,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна
e-mail: elzkravchenko@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0399-7013>

Сухомлинова Олена Валеріївна

старший викладач кафедри фундаментальних дисциплін,
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна
e-mail: osukhomlynova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7592-7255>

Анотація. У статті розглянуто проблему персоналізації навчання математичних дисциплін, зокрема вищої та прикладної математики, у закладах вищої освіти в умовах активного поширення адаптивних систем, інтелектуальних тьюторів і технологій штучного інтелекту. Метою статті є обґрунтування інтегрованої моделі персоналізації навчання математичних дисциплін на основі систематизації цифрових технологій, інструментів і педагогічних функцій їх застосування відповідно до індивідуальних потреб та рівня підготовки здобувачів освіти. Методологічну основу становили порівняльний аналіз 21 наукової публікації 2021–2026 рр., систематизація, структурно-функціональний аналіз і вторинний аналіз відкритих статистичних даних *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025*. Кількісна база охопила результати опитування 1 681 викладача 52 закладів вищої освіти з 28 країн. Для порівняння напрямів інтеграції ШІ розраховано показник позитивної готовності як суму часток респондентів, які готові апробувати відповідний напрям або повністю підтримують його використання. Встановлено, що сучасна персоналізація найбільш ефективно реалізується через поєднання адаптивного коригування складності й послідовності завдань, інтелектуального тьюторського супроводу, аналітики навчальної діяльності та генеративної підтримки ШІ. Систематизовано адаптивний, інтелектуально-тьюторський, ШІ-орієнтований та інтегративний підходи, визначено їхні функції, переваги й обмеження. За результатами вторинного аналізу найвищу позитивну готовність викладачів зафіксовано щодо формування критичного використання ШІ

студентами 71%, створення індивідуалізованих завдань і навчальних матеріалів по 70%, підвищення залученості студентів 68%; найнижчу, щодо оцінювання та формування зворотного зв'язку 46%. Наукова новизна полягає в удосконаленні систематизації засобів персоналізації за механізмом адаптації та педагогічною функцією, а також у подальшому розвитку положення про необхідність поєднання автоматизованої адаптації з педагогічним контролем викладача. Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання для вибору адаптивних систем, інтелектуальних тьюторів і ШІ-сервісів, проектування індивідуальних освітніх траєкторій, модернізації університетських курсів та визначення меж автоматизованого оцінювання.

Ключові слова: вища математика, прикладна математика, адаптивні системи, інтелектуальні тьютори, штучний інтелект, індивідуальна освітня траєкторія, навчальна аналітика, генеративний ШІ, педагогічний супровід, зворотний зв'язок.

Personalized Instruction in Mathematics at Institutions of Higher Education in the Context of the Digital Transformation of the Educational Process

Semenyshyna Iryna Vialiivna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Information Technology, Physical, Mathematical and
Civil Defence Disciplines,

Higher Educational Institution «Podillia State University», Kamianets-Podilskyi, Ukraine

e-mail: isemenisina@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9300-8914>

Kravchenko Viktoriia Valeriivna

Senior Lecturer of the Department of Fundamental Disciplines,
Krutyy Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology,
Kyiv, Ukraine

e-mail: elzkravchenko@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0399-7013>

Sukhomlynova Olena Valeriivna

Senior Lecturer of the Department of Fundamental Disciplines,
Krutyy Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology,
Kyiv, Ukraine

e-mail: osukhomlynova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7592-7255>

Abstract. This article examines the issue of personalizing the teaching of mathematical disciplines, particularly higher and applied mathematics in institutions of higher education amid the widespread adoption of adaptive systems, intelligent tutors, and artificial intelligence technologies. The purpose of the article is to justify an integrated model for personalizing the teaching of mathematical disciplines based on the systematization of digital technologies, tools, and the pedagogical functions of their application in accordance with the individual needs and level of preparation of students. The methodological framework consisted of a comparative analysis of 21 scientific publications from 2021–2026, systematization, structural-functional analysis, and secondary analysis of open statistical data from the Digital Education Council's Global AI Faculty Survey 2025. The quantitative data set included survey results from 1,681

faculty members at 52 higher education institutions across 28 countries. To compare areas of AI integration, a “positive readiness” indicator was calculated as the sum of the proportions of respondents who are willing to test a particular area or fully support its use. It was found that modern personalization is most effectively implemented through a combination of adaptive adjustment of task complexity and sequence, intelligent tutoring, learning analytics, and generative AI support. Adaptive, intelligent tutoring, AI-oriented, and integrative approaches were systematized, and their functions, advantages, and limitations were identified. According to the results of a secondary analysis, the highest level of positive readiness among instructors was observed regarding fostering students’ critical use of AI 71%; creating individualized assignments and instructional materials 70%; and increasing student engagement 68%; the lowest was regarding assessment and providing feedback 46%. The scientific novelty lies in the refinement of the systematization of personalization tools based on the adaptation mechanism and pedagogical function, as well as in the further development of the proposition regarding the necessity of combining automated adaptation with the instructor’s pedagogical oversight. The practical significance of the results lies in the possibility of using them to select adaptive systems, intelligent tutors, and AI services; to design individualized educational trajectories; to modernize university courses; and to define the limits of automated assessment.

Keywords: higher mathematics, applied mathematics, adaptive systems, intelligent tutors, artificial intelligence, personalized learning paths, educational analytics, generative AI, pedagogical support, feedback.

