



КОНДРАТЕНКО ТЕТЯНА ВОЛОДИМИРІВНА,

кандидатка педагогічних наук, старша викладачка кафедри освітніх, математичних наук та інформатики, Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

Tetiana Kondratenko,

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Educational Mathematical Sciences and Informatics, Institute of Electrical Engineering and Information Technologies, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

E-mail: tetainakondratenko@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8177-8433>

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У STEM-ОРІЄНТОВАНОМУ НАВЧАННІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ І МАТЕМАТИКИ

А Досліджується методика інтеграції штучного інтелекту (ШІ) в STEM-орієнтоване навчання комп'ютерної математики під час підготовки майбутніх учителів інформатики та математики. Обґрунтовано роль ШІ як одного з векторів розвитку сучасної освіти, що забезпечує персоналізацію навчання та автоматизацію оцінювання.

Розглянуто потенціал генеративного штучного інтелекту для візуалізації складних математичних моделей і розв'язання прикладних інженерних задач у середовищі систем комп'ютерної математики. Акцентовано увагу на формуванні ШІ-компетентності педагогів як критичного складника роботи в Новій українській школі. Визначено переваги та етичні виклики впровадження великих мовних моделей у підготовку вчителів природничо-математичного профілю. Доведено, що інтелектуальні системи сприяють розвитку критичного мислення та здатності до розв'язання міждисциплінарних проблем. Окреслено перспективи використання імерсивних технологій та інтелектуальних агентів як партнерів у навчанні.

Ключові слова: штучний інтелект; STEM-освіта; комп'ютерна математика; фахова підготовка вчителів; інженерне мислення; персоналізація

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN STEM-ORIENTED TEACHING OF COMPUTER MATHEMATICS FOR FUTURE TEACHERS OF INFORMATICS AND MATHEMATICS

The article examines the methodology for integrating Artificial Intelligence (AI) into STEM-oriented computer mathematics education during the professional training of future teachers of informatics and mathematics. The role of AI is substantiated as a fundamental element of modern education that ensures personalized learning and automated assessment. The potential of generative AI for visualizing complex mathematical models and solving applied engineering problems within computer algebra systems is examined. Emphasis is placed on developing the AI competency of educators as a critical component for professional practice within the New Ukrainian School framework. The study identifies the advantages and ethical challenges of implementing large language models in the training of science and mathematics teachers. It is demonstrated that intelligent systems foster the development of critical thinking and the ability to solve complex interdisciplinary problems. Finally, the prospects for using immersive technologies and intelligent agents as learning partners are outlined.

Keywords: artificial intelligence; STEM education; computer mathematics; professional teacher training; engineering thinking; personalization

Актуальність проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.

Сучасний етап розвитку високотехнологічного суспільства характеризується стрімким упровадженням штучного інтелекту, який визнано найфундаментальнішою технологією з часів появи Інтернету. Актуальність проблеми зумовлена необхідністю підготовки вчителів інформатики та математики, здатних використовувати штучний інтелект як стратегічний інструмент у межах STEM-підходу для подолання розриву між теоретичним навчанням і прикладними задачами [1].

Упровадження інтелектуальних систем у навчання комп'ютерної математики дозволяє реалізовувати персоналізовані освітні траєкторії, що є актуальним в умовах обмеженості ресурсів. Практичне значення дослідження

полягає у розробленні методичних підходів, що дозволяють штучному інтелекту виступати «партнером у навчанні», який розвиває інженерне мислення майбутніх учителів. Зв'язок із практичними завданнями полягає у формуванні в майбутніх учителів навичок промпт-інжинірингу та критичного аналізу результатів генерування штучним інтелектом, що є необхідним для підготовки учнів до життя у високотехнологічному суспільстві. Це безпосередньо корелюється з державними стратегіями цифровізації та Концепцією розвитку STEM-освіти до 2027 року, вимагаючи від учителів нового рівня цифрової грамотності [7; 11].

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Питанням упровадження STEM-технологій і використання систем комп'ютерної математики в освітній процес закладів

освіти займалися М. Жалдак [3; 4; 5], В. Биков, С. Семеріков, Т. Крамаренко та О. Пилипенко [9] створили навчально-методичний посібник «Математика в STEMi» щодо застосування проєктних технологій та міжпредметних зв'язків для навчання математики. В. Михалевич, О. Тютюнник досліджували саме використання систем комп'ютерної математики (зокрема, Maple, Mathematica) для ефективного викладання лінійного програмування студентам закладів вищої освіти. Проблему підготовки майбутніх учителів до впровадження STEAM-освіти за допомогою інноваційних моделей навчання досліджували Н. Морзе, В. Вембер, М. Бойко, Л. Варченко-Троценко [10]. Н. Морзе, О. Струтинська пропонують модель STEAM-компетентностей майбутніх учителів інформатики, яка враховує вплив штучного інтелекту. Ця модель передбачає перехід від традиційних методів навчання до активних методологій, як-от: проєктна діяльність, міждисциплінарна співпраця та використання інтерактивних технологій.

