



ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ

УДК 51:37.013.33:004.8

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.20040270>

Моделювання динаміки засвоєння фундаментальних понять дискретної математики в умовах диджиталізації вищої школи

Кравченко Вікторія Валеріївна,

старший викладач, кафедра фундаментальних дисциплін,

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут,

м. Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-0399-7013>

Криворучко Яніна Сергіївна,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

м. Київ, Україна, <https://orcid.org/0009-0005-7468-4681>

Роговська Марія Георгіївна,

кандидат фізико-математичних наук, в.о. завідувача кафедри фізико-

математичних наук, Державний університет інтелектуальних технологій і

зв'язку, м. Одеса, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-3344-3065>

Прийнято: 14.04.2026 | Опубліковано: 30.04.2026

***Анотація.** Цифрова трансформація системи вищої освіти актуалізує проблему підвищення ефективності засвоєння фундаментальних математичних дисциплін, що характеризуються високим рівнем абстрактності та складністю формування стійких когнітивних структур у здобувачів освіти. Мета дослідження полягає в моделюванні процесу*



засвоєння базових понять дискретної математики із використанням цифрових інструментів оцінювання та прогнозування результатів навчання. **Методи роботи** охоплюють математичне моделювання, аналіз часових рядів освітніх показників, елементи теорії графів для опису когнітивних зв'язків, статистичне оцінювання рівня сформованості знань, а також комп'ютерне моделювання із застосуванням систем збору навчальної аналітики. Використано підхід, заснований на побудові функцій переходу між станами розуміння навчального матеріалу. **Результати.** Охарактеризовано закономірності формування знань із дискретної математики в студентів закладів вищої освіти в умовах цифровізації освітнього процесу. Проаналізовано особливості опанування основних понять, таких як відношення, графи, булеві функції та комбінаторні структури, з урахуванням впливу інтерактивних освітніх платформ, систем навчальної аналітики й адаптивних електронних ресурсів. Обґрунтовано доцільність математичного моделювання процесу навчання як інструменту відображення індивідуальних освітніх траєкторій та параметрів когнітивного навантаження. Результати засвідчують наявність нелінійної залежності між інтенсивністю використання цифрових ресурсів і рівнем засвоєння понять. З'ясовано, що поєднання адаптивних тестових модулів із візуалізацією структур даних поліпшує зростання показників точності виконання завдань і скорочує час формування стійких знань. Запропонована модель дає змогу ідентифікувати критичні точки освітнього процесу, у яких виникають когнітивні перепони, та здійснювати корекцію освітніх стратегій на основі прогнозних оцінювань. **Висновки.** Встановлено ефективність використання формалізованих підходів до аналізу освітньої діяльності в цифровому середовищі. Представлено модель, яка забезпечує інструментарій для оптимізації змісту навчання, підвищення якості підготовки фахівців та обґрунтування управлінських рішень у сфері вищої



освіти. Отримані результати мають практичне значення для розроблення електронних курсів і систем підтримки навчання, орієнтованих на персоналізовану взаємодію зі здобувачами освіти.

Ключові слова: математичне моделювання, цифрове освітнє середовище, освітня аналітика, когнітивні процеси, адаптивні системи, теорія графів, освітні вимірювання, інтелектуальні платформи.

Modeling the dynamics of mastering fundamental concepts of discrete mathematics in the context of digitalization of higher education

Viktoriia Kravchenko,

Senior Lecturer, Department of Fundamental Disciplines, Kruty Heroes Military
Institute of Telecommunications and Information Technology,
Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-0399-7013>

Yanina Kryvoruchko,

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0005-7468-4681>

Mariia Rohovska,

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Acting Head of the Department of
Physical and Mathematical Sciences, State University of Intellectual Technologies
and Telecommunications, Odesa, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-3344-3065>

Abstract. *The digital transformation of the higher education system highlights the need to improve the efficiency of mastering fundamental mathematical disciplines, which are characterized by high abstraction and the difficulty of forming*



