

УДК 004.92

DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/93-2-7>

Ірина МАЛИНІНА,

orcid.org/0000-0001-7449-2157

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри мультимедійного дизайну

Харківської академії мистецтва і дизайну

(Харків, Україна) *golubeva242vg@gmail.com*

Алла МАЛИНІНА,

orcid.org/0009-0002-9214-7378

викладач кафедри мультимедійного дизайну

Харківської академії мистецтва і дизайну

(Харків, Україна) *alla10076718@gmail.com*

ФРАКТАЛЬНА ГРАФІКА ТА АНІМАЦІЯ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ КРЕАТИВНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ДИЗАЙНУ

У статті розглядаються педагогічні можливості застосування фрактальної графіки та анімації в освітньому процесі за напрямом «Мультимедійний дизайн». Актуальність дослідження зумовлена необхідністю пошуку ефективних засобів розвитку креативного мислення студентів-дизайнерів в умовах цифрового освітнього середовища.

Мета дослідження – визначити педагогічний потенціал фрактальної графіки та анімації у розвитку креативного мислення студентів, які навчаються за напрямом «Мультимедійний дизайн», а також розробити методичні підходи щодо використання фрактальних технологій в освітньому процесі.

Фрактальна анімація активно використовується у мультимедійному дизайні завдяки своїй здатності створювати візуально захоплюючі, динамічні та унікальні образи. Фрактали дозволяють дизайнерам розробляти як абстрактні, так і реалістичні текстури, форми та анімаційні ефекти, які знаходять застосування у різних медіаформатах: від рекламних роликів та інтерактивних програм до віртуальної реальності та художніх інсталяцій.

Фрактали створюють можливість для нескінченних візуальних варіацій, що стимулює креативність та дозволяє студентам знаходити нестандартні підходи до створення графіки. Робота з фрактальною анімацією допомагає студентам краще розуміти взаємозв'язки між формою, структурою та кольором, що є важливим для розробки унікальних та виразних мультимедійних проєктів.

Знання фрактальної анімації дозволяє студентам розробляти складні текстури та ефекти, які можна застосовувати у дизайні ігор, відеороликах, а також в інтерактивних і VR-проєктах. Це не тільки збільшує візуальну привабливість проєктів, але й надає їм унікального та професійного вигляду.

У статті розкривається педагогічний потенціал фрактальної графіки та анімації, визначаються методичні напрямки їх застосування у навчальних проєктах, а також обґрунтовується їхня роль у розвитку візуальної культури та професійних компетенцій майбутніх фахівців у галузі мультимедійного дизайну. Результати дослідження підтверджують доцільність включення фрактальних технологій до системи художньо-технічної підготовки студентів як інноваційного засобу розвитку креативного мислення.

Ключові слова: фрактальна графіка, фрактальна анімація, мультимедійний дизайн, креативне мислення, цифрове мистецтво, візуальна культура, художньо-технічна освіта, Інноваційні технології навчання.

Iryna MALININA,

orcid.org/0000-0001-7449-2157

Candidate of Pedagogical Sciences,

Associate Professor at the Department of Multimedia Design

Kharkiv Academy of Art and Design

(Kharkiv, Ukraine) *golubeva242vg@gmail.com*

Alla MALININA,

orcid.org/0009-0002-9214-7378

Candidate of Pedagogical Sciences,

Associate Professor at the Department of Multimedia Design

Kharkiv Academy of Art and Design

(Kharkiv, Ukraine) *alla10076718@gmail.com*

FRactal Graphics and Animation as a Means of Developing Creative Thinking in Multimedia Design Students

This article considers the pedagogical perspective of applying fractal graphics and application in the educational process of teaching students in Multimedia Design. The relevance of the research is determined by the need to solve

problems concerning the lack of effective tools for developing creative thinking in design students within a digital learning environment.

The objective of the study is to determine the pedagogical potential of fractal graphics and animation in developing the creative thinking of students majoring in Multimedia Design, and to develop methodological approaches to the use of fractal technologies in the educational process.

Fractal animation is widely used in multimedia design because it can generate striking, dynamic, and unique imagery. Fractals provide the designer with the opportunity to create abstract and realistic textures, forms, and animation effects applicable in a wide range of media formats – from advertising videos and interactive applications to virtual reality and artistic installations.