Традиційні підходи до навчання комп'ютерної математики, що базуються на класичних методичних системах [12, с. 45], у сучасних умовах цифрової трансформації потребують доповнення інструментами штучного інтелекту. Питаннями моделювання освітніх процесів і впровадження інтелектуальних систем приділено увагу в роботах Т. Кондратенко, А. Горпинченко [8].

Означені вчені зробили вагомий внесок у розвиток сучасних підходів до викладання точних наук, інтегруючи технології в освітній процес. Стрімка поява генеративного штучного інтелекту актуалізувала новий напрям досліджень, представлений у роботах закордонних учених С. Вольфрам (S. Wolfram) та Р. Лакін (R. Luckin).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Проте методика інтеграції інструментів штучного інтелекту з традиційними системами комп'ютерної математики в розрізі STEM-підходу в процесі фахової підготовки майбутніх учителів інформатики, математики залишається недостатньо висвітленою [2; 13]. Зокрема, потребує деталізації алгоритм реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів, де штучний інтелект виступає засобом автоматизації складних обчислень і моделювання прикладних задач. Саме розроблення практичних рекомендацій щодо поєднання можливостей генеративного штучного інтелекту та комп'ютерної математики для формування фахових компетентностей майбутніх учителів інформатики та математики є предметом нашого дослідження.

Метою статті є теоретичне обґрунтування та розроблення методичних засад використання інструментів штучного інтелекту у процесі навчання комп'ютерної математики майбутніх учителів інформатики та математики на засадах STEM-підходу.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання наступних **завдань**:

- проаналізувати дидактичний потенціал генеративного штучного інтелекту в поєднанні з системами комп'ютерної математики;
- визначити етапи реалізації інтегрованих STEM-проєктів

із використанням ШІ-асистентів;

- на прикладах продемонструвати ефективність запропонованих методів для формування фахових компетентностей майбутніх учителів інформатики, математики.

Очікується, що запропонована методика дозволить оптимізувати процес математичного моделювання та підвищити рівень технологічної готовності майбутніх педагогів до роботи в умовах цифрової трансформації освіти.

Для досягнення мети дослідження використано комплекс **методів**: теоретичні (аналіз наукових джерел для визначення потенціалу штучного інтелекту в STEAM-освіті); практичні (моделювання алгоритмів використання ШІ-інструментів у середовищі комп'ютерної математики); емпіричні (педагогічне спостереження за навчальною діяльністю майбутніх учителів інформатики, математики та анкетування для оцінки ефективності запропонованого підходу).

Викладення основного матеріалу дослідження. Штучний інтелект в умовах сьогодення є фундаментальною основою сучасної STEAM-освіти. Адже у 2025 році ШІ перестав бути футуристичною концепцією, перетворившись на базову платформу для реалізації STEM-проєктів [6]. Штучний інтелект забезпечує аналіз великих даних освітнього процесу, дозволяючи вчителям ефективніше виконувати ролі фасилітаторів та оцінювачів.

Для майбутніх учителів математики та інформатики штучний інтелект відкриває наступні можливості:

- персоналізована підтримка – адаптивні платформи, що надають миттєвий зворотній зв'язок і виявляють прогалини в розумінні складних математичних концепцій;
- інтелектуальне тьюторство – використання чат-ботів для підтримки студентів під час роботи над кодом у системах комп'ютерної математики або під час вирішення задач із математичного аналізу;
- автоматизація рутинної роботи – вивільнення часу роботи вчителя шляхом автоматизації перевірки стандартних обчислень на користь творчої проєктної діяльності.

Застосування нечіткої логіки дозволяє враховувати невизначеність в оцінюванні STEM-компетентностей, що було детальніше розглянуто авторами раніше [8].

Генеративний штучний інтелект (GenAI) відкриває нові горизонти для викладання комп'ютерної математики у системах Computer Algebra Systems (CAS) та Dynamic Geometry Systems (DGS). Використання великих мовних моделей Large Language Model (LLM) дозволяють здобувачам освіти отримувати покрокові пояснення та візуалізації для складних тем.

Порівняємо класичний і генеративний штучний інтелект в освітньому процесі, що забезпечує перехід когнітивного партнерства (табл. 1).

Аналіз таблиці 1 свідчить про зміну парадигми: якщо класичний ШІ виступав як інструмент контролю та оптимізації, то генеративний ШІ стає інструментом мислення та візуалізації. Це дозволяє студенту змістити акцент із пошуку правильної відповіді на дослідження структури самої задачі.