*stable cognitive structures among students. The **purpose of the study** is to model the process of mastering the basic concepts of discrete mathematics using digital assessment tools and predicting learning outcomes. Research **methods** include mathematical modeling, time-series analysis of educational indicators, graph-theoretic methods to describe cognitive connections, statistical evaluation of the level of knowledge formation, and computer modeling using learning analytics collection systems. An approach based on the construction of transition functions between the states of understanding the educational material was applied. **Results.** The regularities of knowledge formation in discrete mathematics among students of higher education institutions in the context of the digitalization of the educational process are characterized. The peculiarities of mastering key concepts, such as relations, graphs, Boolean functions and combinatorial structures, are analyzed, taking into account the influence of interactive educational platforms, educational analytics systems and adaptive electronic resources. The expediency of mathematical modeling of the learning process as a tool for displaying individual educational trajectories and cognitive load parameters is substantiated. The results demonstrate a non-linear relationship between the intensity of use of digital resources and the level of concept assimilation. It has been established that the combination of adaptive test modules with visualization of data structures increases the accuracy of tasks and reduces the time required to form sustainable knowledge. The proposed model enables identifying critical points in the educational process where cognitive barriers arise and making corrections to educational strategies based on predictive assessments. **Conclusions.** The effectiveness of formalized approaches to analyzing educational activity in the digital environment has been established. A model is presented that provides a toolkit for optimizing educational content, improving the quality of specialist training, and justifying management decisions in higher education. The obtained results are of practical importance for*

the development of electronic courses and learning support systems focused on personalized interaction with education seekers.

Keywords: *mathematical modeling, digital learning environment, learning analytics, cognitive processes, adaptive systems, graph theory, educational assessment, intelligent platforms.*

Постановка проблеми. Інтенсивне впровадження цифрових інструментів у закладах вищої освіти змінює характер пізнавальної діяльності здобувачів освіти та механізми розвитку абстрактного мислення. Особливої складності набуває опанування фундаментальних понять дискретної математики, які потребують високого рівня формалізації, логічної узгодженості та здатності оперувати символічними структурами. Наявні освітні практики демонструють нерівномірність освітніх результатів, що зумовлюється відмінностями у швидкості сприйняття матеріалу студентами, рівні їхньої попередньої підготовки, а також специфікою взаємодії з електронними ресурсами.

Актуалізується проблема побудови інструментарію, який дає змогу описувати процес засвоєння знань як динамічну систему з визначеними параметрами, станами та переходами, оскільки традиційні методи контролю не забезпечують достатньої чутливості до змін у структурі знань, що формуються під впливом цифрового середовища. Відсутність формалізованих моделей ускладнює об'єктивне оцінювання освітніх досягнень, прогнозування результатів та своєчасне виявлення когнітивних труднощів.

Значущим завданням постає інтеграція математичного моделювання з аналітикою освітніх даних для виявлення закономірностей засвоєння головних концептів. Потребує обґрунтування вибору адекватних моделей, здатних урахувати нелінійний характер навчальної динаміки, інтенсивність взаємодії здобувачів освіти з електронними платформами й індивідуальні

освітні траєкторії розвитку. Недостатня розробленість зазначених аспектів обмежує можливості підвищення ефективності навчання та оптимізації змісту освітніх програм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання формування знань із дискретної математики, інтеграції математичного моделювання та використання цифрових ресурсів у навчанні активно розглядають у наукових працях вітчизняні й зарубіжні автори.

У дослідженні Л. Комарницької та співавторів [1] розкривається роль міжпредметних зв'язків фундаментальних дисциплін (алгебри, аналізу та дискретної математики) як стратегічного інструменту розвитку логічного мислення та професійної компетентності здобувачів математичної освіти. Інтеграцію методів дослідження операцій і дискретної математики для оптимізації програмних процесів обґрунтовують Т. Бажан, В. Жебка, І. Гніденко та О. Волощук [2], що дає змогу розширити межі впровадження теоретичних конструкцій у прикладному середовищі. Удосконалення математичних компетентностей через засоби моделювання в інтерактивному навчанні описують О. Кравчук та А. Никитюк [3], підкреслюючи значення візуалізації та активної взаємодії з навчальним матеріалом.

Розвиток навичок комп'ютерного моделювання в підготовці майбутніх учителів аналізують О. Семеніхіна та М. Друшляк [4], зосереджуючись на проблемі поєднання алгоритмічного мислення та педагогічної практики. Модель інтеграції математичних та інформатичних знань під час вивчення комбінаторики та статистики пропонує В. Крижановський [5], що сприяє цілісному баченню структур даних і ймовірнісних процесів.

