



Наукові перспективи  
Видавнича група

# СУСПІЛЬСТВО ТА НАЦІОНАЛЬНІ ІНТЕРЕСИ



№ 4(12)2025



- Купчак Т.З., Смолінська О.Є.** 210  
*ІНТЕГРАЦІЯ УКРАЇНСЬКОЇ ОБРЯДОВОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТА  
СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС УНІВЕРСИТЕТУ*
- Лаврик В.В., Алексеєва Г.М., Шакірова Л.Т., Овсянніков О.С.** 228  
*МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ  
ГЕОМЕТРІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС*
- Лупаренко С.Є.** 237  
*ОСВІТНЬО-ВИХОВНА СПРЯМОВАНІСТЬ ДИТЯЧИХ ЖУРНАЛІВ В  
УКРАЇНІ*
- Марчук Н.А., Терещук В.І., Безцінна Ж.П.** 248  
*ГЛОБАЛЬНА ОСВІТА В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ВИКЛИКИ,  
МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ*
- Невинна Ю.П.** 262  
*ТЕХНОЛОГІЇ БІЛІНГВАЛЬНОГО НАВЧАННЯ*
- Орленко Н.А., Гарнусова В.В., Скидан І.В., Лукошова І.В.,  
Ракитіна Т.І.** 270  
*КІНЕЗІОЛОГІЯ ЯК НЕВІД'ЄМНИМ КОМПОНЕНТ СУЧАСНОГО  
ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ СТУДЕНТІВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ*
- Паскаль О.В., Паскаль А.Г.** 282  
*КУЛЬТУРНО-ДОЗВІЛЛЄВІ ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ ГРОМАДЯНСЬКОЇ  
СВІДОМОСТІ ПІДЛІТКІВ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА СОЦІАЛЬНИХ ЗМІН*
- Поворознюк В.В., Кореневич В.М., Кушнірчук А. Ю.** 295  
*ДОСВІД ДУШПАСТИРСЬКОЇ ОПІКИ В УКРАЇНСЬКОМУ ДУХОВЕНСТВІ  
В КОЗАЦЬКУ ДОБУ*
- Потапчук Т.В., Макарук О.Л.** 309  
*ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВИХ  
КЛАСІВ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО НАВЧАННЯ  
МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ*
- Пріма Д.А., Рославець Р.М., Махновець В.Г.** 321  
*ПРАВОВИХОВНІ АСПЕКТИ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ  
МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ*

УДК 51:371.3

[https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-4\(12\)-228-236](https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-4(12)-228-236)

**Лаврик Володимир Володимирович** кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних технологій та інформатики факультету фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти Бердянського державного педагогічного університету, тимчасово переміщеного в м. Запоріжжя, <https://orcid.org/0000-0002-6448-2470>

**Алексєєва Ганна Миколаївна** кандидат педагогічних наук, доцентка, доцентка кафедри комп'ютерних технологій та інформатики факультету фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти Бердянського державного педагогічного університету, тимчасово переміщеного в м. Запоріжжя, <https://orcid.org/0000-0003-3204-3139>

**Шакірова Лілія Таїрівна** здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти факультету фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти Бердянського державного педагогічного університету, тимчасово переміщеного в м. Запоріжжя, <https://orcid.org/0009-0003-3325-340X>

**Овсянніков Олександр Сергійович** кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформатики факультету фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти Бердянського державного педагогічного університету, тимчасово переміщеного в м. Запоріжжя, <https://orcid.org/0000-0003-4972-3472>

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

**Анотація.** У статті висвітлено актуальність впровадження фрактальної геометрії в освітній процес як ефективного інструменту для вдосконалення навчання математики та суміжних дисциплін. Метою дослідження є аналіз існуючих програм і методичних матеріалів, а також виявлення потреби в розробці нових підходів до інтеграції фрактальної геометрії в навчальний процес. У роботі розглянуто сучасні методичні напрацювання, зокрема програми «Фрактали» для 9 класу та «Введення у фрактальний аналіз» для 11 класу, які спрямовані на ознайомлення учнів з основами фрактального аналізу та розширення їхніх математичних компетенцій.