Розглянемо трансформацію навчання складних тем у процесі фахової підготовки майбутніх учителів інформатики та математики (табл. 2).

Порівняння класичного та GenAI в освітньому процесі

Характеристика	Класичний ШІ (Традиційний)	Генеративний ШІ (GenAI / LLM)
Основна функція	Аналіз даних та класифікація	Генерація нового контенту (текст, код, моделі)
Роль в освіті	Автоматизована перевірка та оцінювання	Персоналізований тьютор, «міст» до візуалізації
Взаємодія	Формальні алгоритмічні запити.	Природна мова (діалоговий режим).
Результат	Готова відповідь або оцінка	Розуміння шляху вирішення та пояснення логіки

Трансформація навчання складних тем

Сфера / Тема	Математичний фундамент	Застосування в інформатиці	Роль GenAI + Візуалізація
Лінійна алгебра	Матричні перетворення, вектори	Рендеринг 3D-графіки, ігрові рушії	Створює код, де зміна матриці в реальному часі крутить 3D-модель об'єкта
Теорія графів	Зв'язність, матриці суміжності	Маршрутизація мереж, соцмережі, бази даних	Покрокова анімація алгоритмів (наприклад, Дейкстри) зі зміною ваги ребер «на льоту»
Криптографія	Теорія чисел, модульна арифметика	Шифрування даних (RSA), кібербезпека	Пояснює абстрактні формули через інтерактивні схеми «замок-ключ» та генерацію коду
Чисельні методи	Наближені обчислення, інтегрування	Data Science, моделювання фізичних процесів	Візуалізація методу Монте-Карло або градієнтного спуску через ігрові симуляції

Отже, враховуючи дані таблиці 2, за рахунок означеної трансформації:

- складність виконання завдань зменшується – GenAI бере на себе роль перекладача з «мови формул» на «мову логіки та програмного коду»;

- продуктивність виконання завдань зростає – замість механічного розв'язання численних прикладів на папері, студент фокусується на створенні однієї цілісної моделі або програми;

- міждисциплінарність набуває рис цілісності – межа між математикою та інформатикою розмивається, формуючи майбутнього педагога із системним баченням цифрового світу.

Трансформація STEM-освіти під впливом ШІ виходить за межі простої автоматизації завдань. Вона охоплює зміну способів формування наукового мислення, пропонуючи динамічні та інтерактивні методи оцінювання, а також

зворотний зв'язок у реальному часі, адаптований до потреб кожного студента. Це дозволяє перейти від стандартизованого навчання до гнучких траєкторій, де просунуті студенти можуть прискорюватися, а ті, хто потребує допомоги, отримують її негайно. Комп'ютерна математика виступає ядром фахової підготовки майбутніх учителів інформатики та математики, бо є інтегративною дисципліною, що поєднує теоретичні математичні знання з інформаційними технологіями моделювання. Метою її викладання є оволодіння системами комп'ютерної математики для розв'язання прикладних математичних задач і засвоєння фундаментальних основ інформатики.

Формування професійних компетентностей майбутнього учителя інформатики, математики в процесі вивчення комп'ютерної математики відбувається поетапно, що дозволяє поступово нарощувати складність інструментарію та глибину аналізу (рис. 1):



Рис. 1. Синергія формування фахових і професійних компетентностей майбутнього учителя інформатики, математики

Вивчення курсів комп'ютерної математики з використанням систем комп'ютерної математики (Maxima, Mathematica, Maple або Python-бібліотек) сприяє формуванню системного мислення та навичок комп'ютерного моделювання, що є критично важливим для реалізації міжпредметних зв'язків

у STEM-навчанні. Основні методичні особливості фахової підготовки майбутніх учителів інформатики та математики у контексті використання технологій штучного інтелекту систематизовано та представлено на рис. 2:

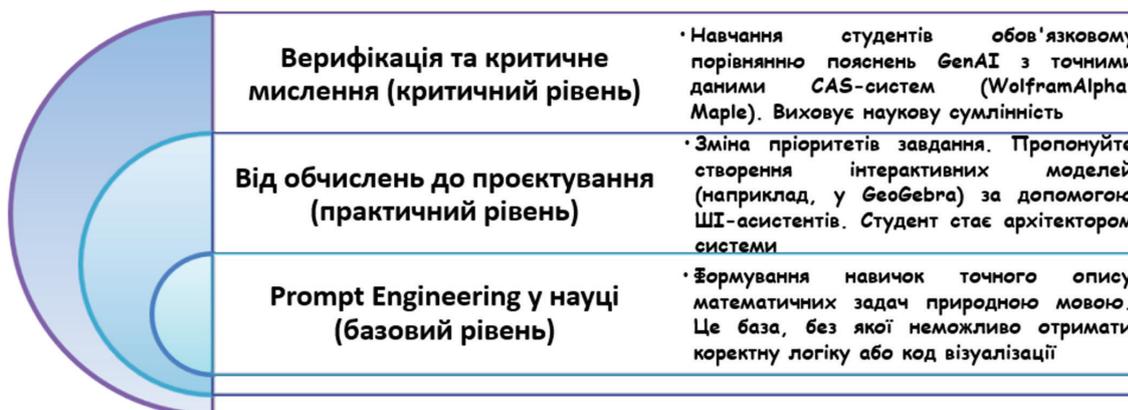


Рис. 2. Методичні особливості фахової підготовки майбутніх учителів інформатики, математики в умовах інтеграції ШІ

Розглянемо практичний кейс із задачею оптимізації як теорія (градієнтний спуск) перетворюється на функціональний програмний код і функціональний програмний код за допомогою GenAI. Враховуємо, що градієнтний спуск – це ітераційний алгоритм оптимізації, призначений для знаходження локального або глобального мінімуму функції втрат (cost function). У контексті ШІ цей процес дозволяє моделі «вчитися», поступово коригуючи свої внутрішні параметри для мінімізації помилок.

Щоб знайти мінімум функції $f(x) = x^2$ за допомогою алгоритму градієнтного спуску, враховуємо, що алгоритм

починається з довільної точки x_0 й оновлює її на кожному кроці згідно з правилом:

$$x_{n+1} = x_n - \eta \cdot \nabla f(x_n), \text{ де}$$

x_n – поточне значення параметра;

η – швидкість навчання, що визначає розмір кроку;

$\nabla f(x_n)$ – градієнт (похідна) функції у точці x_n який вказує напрямок найшвидшого зростання функції.

Знак «-» забезпечує рух у напрямку, протилежному градієнту, тобто в бік найшвидшого спадання функції.

Наведемо приклад коду на мові Python для пошуку мінімуму квадратичної функції $f(x) = x^2$ (рис. 3):

```
def gradient_descent(df, initial_x, learning_rate, iterations):
    """
    Реалізація градієнтного спуску для одновимірної функції.

    :param df: функція, що обчислює похідну
    :param initial_x: початкова точка
    :param learning_rate: швидкість навчання
    :param iterations: кількість ітерацій
    :return: знайдений мінімум
    """
    x = initial_x
    for i in range(iterations):
        # Обчислення градієнта
        grad = df(x)

        # Оновлення значення x
        x = x - learning_rate * grad

        # Вивід проміжних результатів (опціонально)
        print(f"Ітерація {i+1}: x = {x:.4f}, f'(x) = {grad:.4f}")

    return x
```

```
# Визначення похідної функції f(x) = x^2 (похідна: 2x)
derivative = lambda x: 2 * x

# Параметри алгоритму
start_point = 2.0
lr = 0.1
n_steps = 20

# Запуск алгоритму
result = gradient_descent(derivative, start_point, lr, n_steps)

print(f"Знайдений мінімум: (result:.6f)")
```

Рис. 3. Приклад коду на мові Python для пошуку мінімуму функції $f(x) = x^2$

Використання цього алгоритму у поєднанні з GenAI дозволяє студентам:

1. Досліджувати збіжність: змінюючи learning_rate, спостерігати за швидкістю знаходження мінімуму або

розбіжністю алгоритму.

2. Автоматизувати візуалізацію: GenAI може миттєво доповнити цей код бібліотеками matplotlib або plotly для створення анімованих графіків (рис. 4).

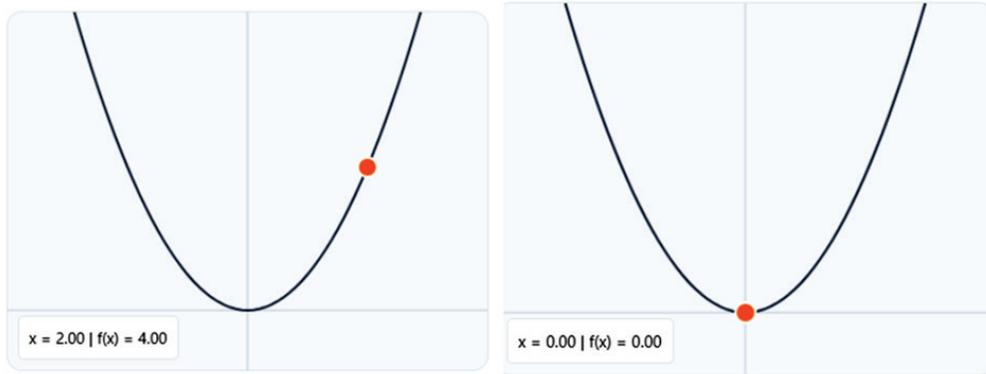


Рис. 4. «Скочування» точки в мінімум

Джерело: сформовано автором за допомогою GenAI та JavaScript Canvas

Діями майбутнього вчителя інформатики, математики при цьому стають наступні кроки:

Крок 1. GenAI пояснює формулу оновлення:

$$x = x - \eta \cdot f'(x).$$

Крок 2. Здобувач освіти просить написати код на JavaScript для візуалізації процесу «скочування» точки в мінімум з використанням для візуалізації Canvas (рис. 5):

```
const canvas = document.getElementById('canvas');
const ctx = canvas.getContext('2d');

let currentX = 2.5; // Початкове наближення
const learningRate = 0.1; // Швидкість навчання (step size)
const targetEpsilon = 0.001; // Попіг збіжності

/**
 * Математичне ядро
 */
const f = (x) => x * x; // Цільова функція
const df = (x) => 2 * x; // Похідна (градієнт)

/**
 * Функція масштабування координат для Canvas
 */
const toCanvasX = (x) => canvas.width / 2 + x * 100;
const toCanvasY = (y) => canvas.height - 70 - y * 35;
```

```
/**
 * Основний цикл анімації градієнтного спуску
 */
function performGradientDescent() {
  // 1. Обчислення поточного градієнта
  const gradient = df(currentX);

  // 2. Оновлення параметра за формулою: x = x - η * Vf(x)
  currentX = currentX - learningRate * gradient;

  // 3. Візуалізація поточної ітерації
  renderFrame();

  // 4. Перевірка умови зупинки (критерій збіжності)
  if (Math.abs(gradient) > targetEpsilon) {
    requestAnimationFrame(performGradientDescent);
  } else {
    console.log("Алгоритм збігся до мінімуму в точці x =", currentX.toFixed(4));
    currentX = 0; // Корекція до ідеального мінімуму
    renderFrame();
  }
}
```

```
/**
 * Рендеринг графічних елементів
 */
function renderFrame() {
  ctx.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);

  // Малювання кривої параболи
  ctx.beginPath();
  ctx.strokeStyle = '#475569';
  for (let i = -3; i <= 3; i += 0.1) {
    const cx = toCanvasX(i);
    const cy = toCanvasY(f(i));
    i === -3 ? ctx.moveTo(cx, cy) : ctx.lineTo(cx, cy);
  }
  ctx.stroke();

  // Малювання об'єкта оптимізації (рухома точка)
  const ballX = toCanvasX(currentX);
  const ballY = toCanvasY(f(currentX));

  ctx.fillStyle = '#f43f5e';
  ctx.beginPath();
  ctx.arc(ballX, ballY, 10, 0, Math.PI * 2);
  ctx.fill();
  ctx.stroke();
}
```

Рис. 5. Код на JavaScript реалізації формули $x = x - \eta \cdot f'(x)$ з візуалізацією процесу «скочування» точки в мінімум

Описаний підхід є критично важливим для STEM-освіти, оскільки він демонструє практичне застосування похідних і векторного числення для розв'язання складних технологічних завдань. Вивчення цього методу дозволяє майбутнім учителям математики та інформатики пояснювати

у чому саме «навчається» ШІ на рівні фундаментальних математичних операцій.

Розглянемо візуалізацію алгоритму градієнтного спуску за допомогою інтерактивної моделі (рис. 6; 7; 8).

Об'єкт дослідження: $f(x) = x^2$, мінімізація через $x_{n+1} = x_n - \eta \cdot \nabla f(x_n)$

Запустити оптимізацію

Скинути

ІТЕРАЦІЯ	ПОТОЧНЕ X	ЗНАЧЕННЯ F(X)	ГРАДІЄНТ
0	2.5000	6.2500	5.0000

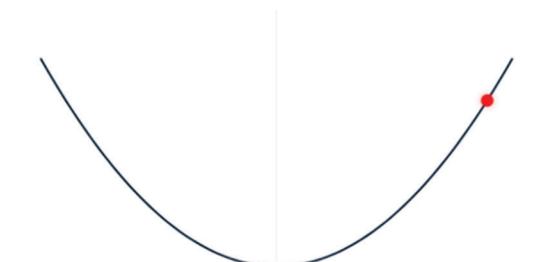


Рис. 6. Початковий стан $x = 2,5$ (вихідна точка на параболі)
Джерело: сформовано автором за допомогою GenAI та JavaScript Canvas

