18. Kobylnyk, T., Kohut, U., Sikora, O. (2022). Some problemal aspects of teaching the fundamentals of algorithmization and programming in school. *Youth, Market, 201*(3), 97–101.

Пукальський, І., Унгурян, Г., Яшан, Б. Використання штучного інтелектуChatGPT при вивяенні програмування.

Ця робота присвячена дослідженню можливості використання ChatGPT учнями, які починають вивчати мову програмування високого рівня Python та його вплив на результати їх навчання. Основна частина цієї роботи поділена на п'ять етапів. На першому етапі нами було проведено аналіз проблем, які стосуються навчання програмування учнів та виділено основні, такі, як часті відключення електроенергії та проблеми з інтернет-з'єднанням, відсутність необхідних технічних можливостей, а також відсутність особистого спілкування учнів з однокласниками та вчителями. Далі ми проаналізували ризики та недоліки використання ChatGPT при вивченні програмування та виділили основні з них. Це невідповідність коду поставленому завданню, не оптимальність створеного коду та швидке виявлення плагіату при однакових запитах учнів класу. Наступним кроком було здійснено аналіз можливостей використання ChatGPT при вивченні програмування. Підсумувавши всі можливості зрозуміло, що використання ChatGPT у якості інтерактивного довідника мови Python є цінним засобом для швидкого отримання додаткової інформації учнями, а також він є дуже корисним засобом для виправлення помилок у коді учня. На четвертому етапі ми провели експеримент над учнями 7-го класу по використанню чату для вивчення програмування. В результаті дослідження виявлено, що в учнів, які використовували ChatGPT для вивчення мови програмування Python був підвищений рівень мотивації до навчання та вони отримали набагато кращі навчальні досягнення в порівнянні з учнями які не використовували чат. На останньому етапі ми надали рекомендації щодо формулювання ефективних запитів в ChatGPT при вивченні програмування.

Результати підкреслюють, що використання ChatGPT при вивченні програмування стимулює учнів до навчання новому, підвищує рівень їхньої мотивації до у здобутті знань. Також варто пам'ятати про наслідки використання штучного інтелекту в освітньому процесі та проводити різні заходи для запобігання цьому.

Ключові слова: *штучний інтелект, ChatGPT, мова програмування Python.*

Подано до друку 14.10.2025
Прийнято до друку 31.10.2025

УДК [378.016:517]:581
DOI 10.24139/2519-2361/2025.02/160-170

А. І. Римар
ORCID ID 0000-0001-9077-236X
Криворізький державний педагогічний університет

ВИКОРСТАННЯ ІКТ ДО ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЧИСЛОВИХ РЯДІВ НА ПРИКЛАДІ МАТЕМАТИЧНИХ ТРОЯНД

У статті розглянуто використання інформаційно-комунікаційних технологій для візуалізації та генерування числових рядів, пов'язаних із математичними трояндами Гвідо-Гранді, зокрема трипелюстковою та чотирипелюстковою, на основі їхнього розташування всередині правильного трикутника та квадрата відповідно. Показано, як сучасні цифрові інструменти сприяють осмисленню математичних закономірностей через наочні геометричні форми. Проаналізовано геометричні інтерпретації цих рядів.

Візуалізацію математичних троянд здійснено за допомогою програми GeoGebra, що дало змогу дослідити залежність кількості пелюсток від параметрів рівняння. Візуалізацію рядів і геометричних елементів (довжин сторін, периметрів і площ) виконано у Paint 3D. Для виконання обчислень елементів та частинних сум числових рядів *використано онлайн-калькулятори з підтримкою математичних символів та функцій, що дало можливість швидко перевіряти результати та аналізувати збіжність.*

Визначено ряди, що базуються не лише на площах троянд, квадратів та трикутників, усередині яких розміщено квіти, а й на довжинах сторін, периметрах зазначених геометричних фігур. За допомогою цифрових інструментів обчислено загальні й частинні суми рядів, зазначено сигма-моделі, а також рівень складності запропонованих задач. Засобами Microsoft Excel створено інтерактивні діаграми, що відображають залежність частинних сум від кількості елементів, а також виявлено особливості збіжності кожного ряду за ознакою Д'Аламбера. Узагальнені результати представлено у вигляді таблиці, яка систематизує ключові характеристики кожного ряду, забезпечуючи наочність і зручність для подальших досліджень.

Практичну значущість отриманих результатів визначено через їхню інтеграцію у навчальний процес. Використання ІКТ не лише підвищує ефективність візуалізації числових рядів і формує аналітичне мислення студентів, а й стимулює творчий підхід до пізнання. Така цифрова методика поєднує навчальну, дослідницьку та виховну складові, сприяє усвідомленню гармонії між математикою, природою й технологіями.

***Ключові слова:** ІКТ, GeoGebra, Paint 3D, Microsoft Excel, числовий ряд, математичні троянди, геометрична інтерпретація.*

Постановка проблеми. Числові ряди є одним із фундаментальних розділів математичного аналізу, проте їхнє вивчення часто відбувається відокремлено від реальних об'єктів і візуальних уявлень. Традиційні підходи до навчання здебільшого орієнтовані на аналітичні обчислення, що ускладнює розуміння сутності рядів і знижує інтерес студентів до теми. Натомість сучасні інформаційно-комунікаційні технології відкривають широкі можливості для наочного подання числових залежностей, моделювання процесів і створення інтерактивних візуалізацій. Проблема полягає у недостатньому використанні ІКТ для ілюстрації числових рядів через геометричні моделі, зокрема на прикладі математичних троянд, розміщених у різних геометричних фігурах – квадраті та правильному трикутнику. Такі моделі можуть не лише підвищити пізнавальний інтерес, а й продемонструвати гармонійний зв'язок між математикою, природою та цифровими технологіями. Саме тому актуальним є створення й апробація методики візуалізації числових рядів із використанням ІКТ, що сприятиме розвитку аналітичного й просторового мислення студентів, формуванню міжпредметних зв'язків і креативного підходу до навчання.