Вступ

Актуальність проблеми

Цифрова трансформація вищої освіти змінює підходи до організації навчання математичних дисциплін, зокрема вищої та прикладної математики, для яких традиційна уніфікована модель не завжди враховує суттєві відмінності у початковій підготовці, темпі засвоєння матеріалу та характері навчальних труднощів студентів. Особливої актуальності набуває персоналізація, що передбачає адаптацію змісту, складності, послідовності завдань і форм підтримки відповідно до індивідуальної динаміки навчання. Для курсів вищої математики та прикладної математики це має особливе значення, оскільки засвоєння нового матеріалу безпосередньо залежить від сформованості попередніх математичних знань і здатності застосовувати їх під час розв’язування теоретичних та прикладних задач. Сучасні цифрові платформи, адаптивні системи, інтелектуальні тьютори та технології штучного інтелекту розширюють можливості такої адаптації, забезпечуючи діагностику рівня підготовки, аналіз помилок, автоматизований добір завдань і оперативний зворотний зв’язок [3; 6; 9; 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні дослідження персоналізації навчання у вищій освіті розвиваються на перетині адаптивного навчання, цифрових освітніх середовищ і технологій штучного інтелекту. У працях, присвячених математичній підготовці, цифрові технології та інтерактивні методи розглядаються як засоби диференціації й індивідуалізації освітнього процесу, адаптації навчання до освітніх потреб здобувачів та активізації їхньої навчальної діяльності [1; 3; 16]. Водночас дослідження персоналізації у ширшому контексті вищої освіти акцентують на формуванні індивідуальної траєкторії, врахуванні готовності студента, структури навчального контенту та послідовності його засвоєння [5; 17; 18]. Це свідчить про поступовий перехід від використання окремих цифрових інструментів до системного персоналізованого середовища. Систематизація підходів до навчання в цифровому освітньо-науковому середовищі також засвідчує необхідність комплексного поєднання цифрових можливостей із педагогічно обґрунтованою організацією освітнього процесу [2].

Окремий напрям становлять адаптивні платформи та інтелектуальні тьюторські системи. Застосування персоналізованих систем у курсах математичних дисциплін, зокрема Calculus I, Stepik та ALEKS, демонструє можливості автоматизованої діагностики рівня підготовки, зміни складності завдань і коригування навчальної траєкторії [11; 12; 14; 15]. Інтелектуальні тьютори, крім добору завдань, забезпечують підказки, аналіз помилок і підтримку процесу розв’язування

[9; 13]. Отже, адаптивні системи переважно керують послідовністю та складністю навчання, тоді як інтелектуальні тьютори розширюють персоналізацію за рахунок індивідуального супроводу.

Новий етап розвитку персоналізації пов'язаний із використанням штучного інтелекту. У вищій освіті ШІ розглядається як засіб індивідуалізації навчальної взаємодії, адаптації матеріалів, формування рекомендацій і підтримки студентів [6; 19; 20]. У математичній освіті його можливості поширюються на генерацію пояснень і завдань, аналіз навчальної діяльності та організацію персоналізованого зворотного зв'язку [6; 8; 10]. Водночас персоналізація не повинна зводитися лише до технологічної адаптації: важливими залишаються самостійність здобувача, логіка засвоєння математичного змісту та педагогічний контроль [7]. В умовах поширення генеративного ШІ особливого значення набувають забезпечення академічної доброчесності, критична перевірка отриманих результатів і збереження орієнтації здобувача на розуміння логіки розв'язування математичних задач, а не лише на отримання готової відповіді [4]. Систематичні огляди підтверджують тенденцію до інтеграції адаптивних механізмів, аналітики та ШІ у персоналізоване навчання у вищій освіті [19; 20], а міжнародні дані свідчать, що викладачі позитивніше оцінюють використання ШІ для створення матеріалів, завдань і підтримки студентів, ніж для автоматизованого оцінювання [21].

Отже, аналіз джерел [1–21] засвідчив перехід від окремих цифрових засобів до інтегрованих моделей персоналізації. Їх основу становлять адаптивне коригування навчальної траєкторії, інтелектуальний супровід, персоналізований зворотний зв'язок і використання ШІ для гнучкої підтримки студента. Водночас ефективність таких моделей визначається не лише технологічними можливостями, а й їх відповідністю педагогічним цілям, структурі математичного змісту та потребам здобувачів освіти.

Виділення невирішеної частини проблеми

Попри значний науковий доробок, недостатньо систематизованими залишаються педагогічні можливості різних цифрових технологій саме у навчанні математичних дисциплін у закладах вищої освіти. Наявні дослідження переважно зосереджуються на окремих адаптивних платформах, інтелектуальних тьюторських системах або технологіях штучного інтелекту, тоді як їх функціональне співвідношення, межі педагогічної доцільності та можливості інтеграції в єдину персоналізовану освітню траєкторію потребують уточнення. Недостатньо визначено також, які функції доцільно автоматизувати, а які мають залишатися під безпосереднім контролем викладача з урахуванням специфіки математичної підготовки.

Мета статті

Метою статті є обґрунтування інтегрованої моделі персоналізації навчання математичних дисциплін у закладах вищої освіти на основі систематизації цифрових технологій, інструментів і педагогічних функцій їх застосування відповідно до індивідуальних потреб та рівня підготовки здобувачів освіти.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає в удосконаленні систематизації засобів цифрової персоналізації навчання математичних дисциплін шляхом їх розмежування за механізмом адаптації та педагогічною функцією. Набуло подальшого розвитку положення про доцільність інтегрованого поєднання адаптивних систем, інтелектуальних тьюторів і технологій штучного інтелекту із збереженням педагогічного контролю викладача.

Практичне значення

Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання викладачами математичних дисциплін та закладами вищої освіти під час вибору цифрових інструментів, проектування персоналізованих навчальних траєкторій і модернізації цифрових курсів. Запропонована систематизація дає змогу співвідносити конкретну технологію з педагогічною функцією — діагностикою, адаптацією завдань, тьюторською підтримкою, формуванням зворотного зв'язку або організацією самостійної роботи студента.

Методологія

Методи дослідження

Дослідження проведено із застосуванням поєднання теоретичних і кількісних методів. Для визначення сучасних підходів до персоналізації навчання математичних дисциплін

здійснено порівняльний аналіз наукових публікацій, у межах якого зіставлялися трактування адаптивного навчання, персоналізованих освітніх траєкторій, інтелектуальних тьюторських систем і технологій штучного інтелекту. Метод систематизації використано для групування цифрових технологій та інструментів за основним механізмом персоналізації й педагогічною функцією. На цій основі виокремлено адаптивний, інтелектуально-тьюторський, ШІ-орієнтований та інтегративний підходи. Структурно-функціональний аналіз застосовано для встановлення того, які саме параметри навчання можуть адаптуватися: зміст, складність і послідовність завдань, темп навчання, характер підказок, зворотний зв'язок та індивідуальна підтримка студента. Для кількісного обґрунтування педагогічних можливостей цифрових інтелектуальних технологій проведено вторинний аналіз відкритих статистичних даних міжнародного дослідження *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025* [21]. Для порівняння окремих напрямів застосування ШІ розраховувався узагальнений показник позитивної готовності до інтеграції як сума часток респондентів, які були готові апробувати відповідний напрям і повністю підтримували його застосування.