Можливості математичного моделювання як інструменту навчання дискретних структур розглядають Г. Гріфрат (G. Greefrath), Г.-С. Сіллер (H.-S. Siller), К. Форхольтер (K. Vorhölter) та Г. Кайзер (G. Kaiser) [6], визначаючи потенціал міждисциплінарних зв'язків. Особливості викладання та засвоєння

дискретної математики досліджують Дж. Сандефур (J. Sandefur), Е. Локвуд (E. Lockwood), Е. Харт (E. Hart) та Г. Гріфрат (G. Greefrath) [7], акцентуючи на труднощах переходу до абстрактних форм мислення. Використання динамічного програмного забезпечення для моделювання реальних процесів у навчанні окреслює Е. Чекмез (E. Çekmez) [8], демонструючи ефективність інтерактивних середовищ.

Проблеми інтеграції інформаційних технологій у цифрову освіту вивчають О. Шквір (O. Shkvyr), Г. Дудчак (H. Dudchak), Н. Казакова (N. Kazakova), О. Поляновська (O. Polianovska) та Н. Сівак (N. Sivak) [9], обґрунтовуючи необхідність формалізованого опису освітніх процесів. Роль цифрових ресурсів у підтримці навчання математичного моделювання в умовах проблемно-орієнтованого середовища висвітлюють У. Салінас-Ернандес (U. Salinas-Hernández), З.-Я. Кок (Z.-J. Kock), Б. Пепін (B. Pepin), А. Габбана (A. Gabbana), Ф. Тоскі (F. Toschi) та Я. Лазендік-Галлоуей (J. Lazendic-Galloway) [10], демонструючи вплив цифрових інструментів на результативність навчання.

Значення цифрових ресурсів у посиленні математичних навичок студентів аналізують Г.-С. Сіллер (H.-S. Siller), В. Гайгер (V. Geiger) та Г. Гріфрат (G. Greefrath) [11], підкреслюючи роль технологій у формуванні складних когнітивних структур. Вплив цифровізації освіти на професійні орієнтації майбутніх педагогів досліджує Б. Дінчер (B. Dinçer) [12], відзначаючи трансформацію освітнього середовища. Переваги та обмеження використання цифрових технологій у навчанні моделювання систематизують М. Цевікбас (M. Cevikbas), Г. Гріфрат (G. Greefrath) та Г.-С. Сіллер (H.-S. Siller) [13], окреслюючи основні виклики та перспективи.

Застосування різних цифрових інструментів у розв'язуванні задач математичного моделювання описують М. Й. Коюнкая (M. Y. Koyunkaya) та А. Т. Деде (A. T. Dede) [14], що сприяє розвитку варіативності навчальних

стратегій. Актуальні тенденції впровадження цифрових технологій у математичній освіті узагальнюють Й. Енгельбрехт (J. Engelbrecht) та М. К. Борба (M. C. Borba) [15], визначаючи напрями подальших наукових пошуків та трансформації освітніх практик.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень, присвячених використанню цифрових ресурсів у навчанні математичних дисциплін, питання формалізованого опису процесу засвоєння фундаментальних понять дискретної математики залишається недостатньо опрацьованим. Наявні підходи переважно орієнтовані на фіксацію підсумкових результатів або аналіз окремих показників успішності без урахування внутрішньої структури знань і переходів між рівнями їх сформованості.

Не до кінця вивчено механізми відображення когнітивної динаміки студентів у вигляді математичних моделей, здатних інтегрувати часові характеристики навчання, інтенсивність взаємодії з електронними платформами та складність навчального матеріалу. Відсутній узгоджений підхід до визначення параметрів, які характеризують стани розуміння абстрактних об'єктів, а також критеріїв переходу між ними, що ускладнює побудову інструментів прогнозування та адаптації освітніх впливів.

Потребує уточнення питання використання структурних моделей, зокрема графових представлень, для опису взаємозв'язків між базовими поняттями дискретної математики й індивідуальними траєкторіями їх опанування. Наявні напрацювання не забезпечують достатньої деталізації щодо врахування нелінійних ефектів, пов'язаних із накопиченням помилок, перевантаженням робочої пам'яті та фрагментарністю знань.