Fractals allow unlimited possibilities for visual variations, which stir up the creative imagination to discover unconventional methods of graphic creation. Working with fractal animation helps students better understand the interconnections between form, structure, and color – essential aspects in developing unique and expressive multimedia projects.

Knowledge of fractal animation allows students to create complex textures and effects that could be applied in game design, video production, and interactive or VR projects. This not only enhances the visual appeal of their works, but also gives them a distinctive and professional appearance.

The article presents the pedagogical potential of fractal graphics and animation, outlines methodological directions for their implementation in educational projects, and substantiates their role in developing visual culture and professional competencies among future specialists in multimedia design. The research results confirm the feasibility of integrating fractal technologies into the system of artistic and technical framing of students as an innovative way of developing creative thinking.

Key words: fractal graphics, fractal animation, multimedia design, creative thinking, digital art, visual culture, artistic and technical education, innovative learning technologies.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції в галузі освіти та цифрового мистецтва потребують переосмислення підходів до підготовки фахівців у сфері мультимедійного дизайну. Традиційні методи навчання, орієнтовані переважно на опанування технічних навичок та програмних інструментів, найчастіше виявляються недостатніми для розвитку творчого потенціалу студентів. У результаті майбутні дизайнери демонструють високий рівень володіння технологіями, але відчують труднощі з генерацією оригінальних художніх ідей та пошуком нестандартних рішень візуальних завдань.

Однією з актуальних проблем сучасної педагогіки дизайну є необхідність формування креативного мислення – здатності до оригінального, гнучкого та системного осмислення художніх образів, а також створення інноваційного візуального контенту.

Фрактальна графіка та анімація, як особлива галузь комп'ютерного мистецтва, мають значний потенціал для розв'язання цього завдання.

Незважаючи на очевидні переваги використання фрактальної графіки та анімації в освітньому процесі, їхній педагогічний потенціал залишається недостатньо вивченим. У навчальних програмах з мультимедійного дизайну цей вид цифрової творчості представлений фрагментарно, без системного методичного забезпечення. Не розроблено конкретних підходів до застосування фрактальних візуальних засобів для формування креативного мислення, відсутні науково обґрунтовані методики включення фрактальних технологій до практичних занять із дизайну та анімації.

Вирішення цієї суперечності зумовлює необхідність наукового дослідження, спрямованого на виявлення педагогічних можливостей фрактальної графіки та анімації й обґрунтування шляхів їх застосування у навчанні студентів мультимедійного дизайну.

Аналіз досліджень. Зазначена тема викликає значний інтерес серед дизайнерів та науковців у контексті як технічних, так і культурних аспектів впливу фрактальної генерації та анімації на мультимедійний дизайн. Основна увага приділяється вивченню можливостей технологій фрактальної генерації для сучасного досвіду в мультимедійному дизайні, трансформації наративу та естетики мультимедійного простору, а також сучасному соціокультурному впливу.

Дослідники цього напрямку аналізують, як технології фрактальної графіки та анімації використовуються для створення нових форм у сучасному мультимедійному дизайні та освітніх програмах. Одним з напрямів дослідження є аналіз психологічного впливу 3D-фрактальної генерації та анімації на сучасного глядача. Наукові дослідження намагаються розглянути, як занурення у фрактальні світи змінює емоційне сприйняття людини. Важливим напрямом є дослідження 3D-фрактальної генерації в контексті сучасної кіноіндустрії, дизайну одягу, реклами та мультимедійного дизайну.

Бенуа Мандельброт – засновник фрактальної геометрії та автор книги «Фрактальна геометрія природи», хоча не створював анімацію, проте його роботи заклали математичні засади фракталів. Він запровадив поняття «самоподібності» і показав,

як фрактали можуть використовуватись для моделювання складних природних форм. Ці ідеї стали фундаментом для візуалізації фракталів та їхньої анімації (Mandelbrot, Benoit B. 2014).

Фізик Кеннет Ліббрехт написав серію статей та книг про фрактальні структури, які можуть бути анімовані для моделювання природних форм. Він досліджує фрактальні структури, які зустрічаються в природі, такі як сніжинки та кристали, що надихає на створення анімації природних фракталів (Haggarty Holly, 2023).

Барнслі М. Ф., Девані Р. Л. та інші. – автори книги «Наука фрактальних зображень», присвятили свої дослідження комп'ютерній графіці фракталів. Вони пояснюють, як фрактали можна застосовувати для створення складних зображень та анімації, використовуючи алгоритми, такі як рекурсивний поділ та ітераційні системи (Barnsley M. F., Devaney R. L. and others. 1988).