Джерела даних

Теоретичну базу дослідження становили 20 наукових публікацій 2021–2026 рр., присвячених цифровим технологіям у математичній освіті, адаптивному й персоналізованому навчанню, інтелектуальним тьюторським системам та використанню штучного інтелекту у вищій освіті [1–20]. До аналізу включено як праці, безпосередньо присвячені викладанню вищої математики та математичних дисциплін, так і систематичні та оглядові дослідження персоналізованого навчання у вищій освіті. Кількісним джерелом даних став відкритий міжнародний звіт *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025* [21]. Первинне дослідження охопило 1 681 викладача 52 закладів вищої освіти з 28 країн. Опитування було організовано *Digital Education Council* за підтримки закладів-членів організації та партнерських університетів. У ньому вивчалися фактичне використання ШІ викладачами, ставлення до його інтеграції у викладання і навчання, готовність до майбутнього використання, оцінювання інституційних рекомендацій та забезпечення впровадження ШІ [21]. Для цього дослідження з оприлюднених агрегованих даних було відібрано показники, безпосередньо пов'язані з педагогічними функціями цифрової персоналізації: проєктуванням курсу, створенням завдань і навчальних матеріалів, оцінюванням та зворотним зв'язком, прогнозуною аналітикою, залученням студентів, формуванням критичного використання ШІ та індивідуальною тьюторською підтримкою.

Інструменти аналізу

Для систематизації теоретичних результатів сформовано структурно-функціональну матрицю, у якій цифрові технології зіставлялися за типом інструменту, механізмом персоналізації, параметром адаптації та можливістю застосування під час вивчення математичних дисциплін. Кількісне опрацювання відкритих даних *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025* здійснювалося засобами *Microsoft Excel*. Інструменти генеративного штучного інтелекту використовувалися як допоміжний засіб для структурування та систематизації опрацьованої інформації, зіставлення характеристик цифрових технологій і мовного редагування окремих фрагментів тексту; формування джерельної бази, перевірка вихідних статистичних даних, їх інтерпретація та остаточне формулювання наукових висновків здійснювалися авторами.

Для кожного з відібраних напрямів розраховано показник позитивної готовності до інтеграції ШІ у відсотках; результати зведено у порівняльну таблицю та візуалізовано за допомогою горизонтальної стовпчикової діаграми. Оскільки використовувалися вже оприлюднені агреговані відсоткові показники, методи інференційної статистики та перевірки статистичних гіпотез не застосовувалися.

Обмеження дослідження

Дослідження має кілька обмежень. По-перше, його кількісна частина базується на вторинному аналізі агрегованих даних міжнародного опитування, тому автори не мали доступу до індивідуальних відповідей респондентів і не могли здійснити додаткове групування за країною, дисципліною, віком, педагогічним стажем або типом закладу вищої освіти. По-друге, *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025* охоплює викладачів різних галузей знань,

а не лише математичних дисциплін; тому відповідні статистичні показники використовуються як характеристика загальних тенденцій ставлення викладачів вищої освіти до інтеграції ШІ, а не як пряме вимірювання практик викладання математики. По-третє, у відкритих матеріалах дослідження зазначено загальну кількість 52 закладів із 28 країн, однак не подано повного переліку всіх установ та детального розподілу респондентів за ними, що обмежує можливість оцінювання репрезентативності окремих національних або інституційних груп. Нарешті, запропонована систематизація характеризує педагогічний потенціал цифрових технологій і не замінює експериментальної перевірки їх ефективності в конкретних університетських курсах математики. Тому отримані висновки доцільно розглядати як основу для подальших емпіричних досліджень персоналізованого навчання математичних дисциплін.

Результати

Сучасні наукові підходи до персоналізації навчання математичних дисциплін у закладах вищої освіти формуються на перетині цифровізації, адаптивного навчання та використання технологій штучного інтелекту. Персоналізація при цьому розглядається не лише як добір індивідуальних завдань, а як гнучке пристосування змісту, темпу, складності та послідовності навчання до рівня підготовки, освітніх потреб і результатів конкретного студента. Цифрові технології створюють для цього необхідне середовище: дають змогу накопичувати дані про навчальну діяльність, визначати труднощі у засвоєнні матеріалу, формувати індивідуальні маршрути та забезпечувати оперативний зворотний зв'язок [2; 3; 5]. Особливо важливим це є у вивченні математичних дисциплін, де навчальний матеріал має послідовну структуру, а недостатнє засвоєння попередніх понять безпосередньо впливає на подальше навчання.

Одним із найбільш поширених є **адаптивний підхід**, за якого цифрова система змінює складність, обсяг або послідовність завдань відповідно до результатів студента. Його практична реалізація представлена в адаптивних навчальних платформах, системах типу ALEKS, Stepik та інших цифрових середовищах [11; 12; 14]. Близьким до нього є інтелектуально-тьюторський підхід. У цьому випадку система не лише добирає наступні завдання, а й надає підказки, аналізує помилки, підтримує процес розв'язування та забезпечує індивідуальний зворотний зв'язок [9; 13]. Така модель особливо придатна для математичних дисциплін, оскільки дозволяє оперативно реагувати не лише на правильність відповіді, а й на труднощі, що виникають у процесі виконання завдання.

Окремий напрям пов'язаний із застосуванням штучного інтелекту. Сучасні системи ШІ дають змогу персоналізувати не тільки послідовність навчального матеріалу, а й способи його пояснення, типи прикладів, рівень складності завдань та характер навчальної підтримки [6; 8; 19]. Це розширює традиційні можливості адаптивних платформ. Водночас ефективність персоналізації визначається не самою наявністю цифрового інструменту, а тим, наскільки обґрунтовано він інтегрований у структуру математичної дисципліни. Тому дедалі більшого значення набуває інтегративний підхід, який поєднує адаптивні технології, навчальну аналітику, інтелектуальні системи, цифровий контент і педагогічний супровід викладача [17; 18; 20].

Узагальнення сучасних підходів дає змогу визначити основні напрями персоналізації навчання математичних дисциплін (табл. 1).

Таблиця 1.