ІТЕРАЦІЯ	ПОТОЧНЕ X	ЗНАЧЕННЯ F(X)	ГРАДІЄНТ
5	0.8192	0.6711	1.6384

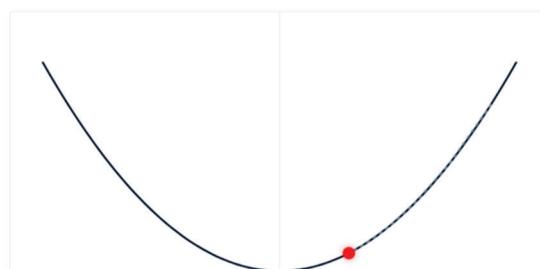


Рис. 7. Процес (динаміка)
Джерело: сформовано автором за допомогою GenAI та JavaScript Canvas

ІТЕРАЦІЯ	ПОТОЧНЕ X	ЗНАЧЕННЯ F(X)	ГРАДІЄНТ
28	0.0048	0.0000	0.0097

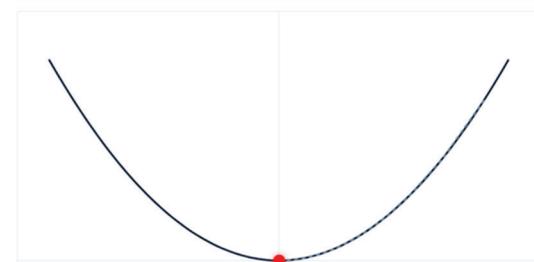


Рис. 8. Фінал (збіжність) – «скочування» точки в мінімум
Джерело: сформовано автором за допомогою GenAI та JavaScript Canvas

Представлені скріншоти на рис. 6; 7; 8 ілюструють етапи роботи розробленої інтерактивної моделі, створеної за допомогою GenAI-інструментарію. Візуалізація дозволяє наочно продемонструвати динаміку мінімізації функції $f(x) = x^2$ та підтверджує наступні методичні аспекти:

1. Початковий етап (рис. 6): фіксація вихідної точки на ландшафті функції. Студенти мають можливість самостійно задавати початкові параметри, що сприяє розумінню впливу вхідних даних на процес оптимізації.

2. Процес ітерацій (рис. 7): наочна демонстрація «кроку» алгоритму. Пунктирна лінія траєкторії та динамічне

оновлення значень градієнта в реальному часі допомагають майбутнім учителям усвідомити математичну суть оператора оновлення вагів: $x_{n+1} = x_n - \eta \cdot \nabla f(x_n)$.

3. Збіжність (рис. 8): досягнення локального мінімуму. Візуальне підтвердження того, як зі зменшенням градієнта зменшується і швидкість руху точки, що ілюструє концепцію збіжності алгоритму.

Використання генеративного ШІ для створення подібних моделей дозволяє майбутнім учителям інформатики та математики не лише отримати робочий програмний код, а й глибше зрозуміти міждисциплінарні зв'язки між

чисельними методами та їхньою програмною реалізацією. Такий підхід трансформує студента з пасивного спостерігача у розробника навчального контенту, що відповідає ключовим вимогам STEM-освіти.

З огляду на вищесказане, варто зазначити про дотримання етичних стандартів і безпеки. Дослідженням пропонується використовувати мнемоніку F.A.S.T.E.R. для формулювання складників етичного впровадження ШІ, а саме:

* **Fair (справедливість):** інструменти не повинні посилювати упередженість або надавати перевагу певним групам учнів (наприклад, тим, хто швидше розв'язує задачі). Важливо забезпечити рівний доступ до технологій для всіх, незалежно від соціально-економічного статусу;

* **Accountable (підзвітність):** учителі несуть відповідальність за контент, згенерований штучним інтелектом. Вони повинні розуміти логіку роботи інструменту та вміти пояснити його рекомендації батькам та учням;

* **Secure (безпека):** інфраструктура повинна відповідати нормам захисту персональних даних. Заклади загальної середньої освіти мають використовувати лише перевірені платформи, які не передають чутливу інформацію про успішність учнів стороннім особам;

* **Transparent (прозорість):** заклади освіти повинні відкрито повідомляти про те, які дані збираються завдяки ШІ та як алгоритми впливають на навчальну траєкторію;

* **Educated (освіченість):** вчителі та учні мають усвідомлювати обмеження ШІ, як-от: «галюцинації» та нездатність до справжнього критичного мислення;

* **Relevant (релевантність):** ШІ потрібно використовувати лише для досягнення навчальних цілей, а не як заміну фундаментальному навчанню.

У ході дослідження теоретично обґрунтовано та практично перевірено ефективність застосування ШІ у STEM-орієнтованому навчанні комп'ютерної математики майбутніх учителів.