Обмеженням є застосування аналітики навчальних даних як інструменту верифікації моделей засвоєння. Немає комплексних рішень, які поєднують математичне моделювання з емпіричними даними цифрових освітніх

середовищ у режимі реального часу, що стримує розвиток адаптивних механізмів управління навчальною діяльністю.

Запропоноване дослідження спрямоване на подолання зазначених прогалин через розроблення моделі динаміки засвоєння, яка враховує структурні, часові й індивідуальні характеристики освітнього процесу, а також передбачає можливість практичного застосування для поліпшення точності оцінювання та ефективності освітніх рішень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає у формалізації процесу засвоєння фундаментальних понять дискретної математики через побудову математичної моделі, здатної відображати динаміку формування знань у цифровому освітньому середовищі та забезпечувати аналітичну основу для підвищення ефективності навчання.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- розробити концептуальну модель динаміки засвоєння базових структур дискретної математики з урахуванням когнітивних станів, параметрів складності навчального матеріалу й інтенсивності взаємодії із цифровими ресурсами;
- обґрунтувати методику ідентифікації та оцінювання параметрів моделі на основі даних навчальної аналітики, зокрема встановити критерії переходу між рівнями сформованості знань;
- надати практичні рекомендації щодо використання розробленої моделі для прогнозування результатів навчання, виявлення когнітивних ускладнень та корекції освітніх стратегій у цифровому середовищі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Засвоєння математичних знань у вищій школі характеризується складною внутрішньою організацією, що охоплює поетапне становлення уявлень, узагальнень і формальних операцій. Ефективність освітнього процесу визначається не лише змістовим наповненням дисципліни, але й здатністю здобувачів освіти інтегрувати нову



інформацію у вже утворені когнітивні структури. У цифровому освітньому середовищі вказаний процес набуває нових характеристик, пов'язаних із варіативністю каналів подання матеріалу, інтенсивністю взаємодії з навчальними ресурсами та можливістю фіксації навчальних дій у вигляді даних.

Фундаментальні поняття дискретної математики є основою для побудови формальних моделей і алгоритмічних рішень. До базових елементів належать множини, відношення, функції, графові структури, булеві операції та комбінаторні схеми [2, с. 536]. Їх засвоєння потребує переходу від інтуїтивного сприйняття до чітко структурованого мислення, орієнтованого на символічне подання та логічну узгодженість. Важливою ознакою є здатність встановлювати зв'язки між елементами й оперувати ними відповідно до заданих правил.

Процес формування знань у межах зазначених категорій відбувається поетапно й супроводжується зміною рівнів розуміння. Початковий рівень відтворює окремі визначення без глибокого усвідомлення взаємозв'язків. Наступні етапи передбачають інтеграцію понять у цілісні структури та використання їх у задачах різної складності. Динаміка такого переходу має нелінійний характер, що зумовлює потребу застосування математичного моделювання для її опису й подальшого аналізу.

Логічне ускладнення процесу набуття знань та варіативність індивідуальних траєкторій спричиняють необхідність формалізованого опису засвоєння навчального матеріалу [3, с. 313]. Виявлення закономірностей переходу між рівнями розуміння потребує побудови узагальненої моделі, яка відображає взаємозв'язок між когнітивними особливостями, структурою навчального контенту та параметрами освітньої взаємодії.

Концептуальна модель динаміки засвоєння базових структур дискретної математики ґрунтується на представленні освітнього процесу як системи

станів, що відповідають різним рівням сформованості знань. Кожний стан характеризується сукупністю параметрів, серед яких виділяють рівень розуміння понять, стабільність відтворення, здатність до застосування в змінених умовах [4, с. 40]. Перехід між станами визначається інтенсивністю навчальної діяльності, складністю матеріалу та частотою взаємодії із цифровими ресурсами.