Аналіз актуальних досліджень. Використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у навчанні математики активно досліджується сучасними науковцями й методистами. Зокрема, Р. Гуревич, А. Гуржій, М. Жалдак, Н. Морзе, О. Спірін [1, с. 128] та інші розкрили сутність цифрової компетентності й окреслили напрями інтеграції ІКТ у професійну підготовку педагогів. У працях В. Бикова, О. Глазунової, М. Шишкіної, С. Литвинової розглянуто проблеми впровадження цифрових технологій у систему вищої освіти, підкреслено роль ІКТ у створенні інноваційного освітнього середовища.

Особливу увагу дослідники (Ю. Жук, О. Кравчина, І. Іванюк, О. Овчарук, Н. Сороко) приділяють аналізу європейського досвіду використання цифрових інструментів для розвитку математичної грамотності, візуалізації навчального матеріалу та формування креативного мислення. У цьому контексті дедалі більшої актуальності набувають візуальні та інтерактивні форми подання математичних понять, які дають змогу пов'язати абстрактні моделі з конкретними образами.

Теоретичне підґрунтя дослідження числових рядів сформували класичні праці Л. Ейлера, Ж. Л. Д'Аламбера, О. Коші, Е. Кумера, Г. Раабе, Я. Бернулі, у яких розроблено методи визначення збіжності та розбіжності [9; 10]. У сучасних роботах, зокрема В. Корольського [3; 4; 5; 6; 7; 8], увага приділяється геометричним аспектам рядів і застосуванню їх у візуальних моделях.

Разом із тим, питання використання ІКТ для візуалізації числових рядів через геометричні образи, зокрема математичні троянди, залишаються недостатньо дослідженими. Поєднання теорії числових рядів із цифровим моделюванням відкриває нові можливості для інтеграції математики, природознавства й цифрового мистецтва. Такий підхід сприяє не лише глибшому розумінню абстрактних понять, а й розвитку дослідницьких і творчих компетентностей студентів.

Мета статті – дослідити можливості використання інформаційно-комунікаційних технологій для візуалізації числових рядів на прикладі математичних троянд і показати, як цифрові інструменти сприяють розвитку просторового мислення та міжпредметних зв'язків, підвищенню мотивації до навчання.

Виклад основного матеріалу. Вивчення числових рядів із використанням геометричної інтерпретації сприяє осмисленню складних аналітичних залежностей через наочні образи. Такий підхід підсилює візуальне сприйняття матеріалу, формує абстрактне мислення та розвиває вміння застосовувати математичні поняття у міждисциплінарних і практичних контекстах. Геометричне моделювання числових рядів дозволяє поєднати аналітичні розрахунки з елементами творчості, що сприяє розвитку пізнавальної мотивації студентів.

У дослідженні значну увагу приділено використанню інформаційно-комунікаційних технологій для створення візуальних моделей, які поєднують математику, естетику та цифрове мистецтво. Програмне середовище *GeoGebra* використано для побудови математичних троянд і дослідження залежності кількості їхніх пелюсток від параметрів аналітичного рівняння. Для подальшого компонування й масштабування отриманих зображень, а також для створення композиційних моделей числових рядів використано *Paint 3D*. Обчислення елементів і частинних сум рядів здійснювалося за допомогою онлайн-калькуляторів та *Microsoft Excel*, що дозволило швидко перевіряти результати та аналізувати збіжність.

Важливе місце в роботі належить задачам, у яких числові ряди утворюються на основі характеристик математичних троянд, розміщених усередині геометричних фігур. Розглянемо приклад такої задачі.

Фабула задачі. Геометрична інтерпретація ряду задана на малюнку 1. Математична троянда, аналітичне задання якої $\rho = 5sin(2\varphi)$, розміщена всередині квадрата зі стороною 8 одиниць довжини. Кожна троянда розміщена у квадраті, вершини якого лежать на серединах сторін іншого квадрата.

Скласти числові ряди та дослідити їх на збіжність за різними ознаками:

1) Ряд довжин сторін квадратів
2) Ряд периметрів квадратів
3) Ряд площ квадратів
4) Ряд довжин математичних троянд
5) Ряд площ математичних троянд

Якщо ряд збіжний, обчисліть його суму та покажіть залежність частинних сум від кількості доданків у вигляді графіка.

Математичними трояндами, або кривими Гвідо-Гранді, називають сімейство кривих, що описуються рівняннями:

$$\rho = asin(n\varphi) \text{ або } \rho = acos(n\varphi).$$

Параметр a визначає довжину пелюсток, а коефіцієнт n – їх кількість і симетрію. Якщо n – парне число, крива має 2 пелюсток, якщо непарне – n. У випадку $\rho = 5\sin(2\varphi)$ отримаємо чотирипелюсткову троянду з радіусом кожної пелюстки 5 одиниць.