Основні підходи до персоналізації навчання математичних дисциплін

Підхід	Що персоналізується	Основні цифрові засоби
Адаптивний	темپ, складність, послідовність завдань	адаптивні платформи, цифрові курси
Інтелектуально-тьюторський	процес виконання завдань, зворотний зв'язок	інтелектуальні тьюторські системи
ШІ-орієнтований	пояснення, завдання, навчальна підтримка	системи та інструменти штучного інтелекту
Інтегративний	сукупність параметрів індивідуальної траєкторії	ШІ, аналітика, цифровий контент, адаптивні системи

Джерело: систематизовано авторами на основі [2; 3; 5; 6; 9; 11–13; 17–20].

Отже, сучасний підхід до персоналізації навчання математичних дисциплін доцільно розглядати як поєднання технологічної адаптації та педагогічного управління індивідуальною освітньою траєкторією. Цифрові технології забезпечують варіативність змісту, темпу й форм підтримки, проте їх використання має підпорядковуватися логіці математичної підготовки та освітнім цілям. Саме така модель дозволяє перейти від однакової для всіх студентів організації навчання до гнучкого освітнього середовища, орієнтованого на індивідуальну динаміку засвоєння математичного матеріалу.

Цифрова персоналізація навчання математичних дисциплін ґрунтується на використанні технологій, здатних враховувати відмінності у попередній підготовці студентів, темпі засвоєння матеріалу, характері типових помилок і потребі в додатковій підтримці. Особливо значущим це є під час вивчення вищої математики та прикладної математики, де навчальний зміст має виражену логічну послідовність, а недостатнє засвоєння базових понять ускладнює подальше опанування складніших тем і методів. У курсах прикладної математики до цього додається необхідність переносити теоретичні знання на розв'язування практико-орієнтованих, розрахункових і модельних задач. Тому цифрові інструменти персоналізації мають не лише надавати навчальний контент, а й адаптувати його: змінювати складність завдань, послідовність проходження тем, обсяг практики та характер зворотного зв'язку [6; 9; 11–15].

Основні цифрові технології, інструменти та моделі, які можуть забезпечувати персоналізацію й адаптацію навчання математичних дисциплін відповідно до рівня підготовки та індивідуальних освітніх потреб здобувачів, систематизовано в **табл. 2**.

Таблиця 2.

Цифрові технології, інструменти та моделі персоналізації навчання математичних дисциплін

Технологія / інструмент / модель	Основний механізм персоналізації	Що адаптуєтьс я	Врахування індивідуальн их характерист ик студента	Приклади застосування	Потенціал для математични х дисциплін
Адаптивні навчальні системи	автоматичне коригування навчальної траєкторії за результатами виконання завдань	складність, темп, послідовніс ть і кількість завдань	рівень засвоєння теми, правильніс ть відповідей, прогрес	адаптивні курси з математики	дають змогу поступово ускладнювати матеріал та усувати прогалини у знаннях
ALEKS	діагностика рівня знань і визначення наступних елементів навчання	набір тем і вправ, рівень складності, інтенсивніс ть практики	сформованіс ть окремих математичн их знань і навичок	курси математики у закладах середньої та вищої освіти [14; 15]	забезпечує індивідуальну послідовність опанування математичног о змісту
Stepik та аналогічні цифрові платформи	побудова варіативної траєкторії проходження онлайн-курсу	зміст, порядок опрацюван ня матеріалу, практичні завдання	результати виконання завдань і попередня підготовка	персоналізов ане навчання математики на платформі Stepik [12]	дозволяє поєднувати теоретичні матеріали, практичні вправи та контроль у єдиному середовищі
Інтелектуальн і тьюторські системи (ITS)	моделювання навчальної діяльності студента та	підказки, пояснення, наступні навчальні	характер помилок, спосіб виконання	цифрові тьютори з математики [9; 13]	забезпечують оперативний супровід процесу

	надання індивідуально ї допомоги	дії	завдання, поточні труднощі		розв'язування математичних задач
Засоби штучного інтелекту	аналіз навчальних даних і формування персоналізова ної підтримки	навчальні завдання, пояснення, рекоменда ції, зворотний зв'язок	рівень підготовки, поточні результати, індивідуальні і навчальні потреби	ШІ-підтримка навчання вищої математики [6]	розширюють можливості індивідуально го пояснення та диференціації навчальних завдань
Модель персоналізова ної навчальної траєкторії	добір і послідовне коригування індивідуально го маршруту	зміст, темп, порядок тем, форми підтримки	стартовий рівень, динаміка успішності, готовність до засвоєння наступного матеріалу	цифрове персоналізоване середовище [5; 18]	дає змогу узгоджувати структуру математичного курсу з фактичним рівнем підготовки студента
Інтегрована модель персоналізації	поєднання адаптивної платформи, ШІ, цифрового контенту та педагогічного супроводу	комплекс параметрів навчальної діяльності	сукупність даних про підготовку, прогрес і навчальні труднощі	персоналізоване цифрове середовище закладу вищої освіти [17; 19; 20]	забезпечує найбільш повне поєднання автоматизованої адаптації та викладацького контролю

Джерело: систематизовано авторами на основі [5; 6; 9; 11–15; 17–20].

Наведена систематизація показує, що цифрові технології персоналізації відрізняються передусім глибиною адаптації. Найпростіші рішення змінюють складність і послідовність завдань, тоді як інтелектуальні та ШІ-орієнтовані системи можуть додатково адаптувати характер підтримки й зворотного зв'язку. Для математичних дисциплін найбільш доцільним є поєднання кількох механізмів: первинної діагностики рівня підготовки, адаптивного добору завдань, оперативного аналізу помилок і коригування індивідуальної траєкторії. При цьому цифровий інструмент не замінює викладача, а виконує функцію підтримки диференційованої організації навчання. Саме інтегрована модель дозволяє найповніше враховувати індивідуальні відмінності здобувачів і водночас зберігати логічну цілісність математичної підготовки.

Застосування адаптивних навчальних систем, інтелектуальних тьюторів і технологій штучного інтелекту змінює характер персоналізації математичної підготовки, оскільки цифровий інструмент може використовуватися не лише для представлення навчального матеріалу, а й для діагностики труднощів, добору завдань, формування підказок, організації зворотного зв'язку та коригування подальшої траєкторії навчання. Для математичних дисциплін особливе значення мають функції, пов'язані з послідовним ускладненням завдань, аналізом помилок і своєчасною підтримкою студента. Адаптивні системи реалізують ці можливості переважно через зміну послідовності та складності навчального матеріалу [11; 12], тоді як інтелектуальні тьюторські системи доповнюють їх індивідуальними підказками й супроводом процесу розв'язування [9; 13]. Технології штучного інтелекту розширюють цей функціонал за рахунок генерації матеріалів, пояснень, формувального зворотного зв'язку та прогнозування потреби у педагогічному втручанні [6; 19; 20].