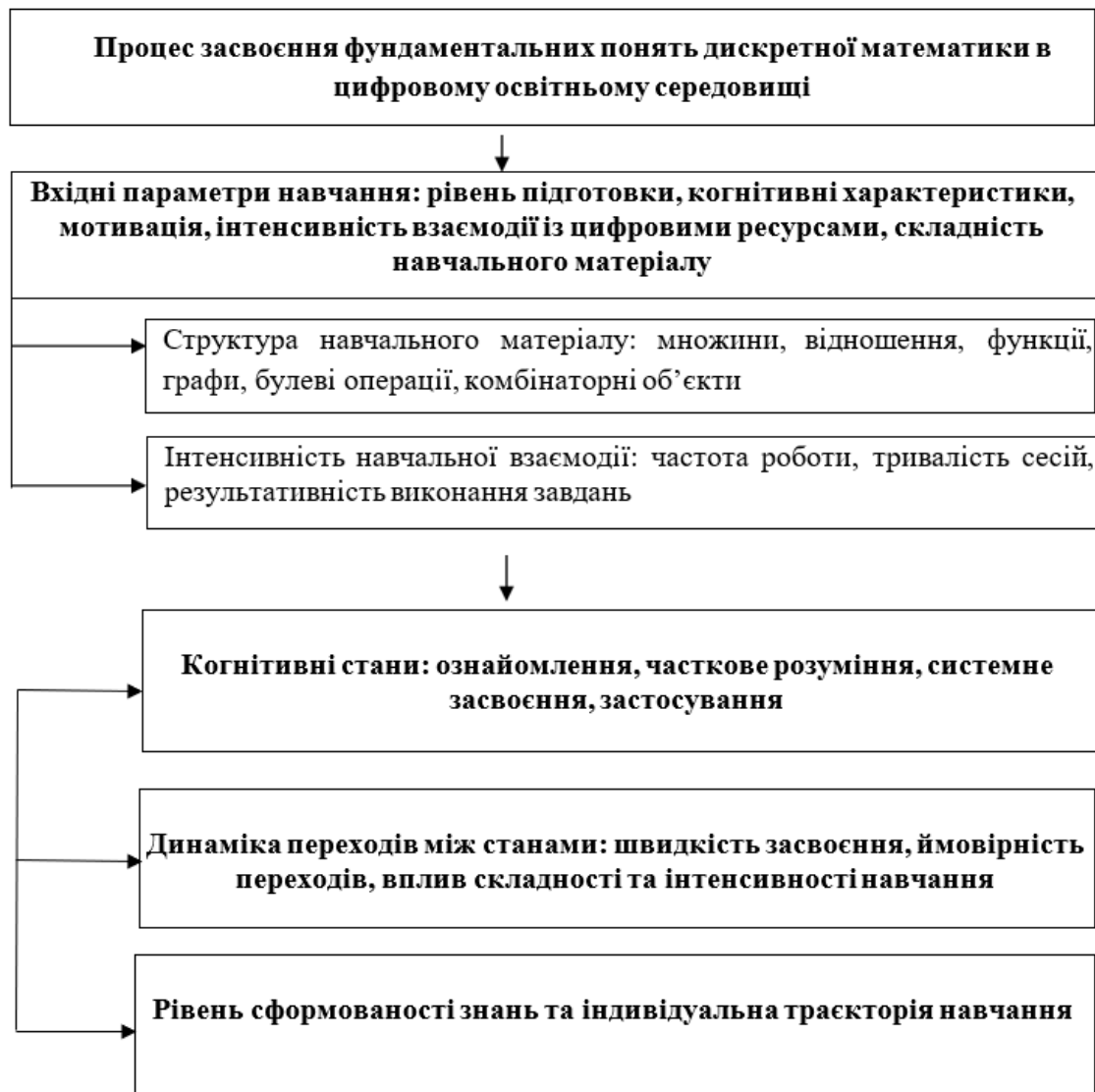
Опис структури навчального контенту реалізується через мережеву модель, у якій фундаментальні поняття подаються у вигляді вузлів, а зв'язки між ними відтворюють логічні та функціональні залежності [5, с. 321]. Така репрезентація дає змогу враховувати послідовність опанування матеріалу та вплив окремих елементів на загальний рівень сформованості знань. Вагові коефіцієнти зв'язків відображають ступінь складності переходу між поняттями та рівень когнітивного навантаження.

Когнітивні стани описуються як змінні, що трансформуються в часі під впливом навчальних дій. Динаміка переходів між ними моделюється з використанням функцій, параметри яких встановлюють швидкість засвоєння, рівень закріплення знань та ймовірність виникнення помилок [6, с. 872]. Інтенсивність взаємодії із цифровими ресурсами враховується через показники активності, тривалості роботи та результативності виконання завдань, що допомагає інтегрувати емпіричні дані в структуру моделі.