Результати досліджень свідчать, що фрактали, завдяки своїй візуальній привабливості та доступності для вивчення, стимулюють інтерес учнів до



математики, сприяють розвитку творчого мислення та інтуїтивного розуміння складних математичних понять, таких як самоподібність, границі та розмірність. Міждисциплінарний підхід до вивчення фракталів дозволяє інтегрувати знання з математики, фізики, біології та комп'ютерної графіки, що сприяє формуванню системного мислення та розуміння взаємозв'язків між різними галузями науки.

Однак виявлено низку проблем, які гальмують широке впровадження фрактальної геометрії в освіту. Серед них – недостатня кількість адаптованих навчальних матеріалів для різних рівнів освіти, відсутність уніфікованих методик викладання, а також технічні обмеження, зокрема доступ до спеціального програмного забезпечення для моделювання фракталів. Незважаючи на це, фрактальна геометрія має значний потенціал для вдосконалення освітнього процесу. Вона не лише полегшує засвоєння складних математичних концепцій, але й відкриває нові можливості для використання цифрових технологій у навчанні.

У статті підкреслено необхідність подальших досліджень у галузі фрактальної геометрії, зокрема розробки інтерактивних платформ, навчальних програм і методичних рекомендацій, які враховуватимуть вікові особливості учнів, рівень їхньої математичної підготовки та можливості використання віртуальної реальності у викладанні. Впровадження таких підходів може значно підвищити ефективність навчання, зробивши його більш інтерактивним, захопливим та доступним для широкого кола учнів.

**Ключові слова:** фрактальна геометрія, навчальний процес, освітні матеріали.

**Lavryk Volodymyr** PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Technologies and Informatics, Faculty of Physical, Mathematical, Computer, and Technological Education, Berdyansk State Pedagogical University, temporarily relocated to Zaporizhzhia, <https://orcid.org/0000-0002-6448-2470>

**Aleksiieieva Hanna** PhD in Pedagogy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Informatics, Faculty of Physical, Mathematical, Computer, and Technological Education, Berdyansk State Pedagogical University, temporarily relocated to Zaporizhzhia, <https://orcid.org/0000-0003-3204-3139>

**Shakirova Liliia** Master's degree student of the second (master's) level of higher education, Faculty of Physical, Mathematical, Computer, and Technological Education, Berdyansk State Pedagogical University, temporarily relocated to Zaporizhzhia, <https://orcid.org/0009-0003-3325-340X>

**Ovsyannikov Oleksandr** PhD in Pedagogy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Informatics, Faculty of Physical, Mathematical, Computer, and Technological Education, Berdyansk State Pedagogical University, temporarily relocated to Zaporizhzhia, <https://orcid.org/0000-0003-4972-3472>

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE INTEGRATION OF FRACTAL GEOMETRY INTO THE EDUCATIONAL PROCESS

**Abstract.** The article highlights the relevance of introducing fractal geometry into the educational process as an effective tool for improving the teaching of mathematics and related disciplines. The aim of the study is to analyze existing programs and methodological materials, as well as to identify the need for developing new approaches to the integration of fractal geometry into education. The paper examines modern methodological developments, particularly the “Fractals” program for 9th-grade students and the “Introduction to Fractal Analysis” program for 11th-grade students, which are designed to familiarize students with the basics of fractal analysis and enhance their mathematical competencies.

The research findings indicate that fractals, due to their visual appeal and accessibility for study, stimulate students' interest in mathematics, foster the development of creative thinking, and promote an intuitive understanding of complex mathematical concepts such as self-similarity, limits, and dimensionality. The interdisciplinary approach to studying fractals enables the integration of knowledge from mathematics, physics, biology, and computer graphics, contributing to the formation of systematic thinking and an understanding of the interconnections between various scientific fields.

However, several challenges hinder the widespread adoption of fractal geometry in education. These include a lack of adapted educational materials for different levels of education, the absence of unified teaching methodologies, and technical limitations, such as access to specialized software for fractal modeling. Despite these challenges, fractal geometry holds significant potential for improving the educational process. It not only facilitates the comprehension of complex mathematical concepts but also opens up new opportunities for utilizing digital technologies in teaching.