Методологія. Для кількісного обґрунтування педагогічних можливостей зазначених технологій проведено вторинний аналіз відкритих статистичних матеріалів міжнародного дослідження *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025*. Первинний масив

дослідження охопив **1 681 викладача 52 закладів вищої освіти з 28 країн**. Опитування було організоване Digital Education Council та поширювалося за підтримки закладів-членів DEC і партнерських установ, які забезпечували залучення викладачів до анкетування. Досліджувалися фактичне використання ШІ у викладанні, ставлення педагогічних працівників до різних напрямів його інтеграції, готовність до майбутнього використання, цифрова компетентність, а також оцінка інституційного забезпечення впровадження ШІ. У відкритому звіті зазначено кількість установ, країн і респондентів, але не наведено повного переліку назв усіх 52 закладів та детальної процедури формування вибірки; тому ці характеристики не конкретизувалися додатково, щоб уникнути методологічно необґрунтованих припущень.

Для цього дослідження з первинного масиву показників були відібрані ті позиції, які найбільш безпосередньо відповідають педагогічним функціям персоналізації: проектування навчального курсу, створення завдань і навчальних матеріалів, оцінювання та формування зворотного зв'язку, прогнозна аналітика для раннього втручання, залучення студентів, навчання критичного використання ШІ та тьюторська підтримка поза аудиторією. У первинному опитуванні ставлення викладачів до кожного напрямку визначалося за п'ятьма позиціями: від категорії «категорично проти» до «повністю підтримую». Для порівняльного аналізу розраховано показник позитивної готовності до інтеграції як суму часток респондентів, які обрали відповіді *happy to explore* («готовий/готова апробувати») та *strongly support* («повністю підтримую»). Наприклад, для тьюторської підтримки це $42,00 + 21,00 = 63,00\%$, а для прогносної аналітики — $39,00 + 17,00 = 56,00\%$. Такий розрахунок здійснювався лише на основі оприлюднених агрегованих даних; статистичне моделювання або реконструкція індивідуальних відповідей респондентів не проводилися. Первинні значення відповідей опубліковані DEC у відсотках.

Результати статистичного опрацювання та їх співвіднесення з педагогічними функціями адаптивних систем, інтелектуальних тьюторів і технологій ШІ у навчанні математичних дисциплін наведено у табл. 3.

Таблиця 3.

Педагогічні можливості цифрових інтелектуальних технологій та готовність викладачів до їх інтеграції в освітній процес

Педагогічна функція	Найбільш відповідна технологія	Готові апробувати, %	Повністю підтримують, %	Позитивна готовність до інтеграції, %	Особливості застосування у математичних дисциплінах
Проектування структури курсу	ШІ, адаптивні системи	47,00	19,00	66,00	диференціація структури та послідовності вивчення тем
Створення індивідуалізованих завдань	генеративний ШІ, адаптивні системи	47,00	23,00	70,00	варіювання рівня складності й типу математичних задач
Створення навчальних матеріалів	генеративний ШІ	46,00	24,00	70,00	формування додаткових прикладів, пояснень і тренувальних матеріалів
Оцінювання та формування зворотного зв'язку	ШІ, інтелектуальні тьютори	33,00	13,00	46,00	оперативний аналіз виконання

					завдань і персоналізовані рекомендації
Прогнозна аналітика та раннє втручання	адаптивні системи, навчальна аналітика	39,00	17,00	56,00	виявлення прогалин у знаннях і ризику відставання до підсумкового контролю
Підвищення залученості студентів	ШІ, інтелектуальні і навчальні середовища	49,00	19,00	68,00	інтерактивна робота із задачами та оперативне реагування на труднощі
Формування критичного використання ШІ	технології ШІ	44,00	27,00	71,00	перевірка правильності ШІ-згенерованих розв'язків, пошук помилок і обґрунтування результату
Індивідуальна тьюторська підтримка	інтелектуальні і тьюторські системи	42,00	21,00	63,00	підказки, додаткові пояснення та підтримка під час самостійного розв'язування

Джерело: розраховано авторами за даними Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025; показник позитивної готовності визначено як суму категорій «готові апробувати» та «повністю підтримують».

Позитивна готовність викладачів до інтеграції цифрових інтелектуальних технологій представимо на рисунку 1.

Дані табл. 3 і рис. 1 показують, що найбільша позитивна готовність викладачів пов'язана не з автоматизованим оцінюванням, а з використанням ШІ як засобу підтримки навчальної діяльності. Найвище значення зафіксовано для навчання студентів використовувати й критично оцінювати ШІ — 71,00%, по 70,00% отримали створення завдань і навчальних матеріалів, а залучення студентів підтримують або готові апробувати 68,00% респондентів. Значно обережніше викладачі ставляться до передавання алгоритмів функцій оцінювання та генерування зворотного зв'язку — 46,00%. Така різниця є педагогічно суттєвою. Вона свідчить про доцільність використання інтелектуальних технологій насамперед як засобів підтримки й адаптації навчання, тоді як рішення, пов'язані з оцінюванням математичних знань, потребують збереження викладацького контролю. Первинні дані DEC також показують, що 61% опитаних викладачів уже використовували ШІ у викладанні, проте 88% із тих, хто його застосовує, характеризували інтенсивність використання лише як мінімальну, обмежену або помірну.



Рисунок 1. Позитивна готовність викладачів до інтеграції цифрових інтелектуальних технологій

Отже, систематизація дозволяє розмежувати три взаємодоповнювальні функціональні рівні. Адаптивні системи найбільш доцільні для діагностики, зміни складності та коригування індивідуальної траєкторії; інтелектуальні тьютори — для покрокової підтримки, підказок і зворотного зв'язку; технології штучного інтелекту — для варіативного генерування матеріалів, пояснень, завдань та аналітичної підтримки. У математичній підготовці їх педагогічний потенціал найбільш повно реалізується не через автономну заміну діяльності викладача, а через поєднання автоматизованої адаптації з педагогічним контролем, перевіркою коректності математичних результатів та розвитком самостійності студента.