На рис. 1 запропоновано модель, яка забезпечує можливість відображення індивідуальних траєкторій навчання, ідентифікації критичних ділянок засвоєння та оцінювання впливу різних факторів на результативність освітнього процесу.

Рисунок 1

Концептуальна модель динаміки засвоєння фундаментальних понять дискретної математики в цифровому освітньому середовищі



Джерело: власна розробка авторів

Представлена модель відображає структуру процесу засвоєння фундаментальних понять дискретної математики в цифровому освітньому середовищі. Початкові характеристики студентів охоплюють рівень базових знань, когнітивні особливості та мотиваційний стан. Значення параметрів визначає стартові умови навчання та закладає підґрунтя для розвитку компетентностей, створюючи індивідуальні траєкторії опанування матеріалу.



Розроблена система дає змогу досліджувати вплив цифрових технологій на процес опанування основ дискретної математики. Використання інтерактивних вправ, електронних курсів і автоматизованих тестів формує потік аналітичної інформації, що слугує базою для оцінювання когнітивного розвитку студентів. Частота взаємодій із платформами та регулярність виконання завдань окреслює швидкість переходів між етапами засвоєння – від первинного знайомства з матеріалом до застосування знань на практиці.

Наступним елементом моделі є система вагових коефіцієнтів, що характеризує взаємозв'язки між поняттями та рівень складності їх засвоєння. Вона враховує залежність нових знань від попередньо сформованих уявлень і дає змогу оцінювати ймовірність виникнення помилок під час виконання завдань. Наприклад, опанування функціональних залежностей є ефективнішим після засвоєння операцій над множинами, тоді як робота з графами потребує більш високого рівня абстрагування та аналітичного мислення.

Оцінювання навчальної динаміки здійснюється на основі сукупності індикаторів, що охоплюють точність виконання завдань, тривалість їх опрацювання, стабільність відтворення понять у повторних перевірках та здатність застосовувати знання в нових навчальних ситуаціях. Вказані показники розглядають як єдину систему характеристик, що відображає стан засвоєння матеріалу на кожному етапі навчання.

Для формалізації зазначених процесів використано узагальнену структуру вагових коефіцієнтів переходів між поняттями та відповідних критеріїв оцінювання, що наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти переходів між поняттями дискретної математики та оцінювання когнітивних станів студентів

Етап засвоєння	Зв'язок між поняттями	Ваговий коефіцієнт	Критерії оцінювання когнітивного стану	Показники ефективності
Ознайомлення	Множини	0,2	Перше виконання завдання, час на опрацювання матеріалу	≥ 50 % правильних відповідей
Часткове розуміння	Множини $\rightarrow$ Функції	0,3–0,4	Здатність відтворювати базові поняття без підказок	60–70 % правильних відповідей
Системне засвоєння	Функції $\rightarrow$ Відношення	0,5	Виконання комплексних вправ, інтеграція декількох понять	≥ 75 % правильних відповідей у повторних тестах
Продуктивне застосування	Відношення $\rightarrow$ Графи	0,6–0,7	Здатність застосувати знання в практичних задачах, проєктних роботах	80–90 % правильних рішень у нових ситуаціях
Інтеграція знань	Множини + Функції + Відношення + Графи	0,8	Створення пов'язаної моделі або рішення комплексних задач	85–95 % успішного виконання комплексних завдань

Джерело: власна розробка авторів

Таблиця 1 показує розподіл навантаження під час освоєння основних понять дискретної математики та виявляє індикатори когнітивного прогресу студентів. Вагові коефіцієнти складності відображають рівень навантаження при переході від однієї теми до іншої: наприклад, опанування множин оцінюється як відносно легке (0,2), тоді як перехід до функцій потребує більшої концентрації (0,3–0,4), а для інтеграції графів і відношень необхідні значні когнітивні ресурси (0,6–0,7). Максимальне значення (0,8) окреслює комплексне поєднання всіх головних тем, що вимагає високого рівня концентрації та узагальнення знань.