Побудова математичної троянди в GeoGebra.

Для побудови моделі використано полярну систему координат. Аналітичний запис $\rho = 5sin(2\varphi)$ введено через функцію *Curve*, що дозволяє отримати плавну симетричну криву. Після побудови застосовано параметричне редагування кольору, заливки та товщини лінії для створення візуальної виразності моделі. Відповідно до значення параметра $n = 2$, отримано чотири пелюстки, розміщені симетрично відносно початку та осей координат.

Візуалізація числового ряду.

Зображення, отримане в *GeoGebra*, було імпортовано до *Paint 3D*, де здійснено масштабування та побудову композиції ряду. Кожна наступна троянда й квадрат розміщувалися з поворотом на 45°, що утворює гармонійну послідовність вкладених фігур (рис. 1). Така модель демонструє ідею нескінченного ряду – як у площинному, так і в числовому сенсі – через зменшення масштабів геометричних елементів.

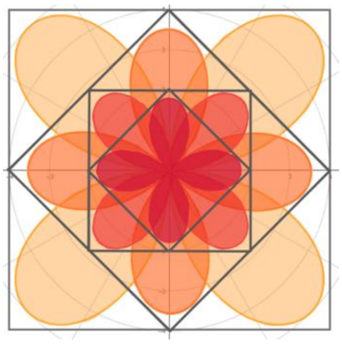


Рис. 1. Геометрична інтерпретація ряду чотирипелюсткових троянд, розміщених всередині квадратів

Отримана модель ілюструє взаємозв’язок між аналітичними, геометричними та числовими характеристиками об’єктів. Застосування ІКТ, зокрема *GeoGebra* та *Paint 3D*, *Microsoft Excel* довело свою ефективність у візуалізації числових рядів, розвитку просторового мислення й формуванні цифрової та математичної компетентностей студентів.

Для обчислення параметрів числових рядів, побудованих на основі математичних троянд, доцільно використовувати онлайн-калькулятори, що підтримують математичні символи, інтеграли та функції. Це дає змогу швидко отримувати точні значення, перевіряти аналітичні залежності та аналізувати збіжність рядів.

Ряд довжин сторін квадратів

Розглянемо квадрат зі стороною 8 одиниць довжини. Кожна троянда, а отже й квадрат, розміщені в квадраті, вершини якого лежать на серединах сторін іншого.

Тоді сторона другого квадрата має довжину $4\sqrt{2}$ од, третього – $2\sqrt{2}\cdot\sqrt{2}$ од. = 4 од., а четвертого - $2\sqrt{2}$ од. і так далі. За допомогою онлайн-калькулятора знайдено загальний член послідовності: $a_n = 8\cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$.

Запишемо послідовність довжин сторін квадратів a_n: $a_1 = 8$, $a_2 = 4\sqrt{2}, a_3 = 4$, $2\sqrt{2}, \cdots, a_n = 8\cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$.

Маємо ряд такого виду: $\sum_{n=1}^{\infty} \quad a_n = \sum_{n=1}^{\infty} \quad 8\cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$

Дослідимо одержаний ряд на збіжність.

Спочатку перевіримо виконання необхідної умови:0

Необхідна умова виконується, а тому ряд сторін квадратів може бути збіжним.

Ряд, отриманий нами – ряд геометричної прогресії, $a_1 = 8$, $q = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Обчислимо суму членів ряду: $S = \frac{a_1}{1-q} = 8\cdot\frac{2}{2-\sqrt{2}} = \frac{16}{2-\sqrt{2}}$.

Модуль знаменника геометричної прогресії менше одиниці, а тому ряд довжин сторін квадратів збіжний.

Ряд периметрів квадратів

Периметр кожного квадрата Р = $4a_n$, тому ряд периметрів має вид: $\sum_{n=1}^{\infty} \quad \mathrm{P}_n = \sum_{n=1}^{\infty} \quad 32\cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$

Дослідимо цей ряд на збіжність. Перевіримо виконання необхідної умови:0 Необхідна умова виконується, а тому ряд периметрів квадратів може бути збіжним.

Ряд, отриманий нами – ряд геометричної прогресії, $\mathrm{P}_1 = 32$, $q = \frac{1}{\sqrt{2}}$. . Обчислимо суму членів ряду: $S = \frac{\mathrm{P}_1}{1-q} = 32\cdot\frac{2}{2-\sqrt{2}} = \frac{64}{2-\sqrt{2}}$.

$|q| < 1$, а тому ряд периметрів квадратів збіжний.

Ряд площ квадратів

Кожен правильний чотирикутник має площу, рівну квадрату довжини його сторони, тому ряд площ має вид: $\sum_{n=1}^{\infty} \quad S_{n\ \text{квадрата}} = \sum_{n=1}^{\infty} \quad 64\cdot 2^{1-n}$.

Дослідимо цей ряд на збіжність. Перевіримо виконання необхідної умови:0 Необхідна умова виконується, а тому ряд площ квадратів може бути збіжним.