Лорен Карпентер – один із засновників компанії Pixar, використовував фрактальні методи для створення візуальних ефектів в анімації, зокрема для моделювання ландшафтів. Він розробив фрактальні алгоритми, засновані на фрактальній геометрії, для створення реалістичних природних пейзажів, які можуть бути анімовані (Loren Carpenter, 1980).

Джон Маеда у книзі «Дизайн за номерами» досліджує комп'ютерні алгоритми створення візуальних зображень, включаючи фрактальні форми. Він описує, як фрактальна анімація може стати частиною візуальної мови дизайнера та використовуватися для створення унікальних ефектів у мультимедіа (John Maeda, 2001).

Пол Бурк у своїх численних статтях про фрактальну графіку в мультимедійному дизайні досліджує, як фрактальні патерни можуть застосовуватися в інтерактивних проєктах та дизайні інтерфейсів, що забезпечують унікальний користувацький досвід та візуальне багатство (Paul Bourke, 2017).

Келлі Е. Роблес, Мішель Робертс та ін. в роботі «Естетика та психологічні ефекти фрактального дизайну» аналізують дуже поширені у природі фрактальні візерунки, що мають самоподібні, повторювані в різних масштабах компоненти. Автори доказують, що включення таких природних візерунків може вплинути на сприйняття створеного людиною дизайнерського середовища. (Kelly E. Robles, Michelle Roberts et al. 2021).

Ян Ван. Нін Чжан та ін. в публікації «Анімаційний дизайн з використанням моделювання віртуальної реальності та технології фрактального морфінгу» досліджують алгоритми фрактальної

ітерованої функціональної системи (IFS) для моделювання ефекту анімації рослин, що коливаються в природних умовах. Результати моделювання підтверджують ефективність запропонованого методу. (Yan Wang, Ning Zhang, and others 2022).

Цзін Тан у роботі «Дослідження візуального комунікаційного ефекту рекламного артдизайну на основі фрактальної геометрії» розглядає фрактальну геометрію, що ґрунтується на математичній геометрії, а також її застосування у комп'ютерних технологіях, пов'язаних з дизайном. Дослідник підкреслює сильну конкурентну перевагу використання фрактальної генерації у рекламному дизайні (Jing Tang 2025).

У своїх наукових дослідженнях автори звертають увагу на особливості програм для 3D-фрактальної генерації, необхідних для якісної реалізації фрактальної графіки та анімованого 3D-середовища. Дослідники часто акцентують увагу на технічних обмеженнях та непередбачуваності отриманого результату.

Українські дослідження фрактальної графіки часто базуються на зарубіжних джерелах або прикладах, оскільки власна база проєктів і досліджень ще перебуває на стадії формування.

Мета дослідження – визначити педагогічний потенціал фрактальної графіки та анімації у розвитку креативного мислення студентів, які навчаються за напрямом «Мультимедійний дизайн», а також розробити методичні підходи щодо використання фрактальних технологій в освітньому процесі.

Виклад основного матеріалу. Сучасна освіта у сфері мультимедійного дизайну вимагає від студентів не лише оволодіння професійними програмними інструментами, а й розвитку креативного мислення, здатного забезпечувати створення оригінальних, естетично виразних та технологічно досконалих проєктів. В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливої актуальності набуває використання інноваційних візуальних засобів, серед яких значне місце займає фрактальна графіка та заснована на ній фрактальна анімація.

Фрактальна графіка є напрямом комп'ютерного моделювання, заснованим на математичних алгоритмах, що створюють складні самоподібні структури. Такі форми, за своєю природою близькі до об'єктів живої та неживої природи, дозволяють студентам усвідомити закономірності побудови візуального простору та розширити уявлення про взаємозв'язок мистецтва і науки.

Фрактальний світ – дивовижний, величезний та різноманітний. Фрактали зачаровують, підкорюють, проте завжди непередбачувані.

Естетична привабливість та унікальність фрактальних зображень характеризуються складністю структури та оригінальністю шаблонів, які неможливо отримати звичайними методами. Такі зображення створюють неповторний візуальний ефект, що запам'ятовується і вирізняється серед інших проєктів. Це робить фрактальне мистецтво популярним у графічному та мультимедійному дизайні.