Критерії оцінювання стану засвоєння визначають рівень розуміння на кожному етапі: первинне знайомство контролюється через швидкість



здійснення завдань та точність відповідей; часткове розуміння фіксується, коли студенти виконують завдання на 60–70 % правильно; системне засвоєння оцінюється через повторні вправи з точністю понад 75 %, а продуктивне застосування знань реалізується в практичних або проєктних завданнях із показником успішності 80–90 %.

Показники успішності виконання навчальних завдань відображають результативність навчальної діяльності та охоплюють точність відповідей, тривалість опрацювання матеріалу й стійкість відтворення понять під час повторних перевірок. Сукупність зазначених параметрів формується через автоматизований збір даних у цифровому освітньому середовищі та використовується для кількісного оцінювання перебігу засвоєння.

Аналіз отриманих значень дає змогу виявляти ускладнення під час опанування окремих тем і встановлювати етапи зниження результативності. На основі такої інформації здійснюється корекція послідовності подання навчального матеріалу та добір завдань відповідно до індивідуальних результатів здобувачів освіти. Формування індивідуальних освітніх траєкторій є завершальним етапом функціонування моделі, що ґрунтується на інтерпретації накопичених показників.

Імовірнісне описання переходів між когнітивними станами забезпечує прогнозування темпів освоєння нових понять і визначення моментів, що потребують додаткового опрацювання. Параметри моделі враховують складність навчального матеріалу, частоту допущених помилок і час виконання завдань, що дає змогу оцінювати подальший перебіг освітнього процесу.

Інтеграція моделі динаміки засвоєння в цифрове освітнє середовище забезпечує візуалізацію навчального прогресу за допомогою аналітичних панелей, графічних відображень і теплових карт. Отримані відомості викладач



використовує для ухвалення обґрунтованих рішень щодо корекції освітнього процесу, уточнення змісту занять і добору навчальних матеріалів.

Узагальнення результатів на рівні академічної групи дає змогу виявляти типові труднощі опанування навчального матеріалу та визначати теми, що потребують додаткового пояснення. Використання такої інформації сприяє розробленню цільових навчальних ресурсів і підвищенню якості освіти.

Для поліпшення ефективності освітнього процесу рекомендовано впровадити модуль інтерактивного прогнозування, який аналізує траєкторії навчання та автоматично формує персоналізовані сценарії корекції. На основі отриманих даних система може пропонувати додаткові вправи або альтернативні методи пояснення складних тем, оцінювати готовність студента до переходу на наступний рівень та виділяти потенційно проблемні поняття ще до їх формального опанування.

Додатково рекомендовано інтегрувати аналітичні панелі для викладачів, що дають змогу відстежувати групову динаміку, визначати закономірності помилок та планувати адаптивні навчальні стратегії. Використання таких інструментів сприятиме зменшенню когнітивних затримок, підвищенню точності прогнозів щодо результатів освоєння матеріалу та формуванню більш гнучких і персоналізованих шляхів розвитку компетентностей у цифровому середовищі.

Висновки. Запропонована концептуальна модель забезпечує формалізований опис процесу засвоєння основних понять дискретної математики в цифровому освітньому середовищі та дає змогу враховувати взаємозв'язок між рівнем розуміння навчального матеріалу, темпами його опанування та параметрами взаємодії здобувачів освіти з електронними ресурсами. Використання системи показників, що охоплює точність виконання завдань, час опрацювання матеріалу та стабільність відтворення знань, створює основу для кількісного аналізу навчальної динаміки.



Доведено, що застосування вагових коефіцієнтів переходів між поняттями та критеріїв оцінювання когнітивних станів передбачає можливість виявлення проблемних етапів та визначення ділянок ускладненого засвоєння навчального матеріалу. Впровадження аналітичних засобів цифрового освітнього середовища допомагає здійснювати моніторинг показників навчальної діяльності та використовувати їх для корекції послідовності подання навчального контенту.

Отримані результати підтверджують доцільність використання формалізованих моделей для аналізу процесу навчання, побудови індивідуалізованих освітніх траєкторій та підвищення обґрунтованості педагогічних рішень у цифровому освітньому середовищі.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання впливу різноманітних форматів цифрового контенту та інтерактивних методів навчання на розвиток стійких компетентностей, а також на розширення інструментів аналізу когнітивних затримок. Важливим напрямом є вдосконалення алгоритмів персоналізації освітніх траєкторій, створення систем прогнозування складних когнітивних ділянок та інтеграція аналітичних панелей для моніторингу групових результатів.