Ряд, отриманий нами – ряд геометричної прогресії, $S_{1\text{ квадрата}} = 16$, $q = \frac{1}{2}$. Обчислимо суму членів ряду: $S = \frac{S_{1\text{ квадрата}}}{1-q} = 16 \cdot 2 = 32$

Ряд довжин математичних троянд

Довжина однієї пелюстки троянди, що описується рівняннями $\rho = a\sin(n\varphi)$ *або* $\rho = a\cos(n\varphi)$, обчислюється за формулою:

$$L_{\text{пелюстки}} = \int_0^{\frac{\pi}{n}} \sqrt{\rho^2 + \left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2} d\varphi = a\int_0^{\frac{\pi}{n}} \sqrt{\sin^2(n\varphi) + n^2\cos^2(n\varphi)} d\varphi$$

Дана формула складна аналітично й потребує громіздких обчислень, тому зручно вести обчислення шляхом використання онлайн-калькуляторів.

За умовою задачі троянду задано формулою $\rho = 5\sin(2\varphi)$, тому значення параметрів: $a = 5$, $n = 2$

Обчислимо довжину кривої однієї пелюстки.

$$L_{\text{пелюстки}} = 5\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\sin^2(2\varphi) + 2^2\cos^2(2\varphi)} d\varphi \approx 12{,}110560 \text{ (од.)}$$

Троянда має чотири однакові пелюстки, тому довжина кривої, що описує квітку, становить:

$$L_{\text{троянди}} = 4 \cdot 12{,}110560 = 48{,}44224 \text{ (од.)} \approx 48{,}44 \text{ (од.)}$$

Відношення довжин троянди до периметра квадрата становить $\frac{48{,}44}{32} \approx 1{,}51$.

Довжина кожної троянди становить $1{,}51$ частини периметра відповідного квадрата.

Ряд периметрів квадратів відомий з обчислень вище:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \text{P}_n = \sum_{n=1}^{\infty} 32 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$$

Тоді ряд довжин троянд має вид:

$$\sum_{n=1}^{\infty} L_{n\text{ троянди}} = \sum_{n=1}^{\infty} 32 \cdot 1{,}51 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}} = \sum_{n=1}^{\infty} 48{,}44 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$$

Ряд, отриманий нами – ряд геометричної прогресії, $L_{1\text{ троянди}} = 48{,}44$, $q = \frac{1}{2}$. Обчислимо суму членів ряду: $S = \frac{L_{1\text{ троянди}}}{1-q} = \frac{48{,}44}{1-\frac{1}{2}} = 96{,}88$.

$|q| < 1$, а тому ряд площ троянд збіжний.

Ряд площ математичних троянд

Площа однієї пелюстки троянди, що описується рівняннями $\rho = a\sin(n\varphi)$ *або* $\rho = a\cos(n\varphi)$, обчислюється за формулою:

$$S = \frac{1}{2}\int_0^{\frac{\pi}{n}} \rho^2 d\varphi = \frac{a^2}{2}\int_0^{\frac{\pi}{n}} \sin(n\varphi) d\varphi = \frac{\pi a^2}{4n}$$

За умовою задачі троянду задано формулою $\rho = 5\sin(2\varphi)$, тому значення параметрів: $a = 5$, $n = 2$

Обчислимо площу однієї пелюстки.

$$S_{\text{пелюстки}} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4 \cdot 2} = \frac{25\pi}{8} \text{ (кв. од.)}$$

Троянда має чотири однакові пелюстки, тому її площа становить:

$$S_{\text{троянди}} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2}{4 \cdot 2} = \frac{25\pi}{2} \text{ (кв. од.)}$$

Відношення площ троянди до квадрата становить $\frac{25\pi}{2 \cdot 64} = \frac{25\pi}{128}$.

Площа кожної троянди становить $\frac{25\pi}{128}$ частину площі відповідного квадрата.

Ряд площ квадратів відомий з обчислень вище:

$$\sum_{n=1}^{\infty} S_{n\ \text{квадрата}} = \sum_{n=1}^{\infty} 64 \cdot 2^{1-n}.$$

Тоді ряд площ троянд має вид:

$$\sum_{n=1}^{\infty} S_{n\ \text{троянди}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{25\pi}{2} \cdot 2^{1-n}.$$

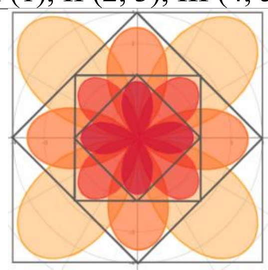
Ряд, отриманий нами – ряд геометричної прогресії, $S_{1\ \text{троянди}} = \frac{25\pi}{2}, q = \frac{1}{2}.$. Обчислимо суму членів ряду: $S = \frac{S_{1\ \text{троянди}}}{1-q} = \frac{\frac{25\pi}{2}}{1-\frac{1}{2}} = 25\pi.$

$|q| < 1$, а тому ряд площ троянд збіжний.