У ході роботи та аналізу було виявлено кілька причин, чому фрактальна анімація стає популярною. Фрактальні форми мають абстрактний, але природний вигляд, що дозволяє художникам і дизайнерам працювати з геометрією, у якій простежуються форми рослин, морських істот чи природних ландшафтів. Це викликає асоціації з природою та концепцією нескінченності фантастичних світів.

Фрактальні анімації створюють ілюзію 3D-глибини, що додає інтерактивності та ефекту зачарування, особливо на великих екранах. Такі роботи, виконані із застосуванням фрактальної генерації, широко використовуються в цифрових інсталяціях та відеомапінгу.

Фрактальні анімації часто використовуються в рекламі, інтерактивному дизайні, музичних кліпах та кіноіндустрії, щоб привернути увагу глядача. Їх можна зустріти і в анімаціях логотипів, заставках та інтерфейсах мобільних додатків.

На основі зробленого аналізу для створення унікальних ефектів з використанням фрактальної анімації у роботі з студентами 3 курсу кафедри мультимедійного дизайну ХДАДМ застосовує такі прийоми та методи:

- Плавні зміни масштабу (Zoom Animation). Плавний зум у фрактальній анімації створює ефект подорожі вглиб структури, розкриваючи найдрібніші деталі. Для додавання динаміки можна використовувати параметри плавного масштабування з прискоренням та уповільненням.

- Модифікація параметрів кольору та освітлення. Колір відіграє важливу роль у фрактальній анімації. Змінюючи палітру та інтенсивність кольору, можна створити унікальні ефекти переходу між шарами чи рівнями фракталу. Наприклад, можна використовувати градієнти, які плавно переходять від одного кольору до іншого, або додати підсвічування для створення більш «живого» ефекту.

- Переміщення по фрактальній площині (Pan Animation). Замість того щоб просто наблизитися, можна переміщатися по площині фракталу, відкриваючи нові візерунки та структури, що повторюються. Це додає глибину і робить анімацію більш динамічною та захопливою.

- Класичні фрактали часто представлені у 2D, але 3D-формати, такі як Мандельбулб або Мандельбокс, дають можливість створювати тривимірні сцени. Додаючи обертання або зміни освітлення, можна досягти дивовижних ефектів об'єму та просторової глибини.

- Поєднання фракталів з іншими типами анімації. Фрактальні ефекти можна інтегрувати з анімацією частинок, шумом або іншими візуальними ефектами, щоб створити складніші візуальні сцени. Наприклад, додавши шари серпанку чи світла, можна зробити фрактали більш містичними або фантастичними.

- Музична синхронізація (Music Synchronization). Анімація фракталів, синхронізована з музикою, додає ритмічної динаміки. Зміни кольору, розміру та інтенсивності ефектів можуть відбуватися в такт музиці, створюючи захопливий візуальний досвід.

- Ітеративні зміни форми. В анімаціях можна поступово змінювати форму фракталу, маніпулюючи коефіцієнтами формули. Це може виглядати як трансформація або плавний перехід від однієї форми до іншої, створюючи ілюзію «живого» фракталу.

Для створення фрактальних анімацій студенти використовують програму Mandelbulb 3D – інструмент для створення тривимірних фракталів, що дозволяє генерувати деталізовані ландшафти та анімації, придатні для візуалізації у творчих та наукових проєктах. Blender та After Effects – програми, які дають можливість створювати як статичні, так і анімаційні фрактальні зображення для композитингу 3D-анімації.

Фрактальна анімація як міждисциплінарний інструмент відкриває перед студентами-дизайнерами нові перспективи розвитку навичок і регулювання взаємодії між різними галузями знань. Включення фрактальної анімації до освітнього процесу допомагає здобувачам освіти опанувати широкий спектр компетенцій, поєднуючи математику, програмування, візуальне мистецтво та філософію. Такий розвиток міждисциплінарних навичок робить фрактальну анімацію цінним елементом у підготовці майбутніх фахівців, здатних створювати інноваційні проєкти та адаптуватися до вимог сучасного світу.

У результаті аналізу інформації визначено, чому фрактальна анімація є важливим елементом навчального плану для дизайнерів мультимедіа.

Розвиток креативного мислення та навичок візуального аналізу. Фрактали створюють можливість для нескінченних візуальних варіацій, що стимулює креативність і дозволяє студентам знаходити нестандартні підходи до створення гра-

фіки. Робота з фрактальною анімацією допомагає краще розуміти взаємозв'язки між формою, структурою та кольором, що важливо для розробки унікальних і виразних мультимедійних проєктів.