Обговорення

Інтерпретація результатів

Отримані результати засвідчують, що персоналізація навчання математичних дисциплін найбільш продуктивно реалізується не через використання одного цифрового інструменту, а через поєднання кількох взаємопов'язаних механізмів: діагностики рівня підготовки, адаптивного добору завдань, аналізу помилок, персоналізованого зворотного зв'язку та коригування індивідуальної освітньої траєкторії. Така структура відповідає специфіці математичної підготовки, де результати засвоєння наступних тем значною мірою залежать від сформованості попередніх знань. Адаптивні системи в цій моделі виконують передусім функцію регулювання складності та послідовності навчального матеріалу, інтелектуальні тьютори забезпечують підтримку під час розв'язування завдань, а технології штучного інтелекту розширюють можливості формування пояснень, додаткових прикладів, рекомендацій і персоналізованого зворотного зв'язку. Отже, їх педагогічний потенціал проявляється саме у взаємодоповнюваності, а не у взаємозамінності.

Результати вторинного аналізу міжнародних даних також показують нерівномірну готовність викладачів до різних напрямів інтеграції ШІ. Найвищі показники позитивної готовності стосуються формування критичного використання ШІ студентами — 71,00%, створення індивідуалізованих завдань і навчальних матеріалів — по 70,00%, а також підвищення залученості студентів — 68,00% [21]. Натомість використання ШІ для оцінювання та формування зворотного зв'язку отримало нижчий рівень підтримки — 46,00%. Така відмінність може бути пояснена різним ступенем педагогічної

відповідальності, який передається цифровій системі. Викладачі більш позитивно сприймають ШІ як засіб створення, пояснення й підтримки навчального матеріалу, але обережніше ставляться до автоматизації оцінювання, де особливо важливими залишаються коректність математичних висновків, прозорість критеріїв та академічна відповідальність. Це дає підстави розглядати оптимальну модель персоналізації як керовану: цифрова система здійснює адаптацію й інформаційну підтримку, тоді як викладач визначає навчальні цілі, контролює якість результатів і приймає ключові педагогічні рішення.

Порівняння з іншими дослідженнями

Отримані результати загалом узгоджуються з висновками досліджень, у яких персоналізація розглядається як поєднання адаптивного контенту, індивідуальної послідовності навчання та підтримки здобувача. Зокрема, результати щодо доцільності адаптації складності й послідовності математичних завдань відповідають підходам, реалізованим у персоналізованих адаптивних системах для курсу Calculus I [11] та в цифровому навчальному середовищі Stepik [12]. Висновок про значущість інтелектуального супроводу процесу розв'язування завдань також співвідноситься з дослідженнями інтелектуальних тьюторських систем у математичній освіті [9; 13]. Водночас проведена систематизація показує, що сучасна персоналізація вже не обмежується адаптивним добром навчального матеріалу. Вона включає генерування варіативних пояснень, аналітику навчальної діяльності, прогнозування труднощів і підтримку самостійної роботи студента.

Цей висновок узгоджується з сучасними дослідженнями ШІ-персоналізації у вищій освіті [6; 19; 20], однак отримані результати дозволяють конкретизувати його для математичних дисциплін. Для них особливо важливою є не лише індивідуалізація темпу чи форми подання матеріалу, а збереження логічної послідовності формування математичних понять і способів діяльності. Тому надмірна автоматизація або неконтрольоване використання генеративного ШІ може створювати ризик отримання правильної відповіді без достатнього усвідомлення способу її одержання. У цьому аспекті результати дослідження доповнюють підхід J. Engelbrecht [7], який розглядає персоналізоване математичне навчання не тільки як технологічну адаптацію, а й як засіб розвитку самостійності здобувача. Відповідно, ефективність цифрової персоналізації доцільно оцінювати не лише за точністю добору контенту, а й за її здатністю підтримувати активну математичну діяльність студента.

Наукова новизна (розгорнуто)

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні систематизації цифрових засобів персоналізації навчання математичних дисциплін шляхом їх розмежування не лише за технологічним типом, а й за педагогічною функцією в індивідуальній освітній траєкторії. Виділено взаємопов'язані функціональні рівні: адаптивний, що забезпечує діагностику та коригування складності й послідовності навчального матеріалу; інтелектуально-тьюторський, орієнтований на персоналізований супровід розв'язування завдань; ШІ-орієнтований, який розширює можливості генерування пояснень, навчальних матеріалів та рекомендацій. На відміну від підходів, у яких зазначені технології розглядаються переважно окремо, запропоновано трактувати їх як елементи інтегрованої моделі персоналізації математичного навчання.

Набуло подальшого розвитку положення про необхідність поєднання автоматизованої адаптації з педагогічним контролем викладача. На основі зіставлення функціональних можливостей цифрових систем і статистичних даних про готовність викладачів до використання ШІ обґрунтовано, що найперспективнішими є напрями, у яких технологія підтримує створення матеріалів, індивідуалізацію завдань, залучення та самостійну діяльність студентів, тоді як оцінювання й прийняття ключових педагогічних рішень мають залишатися під контролем викладача. Це дозволяє

конкретизувати межі педагогічно доцільного використання цифрових інтелектуальних технологій саме у процесі вивчення математичних дисциплін.

Практичне значення (розгорнуто)

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання викладачами математичних дисциплін для вибору цифрових інструментів відповідно до конкретної педагогічної функції. Адаптивні системи доцільно застосовувати для початкової діагностики та диференціації складності завдань; інтелектуальні тьютори — для організації індивідуального супроводу й оперативних підказок; технології штучного інтелекту — для створення додаткових пояснень, варіативних завдань, тренувальних матеріалів і підтримки самостійної роботи студентів. Такий розподіл дозволяє уникати невиправданого використання цифрових засобів і пов'язувати їх вибір безпосередньо з навчальною метою.