Результати дослідження ряду чотирипелюсткової троянди детально проаналізовані та наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати дослідження ряду чотирипелюсткової троянди

Характеристика		
Довжина початкової фігури	сторона квадрата	8
	периметр квадрата	32
	кривої, що описує троянду	48,44
Площа початкової фігури	$S_{\text{квадрата}}$	64
	$S_{\text{троянди}}$	$\frac{25\pi}{2}$
Сигма-модель ряду довжин	сторін квадратів	$\sum_{n=1}^{\infty} 8 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$
	периметрів квадратів	$\sum_{n=1}^{\infty} 32 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$
	кривих, що описують троянди	$\sum_{n=1}^{\infty} 48{,}44 \cdot 2^{-\frac{n-1}{2}}$
Сигма-модель ряду площ	квадратів	$\sum_{n=1}^{\infty} 64 \cdot 2^{1-n}$
	троянд	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{25\pi}{2} \cdot 2^{1-n}$
Сума ряду довжин	сторін квадратів	$\frac{16}{2-\sqrt{2}}$
	периметрів квадратів	$\frac{64}{2-\sqrt{2}}$
	кривих, що описують троянди	96,88
Сума ряду площ	квадратів	128
	троянд	25π
Збіжність / розбіжність		Збіжні
Рівень складності задач		I (1), II (2, 3), III (4, 5)
Геометрична інтерпретація ряду чотирипелюсткових троянд, створена за допомогою GeoGebra та Paint 3D		 Рис. 2

Побудуємо графіки залежності частинних сум рядів від кількості доданків (рис. 3 - 7):

n-ий член	Частинні суми
1	8,00000000000
2	5,65685424949
3	4,00000000000
4	2,82842712475
5	2,00000000000
6	1,41421356237
7	1,00000000000
8	0,70710678119
9	0,50000000000
10	0,35355339059

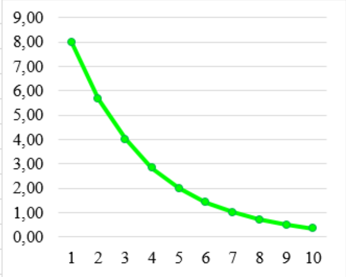


Рис 3. Графік залежності частинних сум ряду сторін квадратів від кількості доданків

n-ий член	Частинні суми
1	32,00000000000
2	22,62741699797
3	16,00000000000
4	11,31370849898
5	8,00000000000
6	5,65685424949
7	4,00000000000
8	2,82842712475
9	2,00000000000
10	1,41421356237

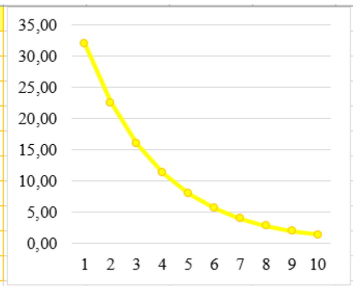


Рис 4. Графік залежності частинних сум ряду периметрів квадратів від кількості доданків

n-ий член	Частинні суми
1	48,44000000000
2	34,25225248068
3	24,22000000000
4	17,12612624034
5	12,11000000000
6	8,56306312017
7	6,05500000000
8	4,28153156008
9	3,02750000000
10	2,14076578004

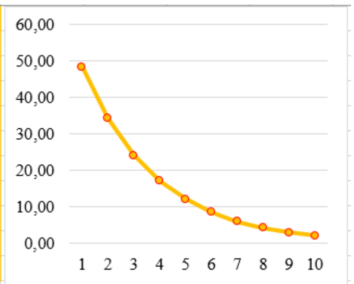


Рис 5. Графік залежності частинних сум ряду довжин троянд від кількості доданків

n-ий член	Частинні суми
1	64,00000000000
2	32,00000000000
3	16,00000000000
4	8,00000000000
5	4,00000000000
6	2,00000000000
7	1,00000000000
8	0,50000000000
9	0,25000000000
10	0,12500000000

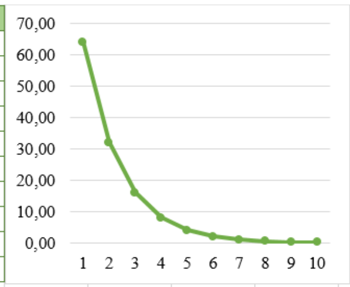


Рис 6. Графік залежності частинних сум ряду площ квадратів від кількості доданків

n-ий член	Частинні суми
1	39,25000000000
2	19,62500000000
3	9,81250000000
4	4,90625000000
5	2,45312500000
6	1,22656250000
7	0,61328125000
8	0,30664062500
9	0,15332031250
10	0,07666015625

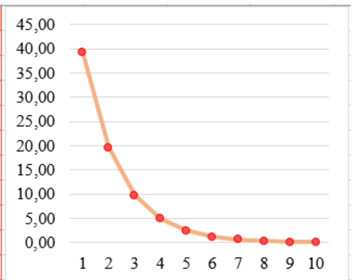


Рис 7. Графік залежності частинних сум ряду площ троянд від кількості доданків

Фабула задачі 2. Геометрична інтерпретація ряду задана на малюнку 8. Математична троянда, аналітичне задання якої $\rho = sin(3\varphi)$, розміщена всередині правильного трикутника зі стороною 1 одиниця довжини. Кожна троянда розміщена у трикутнику, вершини якого лежать на серединах сторін іншого правильного трикутника.

Скласти числові ряди та дослідити їх на збіжність за різними ознаками:

1) Ряд довжин сторін правильних трикутників
2) Ряд периметрів правильних трикутників
3) Ряд площ правильних трикутників
4) Ряд довжин математичних троянд
5) Ряд площ математичних троянд

Якщо ряд збіжний, обчисліть його суму та покажіть залежність частинних сум від кількості доданків у вигляді графіка.

Побудову трипелюсткової троянди, заданої рівнянням ρ = sin(3φ), виконано в середовищі *GeoGebra* у полярній системі координат за допомогою команди *Curve*, що забезпечує плавність і симетрію лінії. Параметр $n = 3$ визначає непарну кількість пелюсток, тож крива має три симетричні відгалуження під кутами 120°, що відповідає осям симетрії правильного трикутника. Параметричне редагування кольору та товщини лінії надало моделі виразності та гармонійності.