Так, педагогічне спостереження засвідчило, що використання ШІ дозволяє перенести акцент з механічного виконання математичних операцій на етап стратегічного планування та постановки задач. Студенти демонструють

вищий рівень залученості, коли ШІ виступає в ролі інтелектуального асистента для налагодження коду на Python чи інтерпретації складних результатів у WolframAlpha.

Анкетування майбутніх учителів інформатики, математики підтвердило, що STEM-орієнтований підхід підвищує мотивацію до вивчення математичних дисциплін. Близько 88 % респондентів зазначили, що використання ШІ-інструментів допомогло їм краще зрозуміти прикладне значення математичних моделей у реальних проєктах. Попри високу технічну ефективність, дослідженням виявлено необхідність формування у майбутніх учителів навичок верифікації результатів, згенерованих ШІ. Це підкреслює важливість розвитку критичного мислення як невід'ємного компонента STEM-освіти.

Висновки з даного дослідження. Трансформація методики навчання комп'ютерної математики під впливом генеративного штучного інтелекту є закономірним етапом розвитку STEM-освіти. Це відкриває широкі можливості для персоналізації навчальної траєкторії, підвищення пізнавальної залученості майбутніх учителів і візуалізації складних наукових концепцій. Проте успішність такої інтеграції визначається не лише обчислювальною потужністю алгоритмів, а й готовністю учителя інформатики, математики до нової ролі – критичного провідника та аналітика у високотехнологічному освітньому середовищі.

За цих умов майбутній учитель математики та інформатики має стати «ШІ-грамотним» фахівцем, який володіє навичками промпт-інжинірингу, методами верифікації згенерованих даних і розумінням етичних аспектів автоматизації. Дослідженням доведено, що системне використання інструментарію штучного інтелекту в межах курсу комп'ютерної математики формує готовність майбутніх учителів до впровадження інновацій у закладах середньої освіти, що є ключовим фактором їхньої професійної конкурентоспроможності.

Перспективи подальших розвідок. Наступні етапи дослідження доцільно спрямувати на вивчення того, як систематичне використання штучного інтелекту впливає на якість засвоєння математичних знань у довгостроковій перспективі. Окремої уваги потребує розроблення зрозумілих критеріїв і тестів, які дозволять об'єктивно оцінити готовність сучасного вчителя до ефективної роботи з інтелектуальними технологіями в освітньому процесі.

Список використаних джерел

1. Валько Н. В. Система підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM технологій у професійній діяльності : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Класичний приватний ун-т. Запоріжжя, 2020. 510 с.
2. Гончарова Н. О. Формування STEAM-компетентностей в учасників освітнього процесу: цифрова компетентність вчителя. 2021. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/728693/1/HONCHAROVA_Digital_2021.pdf.
3. Жалдак М. І. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання – становлення і розвиток. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2010. Вип. 9 (16). С. 3–9. URL: <https://enpuir.edu.ua/entities/publication/24dc2770-b8cd-4a13-8b68-2db8b571445e>.
4. Жалдак М. І., Горошко Ю. В., Винниченко Є. Ф. Математика з комп'ютером : посіб. для вчителів. 3-тє вид. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2015. 308 с.
5. Жалдак М. І. Проблеми фундаменталізації змісту навчання інформатичних дисциплін в педагогічних університетах. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2015. № 17. С. 3–15. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu_2_2015_17_3.
6. Інтеграція штучного інтелекту в освіту – виклики та можливості : зб. тез наук.-метод. допов. (Київ, 10 грудня 2024 р. – 20 січня 2025 р.). Київ ; Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2025. 968 с.
7. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) : розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 960-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>.

8. Кондратенко Т. В., Горпинченко А. О. Аналіз та моделювання освітніх систем на основі нейронних мереж та нечіткої логіки. *Теоретико-методологічні основи розвитку освіти та управлінської діяльності*: матеріали ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. (4 грудня 2025 р., м. Херсон) / за ред.: В. В. Кузьменка, Н. В. Слюсаренко. Херсон: КВНЗ «ХАНО», 2025. С. 175–179.
9. Крамаренко Т. Г., Пилипенко О. С. Математика в STEMі: навч.-метод. посіб. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 274 с.
10. Морзе Н. В., Вембер В. П., Бойко М. А., Варченко-Троценко Л. О. Організація STEAM-занять в інноваційному класі. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2020. Вип. 8. С. 88–106. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeemu_2020_8_11.
11. Стратегія цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 31.12.2024 № 1351-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text>.
12. Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. пр.: у 3 т. Кривий Ріг: Вид. відділ НМетАУ, 2012. Т. 1, вип. X. 326 с.
13. Цифрова трансформація відкритих науково-освітніх середовищ: монографія / за ред.: О. М. Спірина, О. П. Пінчук. Київ, 2024. 308 с.