Створення унікальних текстур та візуальних ефектів. Знання фрактальної анімації дозволяє студентам розробляти складні текстури та ефекти, які можна застосовувати у дизайні ігор, відеороликах, а також в інтерактивних і VR-проєктах.

Поглиблене розуміння природних форм та їх візуалізація. Розуміння фрактальних структур допомагає студентам відтворювати форми, схожі на природні об'єкти – дерева, хмари, гори. Це особливо корисно при моделюванні ландшафтів і створенні реалістичних сцен у 3D-графіці.

Розширення технічних можливостей у сучасних мультимедійних середовищах. Фрактальна анімація знаходить широке застосування у віртуальній та доповненій реальності. Освоєння цього інструмента дає студентам конкурентну перевагу, дозволяючи працювати з передовими технологіями та розвивати професійні компетенції.

Вивчення фрактальної анімації для студентів мультимедійного дизайну має практичну, креативну та технічну значущість. Воно допомагає розширити світогляд, стимулює інноваційний підхід до створення графіки, розвиває важливі для професії навички та готує майбутніх фахівців до успішної роботи у цифровому середовищі.

Створення багатопланових візуалізацій за допомогою фрактальної анімації дозволяє дизайнерам та художникам досягати глибини та динаміки при створенні складних композицій. Багатоплановість у таких візуалізаціях створює унікальний ефект тривимірності та просторовості. Процес створення багатопланових фрактальних візуалізацій потребує низки методів, включаючи використання різних алгоритмів, підбір кольорів і текстур, а також накладання анімаційних ефектів.

Дослідження показують, що спостереження за фрактальними структурами має заспокійливий вплив на глядача. Плавні, нескінченно повторювані патерни фрактальної анімації можуть використовуватися для створення зон відпочинку або релаксації в освітніх застосунках, що сприяє концентрації та зниженню стресу.

Анімація фракталів також активно використовується в інтерактивних інсталяціях та генеративному мистецтві. За допомогою алгоритмів фрактали можуть безперервно змінюватися залежно від дій спостерігачів або зовнішніх факторів (наприклад, звуку, світла чи руху), що створює унікальний видовищний досвід. Наприклад, фрактальні візерунки можуть бути візуалізовані під час заходів або виставок, стаючи частиною артінсталяцій.

Проведене дослідження дозволило визначити, що використання фрактальної графіки та анімації в освітньому процесі підготовки фахівців з мультимедійного дизайну має значний педагогічний та методичний потенціал.

Під час аналізу теоретичних джерел та практичного досвіду застосування фрактальної графіки у цифровому мистецтві з'ясовано, що робота з фрактальними структурами стимулює у тих, хто навчається, інтерес до дослідження закономірностей природних та штучних форм, сприяє розвитку просторової уяви та візуально-асоціативного мислення. Фрактальні зображення та анімації дозволяють студентам усвідомити взаємозв'язок між мистецтвом, математикою та програмуванням, що розширює їхнє уявлення про творчість як про процес взаємодії естетичних і наукових категорій.

Використання фрактальної графіки у навчальних проєктах сприяє формуванню інтегративного типу мислення, що є ключовим для фахівців із мультимедійного дизайну. Такий підхід забезпечує розвиток у студентів здатності до створення оригінальних візуальних концепцій, до експериментального пошуку художніх рішень, а також формує навички алгоритмічного та структурного мислення, необхідні для професійної діяльності дизайнера.

У педагогічному аспекті фрактальна графіка та анімація виступають як ефективний засіб активізації творчого потенціалу студентів, оскільки передбачають самостійний пошук, експериментування та аналіз результатів візуальних перетворень. Освітня цінність фрактальних технологій полягає в їхній універсальності та міждисциплінарному характері: вони поєднують естетичні, математичні та технологічні засади, що робить їх особливо актуальними в умовах сучасного цифрового освітнього середовища.

Висновки. Таким чином, фрактальна графіка та анімація можуть розглядатися як інноваційний засіб розвитку креативного мислення студентів, які навчаються за спеціальністю «Мультимедійний дизайн». Їхнє включення в навчальний процес сприяє підвищенню ефективності підготовки майбутніх дизайнерів, формуванню їхньої творчої самостійності, здатності до міждисциплінарного синтезу знань, а також професійної готовності до роботи в умовах постійно змінюваної цифрової культури.