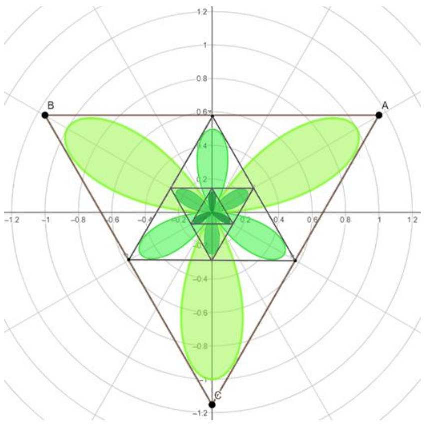


Рис. 8. Геометрична інтерпретація ряду трипелюсткових троянд, розміщених всередині правильних трикутників

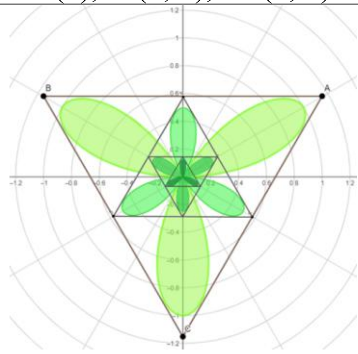
Отриману модель імпортовано до *Paint 3D*, де виконано масштабування та послідовне розміщення троянд у зменшених трикутниках. Так сформовано геометричну інтерпретацію числового ряду, у якій зменшення розмірів фігур відповідає зменшенню членів послідовності. Обчислення довжин сторін, периметрів і площ трикутників та троянд здійснено за допомогою онлайн-калькуляторів з підтримкою математичних функцій, а частинні суми та аналіз збіжності виконано у *Microsoft Excel*.

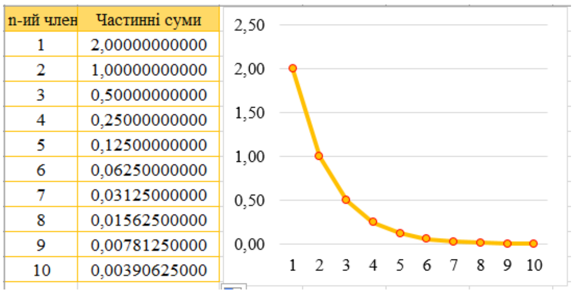
У результаті моделювання побудовано ряди, що ґрунтуються на довжинах, площах і периметрах трикутників. За допомогою Excel створено графічні візуалізації частинних сум та проведено аналіз збіжності за ознакою Д'Аламбера. Результати подано у вигляді таблиці 2 та інтерактивних діаграм (рис. 10 – 14), що полегшує порівняння параметрів і демонструє практичну цінність ІКТ у математичних дослідженнях.

Таблиця 2

Результати дослідження ряду трипелюсткової троянди

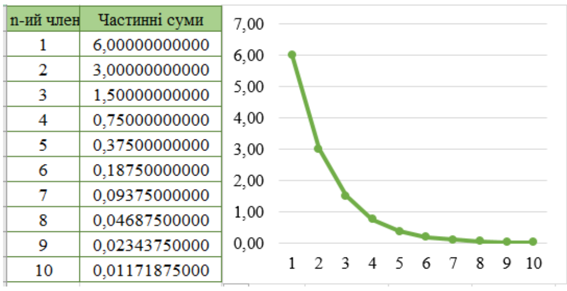
Характеристика		
Довжина початкової фігури	сторона трикутника	2
	периметр трикутника	6
	кривої, що описує троянду	2,4221
Площа початкової фігури	$S_{\text{трикутника}}$	$\sqrt{3}$
	$S_{\text{троянди}}$	$\frac{\pi}{12}$
Сигма-модель ряду довжин	сторін трикутників	$\sum_{n=1}^{\infty} 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$
	периметрів трикутників	$\sum_{n=1}^{\infty} 6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$
	кривих, що описують троянди	$\sum_{n=1}^{\infty} 2{,}4221 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$
Сигма-модель ряду площ	трикутників	$\sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{3} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{n-1}$
	троянд	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{12\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{n-1}$
Сума ряду довжин	сторін трикутників	4
	периметрів трикутників	12
	кривих, що описують троянди	4,8442
Сума ряду площ	трикутників	$\frac{4\sqrt{3}}{3}$

	троянд	$\frac{\pi}{9\sqrt{3}}$
Збіжність / розбіжність		Збіжні
Рівень складності задач		I (1), II (2, 3), III (4, 5)
Геометрична інтерпретація ряду трипелюсткових троянд, створена за допомогою GeoGebra та Paint 3D		 Рис. 9



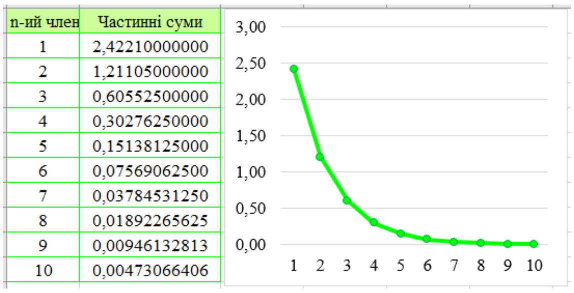
n-ий член	Частинні суми
1	2,00000000000
2	1,00000000000
3	0,50000000000
4	0,25000000000
5	0,12500000000
6	0,06250000000
7	0,03125000000
8	0,01562500000
9	0,00781250000
10	0,00390625000