The article emphasizes the need for further research in the field of fractal geometry, particularly the development of interactive platforms, educational programs, and methodological recommendations that consider the age-specific characteristics of students, their level of mathematical preparation, and the possibilities of using virtual reality in teaching. Implementing such approaches can significantly enhance the efficiency of learning, making it more interactive, engaging, and accessible to a wide range of students.



**Keywords:** fractal geometry, educational process, teaching materials, interdisciplinary approach.

**Постановка проблеми.** Використання фракталів в освіті є відносно новим, але перспективним напрямком досліджень, який швидко набуває популярності завдяки своїй міждисциплінарності та інноваційності. Фрактали, завдяки їхній складності, математичній строгості та естетичній привабливості, можуть слугувати ефективним інструментом для вивчення математики, природничих наук, інформатики та навіть мистецтва. Їх інтеграція у навчальний процес відкриває можливості для формування як теоретичних, так і практичних компетентностей учнів та студентів.

Вивчення фракталів має значний потенціал для стимулювання інтересу до математики, яка часто сприймається як абстрактна й складна дисципліна. Завдяки властивостям фракталів, які поєднують простоту алгоритмів із візуально складними результатами, вони створюють новий підхід до навчання. Це дозволяє учням не лише засвоювати математичні поняття, але й розвивати критичне мислення, креативність та інтерес до досліджень [1, 2].

Фрактали також дозволяють поєднати математику та естетику, що сприяє міждисциплінарному підходу до освіти. Вивчення фракталів є не лише математичною діяльністю, але й засобом для демонстрації природної гармонії та складності світу, яка є цікавою для учнів усіх рівнів підготовки. Доступність інструментів для візуалізації фракталів, таких як сучасне програмне забезпечення для моделювання, дозволяє ефективно інтегрувати їх у навчальні плани [3].

Унікальність фракталів полягає у можливості їх використання як інструменту для навчання та дослідження в різних контекстах: від простих шкільних завдань до складних наукових експериментів. Простота правил, що лежить в основі створення фрактальних структур, дозволяє учням експериментувати, формулювати гіпотези та спостерігати за їх підтвердженням або спростуванням. Це, своєю чергою, сприяє розвитку дослідницьких навичок і заохочує до глибшого пізнання предмета [4].

Комп'ютерна графіка значно розширює можливості у викладанні фрактальної геометрії. Вона дозволяє візуалізувати складні структури, які раніше могли бути лише теоретичними абстракціями, і забезпечує інтерактивний підхід до їхнього вивчення. Таке використання цифрових технологій є ключовим у сучасному освітньому процесі, де все більше уваги приділяється інтерактивним та практично орієнтованим методикам.

Таким чином, впровадження фрактальної геометрії у навчальний процес відкриває нові можливості для формування інтегрованого навчання, де поєднуються наука, технології, мистецтво та дослідницькі підходи. Це створює умови для розвитку креативності, критичного мислення та інноваційного потенціалу учнів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поняття фрактала вперше ввів Бенуа Мандельброт, який заклав основи фрактальної геометрії своєю працею «Фрактальна геометрія природи» (1983). Він підкреслив, що традиційна геометрія не здатна описати складність природних форм, тоді як фрактали дозволяють моделювати такі структури, як лінії берегів, рельєф місцевості, обриси хмар, а також біологічні системи, включаючи кровоносні судини та легені. Ще до Мандельброта класичні фрактали, такі як множина Кантора, крива Пеано, сніжинка Коха і килим Серпінського, були відкриті видатними вченими, але саме його роботи дали поштовх до широкого застосування фрактальної геометрії для опису природних і технічних процесів, таких як фрактальний броунівський рух, турбулентність, економічні процеси та стиснення зображень [8].

У галузі освіти фрактальна геометрія демонструє великий потенціал завдяки своїй міждисциплінарності. Програми «Фрактали» для 9 класу та «Введення у фрактальний аналіз» для 11 класу спрямовані на розвиток уявлення учнів про фрактальну структуру світу, ознайомлення з такими поняттями, як самоподібність, фрактальний вимір і рекурсія [5].

Дослідження свідчать, що фрактальна геометрія ефективно сприяє вивченню складних явищ. Наприклад, книга *Fractals for the Classroom* містить практичні матеріали для інтеграції фракталів у шкільний курс, а роботи, присвячені цифровим технологіям, підкреслюють важливість комп'ютерної графіки для моделювання та візуалізації фракталів [7].