Список використаних джерел

1. Комарницька Л., Матурін Ю., Хаць Р. Міжпредметні зв'язки фундаментальних математичних дисциплін (алгебри, аналізу, логіки, дискретної математики) у підготовці вчителя математики. *Наукові інновації та передові технології*. 2026. № 2(54). С. 1525–1535. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-2\(54\)-1525-1535](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-2(54)-1525-1535)
2. Бажан Т., Жебка В., Гніденко І., Волощук О. Інтеграція методів дослідження операцій і дискретної математики для оптимізації процесів у програмному забезпеченні операційних систем. *Кібербезпека: освіта, наука,*

техніка. 2025. Т. 2, № 30. С. 531–542. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.30.991>.

3. Кравчук О., Никитюк А. Формування математичних компетентностей під час використання моделювання в інтерактивному навчанні на уроках математики. *Математика, інформатика, фізика: наука та освіта*. 2025. Т. 2, № 2. С. 309–317. DOI: <https://doi.org/10.31652/3041-1955-2025-02-02-14>.

4. Семеніхіна О., Друшляк М. Формування у майбутніх учителів математики навичок комп'ютерного моделювання у процесі розв'язування текстових задач. *Фізико-математична освіта*. 2022. Т. 34, № 2. С. 38–42. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-034-2-006>.

5. Крижановський В. Модель інтеграції математики та інформатики під час вивчення елементів комбінаторики та статистики в старшій школі. *Математика, інформатика, фізика: наука та освіта*. 2026. Т. 2, № 2. С. 318–326. DOI: <https://doi.org/10.31652/3041-1955-2025-02-02-15>.

6. Greefrath G., Siller H.-S., Vorhölter K., Kaiser G. Mathematical modelling and discrete mathematics: opportunities for modern mathematics teaching. *ZDM – Mathematics Education*. 2022. Vol. 54. P. 865–879. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01339-5>.

7. Sandefur J., Lockwood E., Hart E., Greefrath G. Teaching and learning discrete mathematics. *ZDM – Mathematics Education*. 2022. Vol. 54. P. 753–775. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01399-7>.

8. Çekmez E. Using dynamic mathematics software to model a real-world phenomenon in the classroom. *Interactive Learning Environments*. 2020. Vol. 28, № 4. P. 526–538. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674882>.

9. Shkvyr O., Dudchak H., Kazakova N., Polianovska O., Sivak N. Mathematical modeling of information technology integration in digital education: a regional perspective. *International Journal of Information and Communication*

Technology Education. 2023. Vol. 28. P. 603–610. DOI: <https://doi.org/10.18280/isi.280308>.

10. Salinas-Hernández U., Kock Z.-J., Pepin B., Gabbana A., Toschi F., Lazendic-Galloway J. Digital resources in support of students with mathematical modelling in a challenge-based environment. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, № 9. 1123. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15091123>.

11. Siller H.-S., Geiger V., Greefrath G. The role of digital resources in mathematical modelling in extending mathematical capability. Handbook of digital resources in mathematics education / eds B. Pepin, G. Gueudet, J. Choppin. Springer, Cham. 2024. P. 495–518. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45667-1_18.

12. Dinçer B. Digitalization in mathematics education: how distance and online learning shape pre-service teachers' career perceptions. *Frontiers in Education*. 2025. Vol. 10. 1639893. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1639893>.

13. Cevikbas M., Greefrath G., Siller H.-S. Advantages and challenges of using digital technologies in mathematical modelling education – a descriptive systematic literature review. *Frontiers in Education*. 2023. Vol. 8. 1142556. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1142556>.

14. Koyunkaya M. Y., Dede A. T. Using different digital tools in designing and solving mathematical modelling problems. *Education and Information Technologies*. 2024. Vol. 29. P. 19035–19065. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12577-3>.

15. Engelbrecht J., Borba M. C. Recent developments in using digital technology in mathematics education. *ZDM – Mathematics Education*. 2024. Vol. 56. P. 281–292. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01530-2>.