Рис 3. Графік залежності частинних сум ряду сторін правильних трикутників від кількості доданків



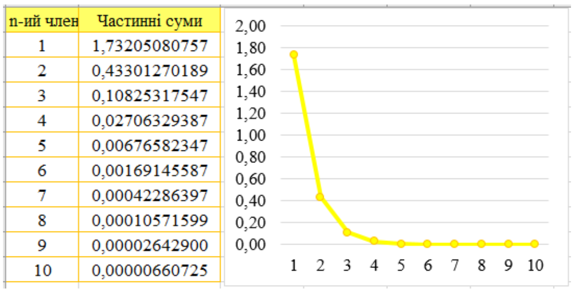
n-ий член	Частинні суми
1	6,00000000000
2	3,00000000000
3	1,50000000000
4	0,75000000000
5	0,37500000000
6	0,18750000000
7	0,09375000000
8	0,04687500000
9	0,02343750000
10	0,01171875000

Рис 4. Графік залежності частинних сум ряду периметрів правильних трикутників від кількості доданків



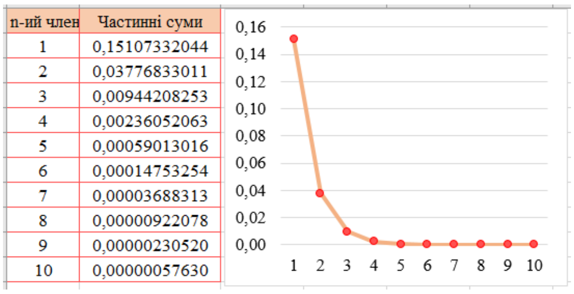
n-ий член	Частинні суми
1	2,42210000000
2	1,21105000000
3	0,60552500000
4	0,30276250000
5	0,15138125000
6	0,07569062500
7	0,03784531250
8	0,01892265625
9	0,00946132813
10	0,00473066406

Рис 5. Графік залежності частинних сум ряду довжин троянд від кількості доданків



n-ий член	Частинні суми
1	1,73205080757
2	0,43301270189
3	0,10825317547
4	0,02706329387
5	0,00676582347
6	0,00169145587
7	0,00042286397
8	0,00010571599
9	0,00002642900
10	0,00000660725

Рис 6. Графік залежності частинних сум ряду площ правильних трикутників від кількості доданків



n-ий член	Частинні суми
1	0,15107332044
2	0,03776833011
3	0,00944208253
4	0,00236052063
5	0,00059013016
6	0,00014753254
7	0,00003688313
8	0,00000922078
9	0,00000230520
10	0,00000057630

Рис 7. Графік залежності частинних сум ряду площ троянд від кількості доданків

Отримані візуалізації підтверджують ефективність використання інформаційно-комунікаційних технологій у вивченні числових рядів: вони забезпечують наочне подання аналітичних залежностей, формують просторове мислення, розвивають аналітичні та дослідницькі вміння студентів і сприяють інтеграції математичних знань із цифровими технологіями.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок. У результаті проведеного дослідження продемонстровано ефективність використання інформаційно-комунікаційних технологій для візуалізації числових рядів на прикладі математичних троянд засобами геометричного моделювання. Показано, що цифрові інструменти GeoGebra, Paint 3D, Microsoft Excel та онлайн-калькулятори, що підтримують математичні символи, інтеграли та функції, дозволяють поєднати аналітичні та графічні підходи до дослідження рядів, забезпечуючи наочність, глибше розуміння властивостей збіжності та підвищення пізнавальної мотивації, розвиток міждисциплінарних компетентностей студентів.