Фрактали також мають естетичний вплив, сприяючи формуванню почуття гармонії у школярів. Їхня краса мотивує до вивчення математики, демонструючи гармонію складних структур, недоступну традиційній геометрії.

Однак впровадження фрактальної геометрії в освіту ускладнюється низкою проблем: нестачею адаптованих матеріалів, технічними обмеженнями та відсутністю уніфікованих методик викладання. Водночас подальші дослідження у сфері інтерактивних платформ і використання фракталів у віртуальній реальності обіцяють зробити цей напрямок більш доступним та ефективним.

**Метою дослідження** є висвітлення деяких питань з використання фрактальної геометрії в навчальному процесі, а також виявлення потреби в нових навчальних матеріалах і методичних рекомендаціях для ефективного впровадження фрактальної геометрії в навчальний процес.

**Виклад основного матеріалу.** Відзначимо, що методичні напрацювання з вивчення фракталів у шкільній програмі вже активно впроваджуються. Зокрема, у «Збірнику програм з математики для допрофільної підготовки та профільного навчання» подано дві програми, які присвячені фрактальному аналізу. Перша – це курс за вибором для учнів 9-го класу математичного профілю під назвою «Фрактали», що дає можливість учням ознайомитися з основами цієї теми [3]. Друга програма – «Введення у фрактальний аналіз» для учнів 11-х класів, які поглиблено вивчають математику [4]. Ці програми є




важливими кроками для впровадження сучасних математичних концепцій в освітній процес, розширюючи можливості учнів та надаючи їм інструменти для розуміння складних геометричних форм і їхнього застосування в реальному житті. Також було розроблена книга *Fractals for the classroom: part one introduction to fractals and chaos*, у якій є матеріали для учнів для опанування теми фрактали у класі [9]. У “An action research on line to introduce fractals in the teaching and learning of mathematics from primary to secondary school” описано онлайн-дослідження щодо впровадження фракталів у викладання та вивчення математики від початкової до старшої школи [7] (таблиця 1).

*Таблиця 1*

**Порівняльний аналіз курсів із вивчення фрактальної геометрії для 9 та 11 класів**

Курс	Цільова аудиторія	Основна мета	Методи навчання	Очікувані результати
«Фрактали» для 9 класу	Учні 9 класу математичного профілю	Ознайомлення з базовими поняттями фрактальної геометрії, такими як самоподібність, ітерація, рекурсія.	Візуалізація фракталів за допомогою простих комп'ютерних програм; використання графічних редакторів; обговорення концепцій через приклади та побудову простих фракталів.	Розвиток інтуїтивного розуміння базових понять фрактальної геометрії; формування інтересу до математики; підвищення рівня обчислювальної грамотності.
«Введення у фрактальний аналіз» для 11 класу	Учні 11 класу з поглибленим вивченням математики	Поглиблене вивчення понять фрактальної геометрії, включаючи фрактальний вимір, межі та алгоритми генерації фракталів.	Практичні заняття з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Fractal Explorer); моделювання складних структур; розробка власних фрактальних проєктів.	Засвоєння фундаментальних і прикладних аспектів фрактальної геометрії; розвиток аналітичного мислення; навички аналізу, моделювання та візуалізації складних геометричних об'єктів.



Останні роки відзначаються значним зростанням кількості досліджень, присвячених важливості ознайомлення школярів та студентів з елементами фрактальної геометрії. Зокрема, дослідник Н. Розов акцентував увагу на тому, що фрактали мають естетичний вплив на учнів, розвиваючи у них почуття прекрасного і сприяючи естетичному вихованню. Ця взаємодія з красою математичних структур допомагає учням бачити гармонію у складності, що є важливим компонентом їхнього загального розвитку.