Запропонована систематизація може бути використана під час проєктування та модернізації університетських курсів вищої математики, прикладної математики, математичного аналізу, алгебри, теорії ймовірностей та статистики. Для курсів вищої математики практичну цінність становить можливість диференціювати складність і послідовність засвоєння теоретичного матеріалу, тоді як у викладанні прикладної математики цифрові технології можуть використовуватися для персоналізації розрахункових, модельних і професійно орієнтованих завдань. На рівні закладу вищої освіти результати можуть слугувати орієнтиром для розроблення рекомендацій щодо інтеграції адаптивних платформ і ШІ-сервісів у цифрове освітнє середовище, визначення меж автоматизованого оцінювання та організації підготовки викладачів до роботи з такими технологіями. При цьому цифрова система має доповнювати діяльність викладача, забезпечуючи своєчасну адаптацію та персоналізовану підтримку, але не підмінювати професійне оцінювання математичної коректності й навчального прогресу здобувача.

Висновки

У результаті дослідження встановлено, що персоналізація навчання математичних дисциплін у закладах вищої освіти найбільш ефективно реалізується через комплексне використання адаптивних навчальних систем, інтелектуальних тьюторів і технологій штучного інтелекту, які забезпечують діагностику рівня підготовки, варіювання складності та послідовності завдань, персоналізований зворотний зв'язок і підтримку індивідуальної освітньої траєкторії. Систематизовано основні цифрові технології, інструменти та моделі персоналізації, а також визначено їхні педагогічні функції й особливості застосування у процесі вивчення математичних дисциплін. Встановлено, що найбільший потенціал мають інтегровані моделі, у яких автоматизована адаптація поєднується з педагогічним контролем викладача та активною самостійною діяльністю студента. Вторинний аналіз міжнародних статистичних даних засвідчив вищу готовність викладачів використовувати ШІ для створення навчальних матеріалів, індивідуалізації завдань, підвищення залученості та розвитку критичного використання ШІ, тоді як автоматизоване оцінювання сприймається обережніше. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації університетських курсів математичного спрямування, а перспективи подальших досліджень пов'язані з емпіричною перевіркою ефективності інтегрованих моделей персоналізації у конкретних математичних дисциплінах.

Список використаних джерел

1. Гуда О. В., Генсіцька-Антонюк Н. О., Сухомлинова О. В. Вплив інтерактивних методів навчання на засвоєння математичних знань. *Системні технології*. 2025. № 1 (156). С. 127–138. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-156-2025-15>
2. Козубцов І. М., Козубцова Л. М., Палагута А. М., Сновида В. Є., Сухомлинова О. В. Систематизація підходів до навчання здобувачів вищої освіти в «цифровому освітньо-науковому середовищі». *Наукові інновації та передові технології*. 2023. № 1 (15). С. 374–384. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-1\(15\)-374-384](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-1(15)-374-384)

3. Косовець О., Соя О., Крупський Я., Тютюн Л. Цифрові технології як засіб адаптивного навчання здобувачів вищої освіти інформатики та математики. *Фізико-математична освіта*. 2022. Т. 33, № 1. С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-002>
4. Сухомлинова О. В. Педагогічні стратегії формування академічної доброчесності в умовах використання генеративного ШІ в закладах вищої освіти з урахуванням специфіки математичних дисциплін. *Наукові інновації та передові технології*. 2026. № 5 (57). С. 2636–2648. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-5\(57\)-2636-2648](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-5(57)-2636-2648)
5. Хижняк А., Казимир В. Моделі персоналізації навчання в цифровому освітньому середовищі. *Технічні науки та технології*. 2026. № 1 (43). С. 279–290. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1\(43\)-279-290](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1(43)-279-290)
6. Berikkhanova G., Begarisheva G., Berikkhanova A., Rakhymova A., Berikkhanova K. Artificial intelligence in the personalization of teaching of higher mathematics students in Kazakhstan. *Education Sciences*. 2026. Vol. 16, No. 4. Article 513. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci16040513>
7. Engelbrecht J. Personalized learning in the changing mathematics classroom. *Asian Journal for Mathematics Education*. 2026. Vol. 5, No. 2. P. 295–315. DOI: <https://doi.org/10.1177/27527263261454980>
8. Schindler M., Cevikbas M., Lilienthal A. J. Artificial intelligence in mathematics education: A two-dimensional conceptual framework and meta-review. *ZDM – Mathematics Education*. 2026. Vol. 58. P. 831–850. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-026-01827-y>
9. Son T. Intelligent tutoring systems in mathematics education: A systematic literature review using the Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition Model. *Computers*. 2024. Vol. 13, No. 10. Article 270. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13100270>
10. Panqueban D., Huincahue J. Artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. *Uniciencia*. 2024. Vol. 38, No. 1. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.15359/ru.38-1.20>
11. Cakir O. An application of personalized adaptive learning systems in Calculus I course. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*. 2022. Vol. 7, No. 2. P. 307–321. DOI: <https://doi.org/10.53850/joltida.1116403>
12. Zhilmagambetova R., Kopeyev Z., Mubarakov A., Alimagambetova A. The role of adaptive personalized technologies in the learning process: Stepik as a tool for teaching mathematics. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments*. 2023. Vol. 13, No. 1. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.4018/IJVPLE.324079>
13. Ingkavara T., Wongkia W., Panjaburee P. Trends of adaptive/personalized learning and intelligent tutoring systems in mathematics: A review of academic publications from 2010 to 2022. *Engineering Proceedings*. 2023. Vol. 55, No. 1. Article 34. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023055034>
14. Sun S., Else-Quest N. M., Hodges L. C., French A. M., Dowling R. The effects of ALEKS on mathematics learning in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Investigations in Mathematics Learning*. 2021. Vol. 13, No. 3. P. 182–196. DOI: <https://doi.org/10.1080/19477503.2021.1926194>
15. Harati H., Sujo-Montes L., Tu C.-H., Armfield S. J. W., Yen C.-J. Assessment and Learning in Knowledge Spaces (ALEKS) adaptive system impact on students' perception and self-regulated learning skills. *Education Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 10. Article 603. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11100603>
16. Homolya S. Digital technology in university mathematics education. *Multidiszciplináris Tudományok*. 2023. Vol. 13, No. 2. P. 220–231. DOI: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.2.20>
17. du Plooy E., Casteleijn D., Franzsen D. Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 21. Article e39630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>
18. Zhong L. A systematic review of personalized learning in higher education: Learning content structure, learning materials sequence, and learning readiness support. *Interactive Learning Environments*. 2023. Vol. 31, No. 10. P. 7053–7073. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2061006>

19. Merino-Campos C. The impact of artificial intelligence on personalized learning in higher education: A systematic review. *Trends in Higher Education*. 2025. Vol. 4, No. 2. Article 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/higheredu4020017>
20. Peng J., Li Y. Frontiers of artificial intelligence for personalized learning in higher education: A systematic review of leading articles. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 18. Article 10096. DOI: <https://doi.org/10.3390/app151810096>
21. Digital Education Council. Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025. 2025. URL: <https://www.digitaleducationcouncil.com/post/digital-education-council-global-ai-faculty-survey> (дата звернення: 05.09.2026).