References

1. Valko, N. V. (2020). *Systema pidhotovky maibutnikh uchyteliv pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin do zastosuvannia STEM tekhnologii u profesinii diialnosti* [The system of training future teachers of natural sciences and mathematics for the use of STEM technologies in professional activities]. (D diss.). Classic Private University. Zaporizhzhia [in Ukrainian].
2. Honcharova, N. O. (2021). *Formuvannia STEAM-kompetentnosti v uchasykyh osvitnoho protsesu: tsyfrova kompetentnist vchytelia* [Formation of STEAM competencies in participants of the educational process: digital competence of the teacher]. Retrieved from https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/728693/1/HONCHAROVA_Digital_2021.pdf [in Ukrainian].
3. Zhaldak, M. I. (2010). *Kompiuterno-orientovani systemy navchannia – stanovlennia i rozvytok* [Computer-oriented learning systems – formation and development]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Dragomanova. Serii 2: Komp'uterno-orientovani systemy navchannia* [Scientific Journal of National Pedagogical Dragomanov University. Series 2: Computer-based learning systems], 9, 3-9. Retrieved from <https://enpuir.edu.edu.ua/entities/publication/24dc2770-b8cd-4a13-8b68-2db8b571445e> [in Ukrainian].
4. Zhaldak, M. I., Horoshko, Yu. V., & Vinnychenko, Ye. F. (2015). *Matematyka z kompiuterom* [Mathematics with a computer]. Kyiv: National Pedagogical Dragomanov Universit [in Ukrainian].
5. Zhaldak, M. I. (2015). *Problemy fundamentalizatsii zmistu navchannia informatychnykh dystsyplin v pedahohichnykh universytetakh* [Problems of fundamentalization of the content of teaching informatics disciplines in pedagogical universities]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Dragomanova. Serii 2: Komp'uterno-orientovani systemy navchannia* [Scientific Journal of National Pedagogical Dragomanov University. Series 2: Computer-based learning systems], 17, 3-15. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu_2_2015_17_3 [in Ukrainian].
6. *Intehratsiia shtuchnoho intelektu v osvitu – vyklyky ta mozhlyvosti* [Integration of artificial intelligence into education – challenges and opportunities]. (2025). Zbirnyk tez nauk.-metod. dopovidei. Kyiv; Lviv; Torun: Liha-Pres [in Ukrainian].
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2020). *Kontseptsiiia rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity)* [Concept of development of natural sciences and mathematics education (STEM-education)]: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.08.2020 № 960-r. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
8. Kondratenko, T. V., & Horpynchenko, A. O. (2025). *Analiz ta modeliuвання osvitnikh system na osnovi neuronnykh merezh ta nechikoi lohiky* [Analysis and modeling of educational systems based on neural networks and fuzzy logic]. In V. V. Kuzmenko, & N. V. Sliusarenko (Eds.), *Teoretyko-metodolohichni osnovy rozvytku osvity ta upravliynskoi diialnosti* [Theoretical and methodological foundations of the development of education and management activities]: materialy IX Vseukr. nauk.-prakt. konf. (pp. 175-179). Kherson: KVNZ «KhANO» [in Ukrainian].
9. Kramarenko, T. H., & Pylypenko, O. S. (2023). *Matematyka v STEMi* [Mathematics in STEM]: navch.-metod. posib. Kryvyi Rih: Kryvyi Rih State Pedagogical University [in Ukrainian].
10. Morze, N. V., Vember, V. P., Boiko, M. A., & Varchenko-Trotsenko, L. O. (2020). *Orhanizatsiia STEAM-zaniat v innovatsiinomu klasi* [Organization of STEAM classes in an innovative classroom]. *Vidkryte osvitnє e-sередovyshe sучasnoho universytetu* [Open Educational E-environment of Modern University], 8, 88-106. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeemu_2020_8_11 [in Ukrainian].
11. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024). *Stratehiia tsyfrovoho rozvytku innovatsiinoi diialnosti Ukrainy na period do 2030 roku* [Strategy for digital development of innovation activity of Ukraine for the period up to 2030]: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 31.12.2024 № 1351-r. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
12. *Teoriia ta metodyka navchannia matematyky, fizyky, informatyky* [Theory and methods of teaching mathematics, physics, informatics]. (2012). Zb. nauk. pr. (Vol. 1, is. X). Kryvyi Rih: Vyd. viddil NMetAU [in Ukrainian].
13. Spirin, O. M., & Pinchuk, O. P. (Eds.). (2024). *Tsyfrova transformatsiia vidkrytykh nauково-osvitnikh seredovysh* [Digital transformation of open scientific and educational environments]: monohrafiia. Kyiv: Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine [in Ukrainian].

**Дата надходження до редакції
авторського оригіналу: 23.01.2026**