Результати попередніх досліджень демонструють, як вивчення фракталів може значно покращити розуміння складних математичних понять через їх візуалізацію. Фрактали допомагають учням інтуїтивно зрозуміти такі поняття, як самоподібність, границі та розмірність, роблячи абстрактну математику більш доступною та зрозумілою. Завдяки міждисциплінарному підходу фрактали інтегрують різні галузі знань, такі як математика, фізика, біологія та комп'ютерна графіка. Це допомагає учням розвивати системне мислення та розуміти взаємозв'язки між різними науками. Крім того, процес створення фрактальних структур стимулює творчість і заохочує до експериментів. Красиві та незвичні форми фракталів мотивують учнів до вивчення математики та інших природничих наук, оскільки вони бачать приклади їх застосування в різних сферах, таких як моделювання природних процесів і технологій.

Однак не можна ігнорувати і слабкі сторони. Незважаючи на зростаючий інтерес до фракталів, досі бракує навчальних матеріалів, адаптованих до різних рівнів освіти, що ускладнює викладання теми. Кількість досліджень щодо впровадження фракталів у навчальний процес залишається обмеженою, що не дає змоги зробити повні висновки про їхню ефективність. Відсутність єдиної методики викладання фракталів також є перешкодою для систематизації фракталів в освітніх програмах. Крім того, технічні обмеження, пов'язані з використанням спеціального програмного забезпечення для моделювання фракталів, можуть стати перешкодою для вивчення фракталів у школах, де немає необхідних ресурсів.

Потенціал подальших досліджень у галузі фрактальної геометрії та її застосування в освіті є багатограним і перспективним. Перш за все, необхідно розробити нові навчальні матеріали та методичні рекомендації, що враховують вікові особливості учнів та рівень їхньої математичної підготовки. Зокрема, для учнів початкових класів важливо створити програми, що використовують фрактальну геометрію для введення базових понять самоподібності, масштабування та нескінченності в легкому для сприйняття ігровому форматі. Для старшокласників курси фрактальної геометрії слід розширити, включивши в них більше прикладних аспектів, таких як моделювання природних процесів, оптимізація в інженерії та аналіз даних у різних науках.



Потрібно більше досліджень щодо впливу фракталів на розвиток і мотивацію учнів. Також зважаючи на стрімкий розвиток цифрових технологій, варто дослідити потенціал ширшого використання комп'ютерного моделювання та віртуальної реальності у фрактальному навчанні. Такий підхід може значно підвищити ефективність навчання, зробивши його більш інтерактивним та цікавим.

**Висновки.** Дослідження підтверджують значний потенціал фрактальної геометрії в освітньому процесі, бо фрактальна геометрія – це не просто красива абстракція, а потужний інструмент для розвитку пізнавальних здібностей учнів. Візуальна привабливість фракталів стимулює інтерес до математики, а їхня самоподібність допомагає глибше зрозуміти рекурсивні процеси та складні структури. Хоча існують певні виклики, такі як брак адаптованих навчальних матеріалів та методичних рекомендацій, потреба у дослідженнях з впровадження фракталів у навчальний процес залишається актуальною. Однак, для широкого впровадження фракталів у навчальний процес необхідні подальші дослідження та розробка спеціальних методик, які враховуватимуть як вікові особливості учнів, так і специфіку різних предметів. Інтерактивні платформи та програмне забезпечення можуть стати ефективним інструментом для вивчення фракталів, перетворюючи навчання на захопливу гру. Таким чином, подальші дослідження в цій галузі можуть відкрити нові можливості для покращення освіти і розвитку учнів.