REFERENCES

1. Huda, O. V., Hensitska-Antoniuk, N. O., & Sukhomlynova, O. V. (2025). Vplyv interaktyvnykh metodiv navchannia na zasvoiennia matematychnykh znan [Influence of interactive teaching methods on mathematical knowledge acquisition]. *Systemni tekhnologii [System Technologies]*, 1(156), 127–138. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-156-2025-15>
2. Kozubtsov, I. M., Kozubtsova, L. M., Palahuta, A. M., Snovyda, V. Ye., & Sukhomlynova, O. V. (2023). Systematyzatsiia pidkhodiv do navchannia здобувачів вищої освіти в «tsyfrovomu osvithno-naukovomu seredovyshchi» [Systematization of approaches to teaching higher education applicants in the “digital educational and scientific environment”]. *Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnologii [Scientific Innovations and Advanced Technologies]*, 1(15), 374–384. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-1\(15\)-374-384](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-1(15)-374-384)
3. Kosovets, O., Soia, O., Krupskiy, Ya., & Tiutiun, L. (2022). Tsyfrovi tekhnologii yak zasib adaptivnoho navchannia здобувачів вищої освіти informatyky ta matematyky [Digital technologies as a means of adaptive learning for higher education students in computer science and mathematics]. *Fyzyko-matematychna osvita [Physical and Mathematical Education]*, 33(1), 14–19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-002>
4. Sukhomlynova, O. V. (2026). Pedagogichni stratehii formuvannia akademichnoi dobrochesnosti v umovakh vykorystannia henerativnoho ShI v zakladakh vyshchoi osvity z urakhuvanniam spetsyfiky matematychnykh dystsyplin [Pedagogical strategies for developing academic integrity in the context of generative AI use in higher education institutions considering the specifics of mathematical disciplines]. *Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnologii [Scientific Innovations and Advanced Technologies]*, 5(57), 2636–2648. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-5\(57\)-2636-2648](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-5(57)-2636-2648)
5. Khyzhniak, A., & Kazymyr, V. (2026). Modeli personalizatsii navchannia v tsyfrovomu osvithnomu seredovyshchi [Models of learning personalization in the digital educational environment]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii [Technical Sciences and Technologies]*, 1(43), 279–290. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1\(43\)-279-290](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-1(43)-279-290)
6. Berikkhanova, G., Begarisheva, G., Berikkhanova, A., Rakhymova, A., & Berikkhanova, K. (2026). Artificial intelligence in the personalization of teaching of higher mathematics students in Kazakhstan. *Education Sciences*, 16(4), 513. <https://doi.org/10.3390/educsci16040513>
7. Engelbrecht, J. (2026). Personalized learning in the changing mathematics classroom. *Asian Journal for Mathematics Education*, 5(2), 295–315. <https://doi.org/10.1177/27527263261454980>
8. Schindler, M., Cevikbas, M., & Lilienthal, A. J. (2026). Artificial intelligence in mathematics education: A two-dimensional conceptual framework and meta-review. *ZDM – Mathematics Education*, 58, 831–850. <https://doi.org/10.1007/s11858-026-01827-y>
9. Son, T. (2024). Intelligent tutoring systems in mathematics education: A systematic literature review using the Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition Model. *Computers*, 13(10), 270. <https://doi.org/10.3390/computers13100270>
10. Panqueban, D., & Huincahue, J. (2024). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. *Uniciencia*, 38(1), 1–17. <https://doi.org/10.15359/ru.38-1.20>
11. Cakir, O. (2022). An application of personalized adaptive learning systems in Calculus I course. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 7(2), 307–321. <https://doi.org/10.53850/joltida.1116403>

12. Zhilmagambetova, R., Kopeyev, Z., Mubarakov, A., & Alimagambetova, A. (2023). The role of adaptive personalized technologies in the learning process: Stepik as a tool for teaching mathematics. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.4018/IJVPLE.324079>
13. Ingkavara, T., Wongkia, W., & Panjaburee, P. (2023). Trends of adaptive/personalized learning and intelligent tutoring systems in mathematics: A review of academic publications from 2010 to 2022. *Engineering Proceedings*, 55(1), 34. <https://doi.org/10.3390/engproc2023055034>
14. Sun, S., Else-Quest, N. M., Hodges, L. C., French, A. M., & Dowling, R. (2021). The effects of ALEKS on mathematics learning in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Investigations in Mathematics Learning*, 13(3), 182–196. <https://doi.org/10.1080/19477503.2021.1926194>
15. Harati, H., Sujo-Montes, L., Tu, C.-H., Armfield, S. J. W., & Yen, C.-J. (2021). Assessment and Learning in Knowledge Spaces (ALEKS) adaptive system impact on students' perception and self-regulated learning skills. *Education Sciences*, 11(10), 603. <https://doi.org/10.3390/educsci11100603>
16. Homolya, S. (2023). Digital technology in university mathematics education. *Multidiszciplináris Tudományok*, 13(2), 220–231. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.2.20>
17. du Plooy, E., Casteleijn, D., & Franzsen, D. (2024). Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. *Heliyon*, 10(21), e39630. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>
18. Zhong, L. (2023). A systematic review of personalized learning in higher education: Learning content structure, learning materials sequence, and learning readiness support. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 7053–7073. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2061006>
19. Merino-Campos, C. (2025). The impact of artificial intelligence on personalized learning in higher education: A systematic review. *Trends in Higher Education*, 4(2), 17. <https://doi.org/10.3390/higheredu4020017>
20. Peng, J., & Li, Y. (2025). Frontiers of artificial intelligence for personalized learning in higher education: A systematic review of leading articles. *Applied Sciences*, 15(18), 10096. <https://doi.org/10.3390/app151810096>
21. Digital Education Council. (2025). *Digital Education Council Global AI Faculty Survey 2025*. <https://www.digitaleducationcouncil.com/post/digital-education-council-global-ai-faculty-survey>