Перспективи подальших досліджень убачаються у розробленні інтерактивних навчальних симуляцій та завдань, що відображають процес формування числових рядів у динаміці, а також у розширенні методики використання ІКТ для моделювання інших математичних об'єктів – поверхонь, тіл обертання, фрактальних структур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Браславська, О., Озерова, Л. (2022). Формування цифрової компетентності майбутніх педагогів у закладах вищої освіти. *Проблеми підготовки сучасного вчителя*, 1(25), 126–135. Режим доступу: http://psv.udpu.edu.ua/article/view/258486 . (Braslavska, O., Ozerova, L. (2022). Formation of digital competence of future teachers in higher education institutions. *Problemy pidhotovky suchasnoho vchytelia*, 1(25), 126–135. Retrieved from: http://psv.udpu.edu.ua/article/view/258486).
2. Задерей, Н. М., Нефьодова, Г. Д., Гаєвський, М. В., Пісний, І. С. (2019). Побудова графіків функцій та використання ІКТ. *Застосування математики в суміжних науках*, 160. (Zaderei, N. M., Nefodova, H. D., Haievskyi, M. V., Pisnyi, I. S. (2019). Construction of graphs of functions and use of ICT. *Zastosuvannia matematyky v sumizhnykh naukakh*, 160).
3. Корольський, В. В., Римар, А. І. (2022). Геометрична інтерпретація числових рядів, пов'язаних з державною символікою. *Актуальні питання природничо-математичної освіти,* 2(20), 29-38. (Korolskyi, V. V., Rymar, A. I. (2022). Geometric interpretation of numerical series related to state symbols. *Topical issues of science and mathematical education,* 2(20), 29–38).
4. Корольський, В. В. (2018). Геометрична інтерпретація числового ряду арифметичної прогресії. *Новітні комп'ютерні технології: науково-методичний збірник*, редакційна колегія: С. О. Семеріков [та інші], Том XVI, 59–66. (Korolskyi, V. V. (2018). Geometric interpretation of the numerical series of an arithmetic progression. *Newest computer technologies: scientific-methodological collection*, editorial board: S. O. Semerikov [et al.], Volume XVI, 59–66).
5. Корольський, В. В., Габ, С. С. (2018). Лінійна, квадратурна та кубатурна геометрична інтерпретація числових рядів методом моделювання. Новітні комп'ютерні технології: науково-методичний збірник, редакційна колегія: С. О. Семеріков [та інші], Том XVI, 67–73. (Korolskyi, V. V., Hab, S. S. (2018). Linear, quadrature and cubature geometric interpretation of numerical series by modeling method. Newest computer technologies: scientific-methodological collection, editorial board: S. O. Semerikov [et al.], Volume XVI, 67–73).
6. Корольський, В. В., Шокалюк, С. В., Мельниченко, Ю. А. (2018). Теоретико-методичні засади геометричного моделювання числових рядів. *Фізико-математична освіта,* 4(18), 81-89. (Korolskyi, V. V., Shokaliuk, S. V., Melnychenko, Yu. A. (2018). Theoretical and methodological foundations of geometric modeling of numerical series. *Fizyko-matematychna osvita,* 4(18), 81–89).
7. Корольський, В. В., Тураєва О. (2023). Генерація та дослідження чисельних рядів за допомогою геометричної моделі та комбінації рядів. *Актуальні питання природничо-математичної освіти,* 1(21), 46-54. (Korolskyi, V. V., Turaieva, O. V. (2023). Generation and research of numerical series using a geometric model and combinations of series. *Topical issues of science and mathematical education*, 1(21), 46–54).
8. Корольський, В. В., Габ, С. С. (2018). Числові ряди, які пов'язані з параметрами додекаедра. *Вісник міжнародного дослідницького центру «Людина: мова, культура, пізнання»*, 42, 39-45. (Korolskyi, V. V., Hab, S. S. (2018). Numerical series related to

dodecahedron parameters. *Visnyk mizhnarodnoho doslidnytskoho tsentru "Liudyna: mova, kultura, piznannia"*, 42, 39–45).

9. Римар, А. І. (2022). Геометрична інтерпретація числових рядів, пов'язаних з об'єктами флори. *Наукові записки молодих учених,* 10. Режим доступу: https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/vie w/1968/pdf . (Rymar, A. I. (2022). Geometric interpretation of numerical series related to flora objects. *Naukovi zapysky molodykh uchenykh*, Issue 10. Retrieved from: https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/vie w/1968/pdf).
10. Римар, А. І., Корольський, В. В. (2023). Геометрична інтерпретація числових рядів, пов'язаних з рослинами-символами України. *Актуальні питання природничо-математичної освіти,* 1(21), 70-77. (Rymar, A. I., Korolskyi, V. V. (2023). Geometric interpretation of numerical series related to plants-symbols of Ukraine. *Collection of scientific papers "Topical issues of science and mathematical education"*, 1(21), 70–77).
11. Шкіль, М. І. (1981). Математичний аналіз, частина ІІ: Посібник для педагогічних інститутів . Київ: Вища школа. (Shkil, M. I. (1981). *Mathematical analysis* (Pt. II): Handbook for pedagogical institutes. *Vyshcha shkola*).

Rymar A. I. Using ICT to visualize numerical series using mathematical roses as an example.

The article discusses the use of information and communication technologies for visualizing and generating numerical series associated with Guido Grandi's mathematical roses, in particular three-petal and four-petal ones, based on their location inside a regular triangle and square, respectively. It shows how modern digital tools help to understand mathematical patterns through visual geometric shapes. The geometric interpretations of these series are analyzed.

The visualization of mathematical roses was performed using the GeoGebra program, which made it possible to study the dependence of the number of petals on the parameters of the equation. The visualization of series and geometric elements (side lengths, perimeters, and areas) was performed in Paint 3D. Online calculators with support for mathematical symbols and functions were used to perform calculations of elements and partial sums of numerical series, which made it possible to quickly check the results and analyze convergence.

We determined series based not only on the areas of roses, squares, and triangles inside which the flowers are located, but also on the side lengths and perimeters of these geometric figures. Using digital tools, the total and partial sums of the series were calculated, sigma models were specified, and the level of complexity of the proposed tasks was indicated. Using Microsoft Excel, interactive diagrams were created to show the dependence of partial sums on the number of elements, and the convergence characteristics of each series according to D'Alembert's criterion were identified. The generalized results are presented in a table that systematizes the key characteristics of each series, providing clarity and convenience for further research.

The practical significance of the results obtained is determined by their integration into the educational process. The use of ICT not only increases the effectiveness of visualizing numerical series and develops students' analytical thinking, but also stimulates a creative approach to learning. This digital technique combines educational, research, and educational components, promoting awareness of the harmony between mathematics, nature, and technology.

Key words: *ICT, GeoGebra, Paint 3D, Microsoft Excel, numerical series, mathematical roses, geometric interpretation.*

Подано до друку 16.10.2025
Прийнято до друку 03.11.2025