#### *Література:*

1. Алексеева Г.М., Бабич П.М. Використання платформи Arduino для професійної підготовки майбутніх інженерів-педагогів. Фізико-математична освіта : науковий журнал. Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Фізико-математичний факультет редкол.: О.В.Семеніхіна (гол.ред.) [та ін.]. – Суми : [СумДПУ ім. А.С.Макаренка], 2018. – С. 12-17. DOI : <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2018-018-4-002>
2. Алексеева, Г. М., Сологуб, А. В., Горбатюк, Л. В., & Кравченко, Н. В. STEM-освіта як засіб розвитку наукової грамотності та інженерного мислення на уроках математики. Педагогічна Академія: наукові записки, (14). 2025. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.14688080>.
3. Кайдан Н., Соколова П. Реалізації STEAM-проектів на уроках математики в сучасній школі: методика навчання математики в закладах загальної середньої та вищої освіти. Збірник наукових праць фізико-математичного факультету ДДПУ, 2024, 14: 115-120.
4. Махровська, Н., Погромська, Г., & Рогожинська, Е. Викладання алгебри через STEAM: шлях до формування навичок XXI століття. "Вересень", 2024. 4(103).
5. Прокопенко Н.С. Збірник програм з математики для допрофільної підготовки та профільного навчання (у двох частинах). ЧП Профільна підготовка: Факультативи та курси за вибором. Харків: Ranok Publishing House Ltd, 2011.
6. Шакірова Л. Інтеграція фракталів у факультативне навчання старшої школи в контексті розвитку професійної освіти в Україні. Головний редактор, 2024. С.334-339.
7. Frame M., Mandelbrot B. Fractals, graphics, and mathematics education. 2002.
8. Peitgen H.-O., Jürgens H., Saupe D. Fractals for the classroom: part one introduction to fractals and chaos. 2013.
9. Raiteri A.C. An action research on line to introduce fractals in the teaching and learning of mathematics from primary to secondary school. CIEAEM57. July 23-29, 2005. Italy, 2005.

**References:**

1. Aleksiiieva H.M., Babych P.M. (2018). Vykorystannia platformy Arduino dlia profesiinoi pidhotovky maibutnikh inzheneriv-pedahohiv [Using the Arduino platform for the professional training of future engineering educators]. *Fizyko-matematychna osvita: naukovyi zhurnal – Physical and Mathematical Education: Scientific Journal*. Sumskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni A.S. Makarenka, Fizyko-matematychnyi fakultet; redkol.: O.V. Semenikhina (hol. red.) [ta in.]. Sumy: [SumDPU im. A.S. Makarenka], pp. 12-17. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2018-018-4-002> [in Ukrainian].
2. Aleksiiieva H.M., Sologub A.V., Horbatiuk L.V., & Kravchenko N.V. (2025). STEM-osvita yak zasib rozvytku naukovoi hramotnosti ta inzhenerneho myslenniia na urokakh matematyky [STEM education as a means of developing scientific literacy and engineering thinking in mathematics lessons]. *Pedahohichna Akademiia: naukovyi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (14). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14688080> [in Ukrainian].
3. Kaidan N., Sokolova P. (2024). Realizatsii STEAM-proiektiv na urokakh matematyky v suchasni shkoli: metodyka navchannia matematyky v zakladakh zahalnoi serednoi ta vyshchoi osvity [Implementation of STEAM projects in mathematics lessons in modern schools: methods of teaching mathematics in secondary and higher education institutions]. *Zbirnyk naukovykh prats Fizyko-matematychnoho fakultetu DDPU – Collection of Scientific Works of the Physical and Mathematical Faculty of DDPU*, 14, pp. 115-120 [in Ukrainian].
4. Makhrovska N., Pohromska H., & Rohozhynska E. (2024). Vykladannia alhebry cherez STEAM: shliakh do formuvannia navychok XXI stolittia [Teaching algebra through STEAM: a path to developing 21st-century skills]. "Veresen", 4(103) [in Ukrainian].
5. Prokopenko N.S. (2011). Zbirnyk prohram z matematyky dlia doprofilnoi pidhotovky ta profilnogo navchannia (u dvokh chastynakh). Chastyna II. Profilna pidhotovka: Fakultatyvy ta kursy za vyborom [Collection of mathematics programs for pre-profile training and profile learning (in two parts). Part II. Profile training: electives and elective courses]. Kharkiv: Ranok Publishing House Ltd [in Ukrainian].
6. Shakirova L. (2024). Intehratsiia fraktaliv u fakultatyvne navchannia starshoi shkoly v konteksti rozvytku profesiinoi osvity v Ukraini [Integration of fractals into elective education in high school in the context of professional education development in Ukraine]. *Holovnyi redaktor*, pp. 334-339 [in Ukrainian].
7. Frame M., Mandelbrot B. (2002). Fractals, graphics, and mathematics education [in English].
8. Peitgen H.-O., Jürgens H., Saupe D. (2013). Fractals for the classroom: Part one introduction to fractals and chaos [in English].
9. Raiteri A.C. (2005). An action research online to introduce fractals in the teaching and learning of mathematics from primary to secondary school. CIEAEM57. July 23-29, 2005. Italy [in English].