Отримані результати дослідження підтверджують необхідність подальшої розробки методичних підходів та навчальних матеріалів, спрямованих на системне впровадження фрактальних технологій у освітній процес, а також проведення експериментальних і практикоорієнтованих досліджень, що дадуть змогу глибше розкрити їхній потенціал у розвитку художнього та інноваційного мислення студентів-дизайнерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barnsley M. F., Devaney R. L. and others. The Science of Fractal Images. New York: Springer-Verlag, 1988. 336 с. URL: https://archive.org/details/scienceoffractal0000unse_1987 (дата звернення: 16.10. 2025).
2. Bourke P. Visualising Volumetric Fractals. GSTF Journal on Computing (JoC). 2017.Vol. 5 №2. P. 58-62. URL: <https://paulbourke.net/papers/joc2017/paper.pdf> (дата звернення: 16.10. 2025).
3. Haggarty H. Dr. Kenneth Libbrecht, Scientist and Artist. Journal of the Canadian Association for Curriculum Studies. 2023. Vol.20 №.2-3. URL:https://www.academia.edu/143524805/Dr_Kenneth_Libbrecht_Scientist_and_Artist (дата звернення: 16.10. 2025).
4. Jing T. Research on Visual Communication Effect of Advertising Art Design Based on Fractal Geometry. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2025. Volume 10. URL:<https://amns.sciendo.com/article/10.2478/amns-2025-0360> (дата звернення: 16.10. 2025).
5. Kelly R., Michelle R. Aesthetics and Psychological Effects of Fractal Based Design. Psychology. Sec. Environmental Psychology. 2021. Volume 12. URL:<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.699962/full> (дата звернення: 15.10. 2025).
6. Loren C. Computer rendering of fractal curves and surfacesю. ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 1980. Volume 14, № 5. URL: https://www.academia.edu/115125781/Computer_rendering_of_fractal_curves_and_surfaces (дата звернення: 16.10. 2025).
7. Maeda J. Design by Numbers. The MIT Press, 2001. 63с. URL: https://books.google.com.ua/books?id=cptXSf5kS_IC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (дата звернення: 14.10. 2025).
8. Mandelbrot, Benoit B. The fractal geometry of nature. San Francisco: WH Freeman, 2014. 504с. URL: <https://archive.org/details/fractalgeometry00beno> (дата звернення: 16.10. 2025).
9. Yan W., Ning Z., and others. Animation design using virtual reality modeling and fractal morphing technology. Special Issue on Dynamical Systems and Their Applications to Engineering, Economy and Health Sciences, Fractals. 2022. Vol. 30, №. 02. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218348X22401004?srsId=AfmBOoolv2v19jx7b3gUbZh dCosdPkyzDk68tS6C1B6NeOLNfDg28DGw> (дата звернення: 17.10. 2025).

REFERENCES

1. Barnsley M. F., Devaney R. L. and others. (1988) The Science of Fractal Images. New York: Springer-Verlag. 336 с. URL: https://archive.org/details/scienceoffractal0000unse_1987 (дата звернення: 16.10. 2025).
2. Bourke P. (2017) Visualising Volumetric Fractals. GSTF Journal on Computing (JoC). Vol.5 No.2. P. 58-62. URL: <https://paulbourke.net/papers/joc2017/paper.pdf> (дата звернення: 16.10. 2025).
3. Haggarty H. (2023) Dr. Kenneth Libbrecht, Scientist and Artist. Journal of the Canadian Association for Curriculum Studies. Vol.20 №.2-3. URL: https://www.academia.edu/143524805/Dr_Kenneth_Libbrecht_Scientist_and_Artist (дата звернення: 16.10. 2025).
4. Jing T. (2025) Research on Visual Communication Effect of Advertising Art Design Based on Fractal Geometry. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. Volume 10. URL: <https://amns.sciendo.com/article/10.2478/amns-2025-0360> (дата звернення: 16.10. 2025).
5. Kelly R., Michelle R. (2021) Aesthetics and Psychological Effects of Fractal Based Design. Psychology. Sec. Environmental Psychology. Volume 12. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.699962/full> (дата звернення: 15.10. 2025).
6. Loren C. (1980) Computer rendering of fractal curves and surfacesю. ACM SIGGRAPH Computer Graphics. Volume 14, № 5. URL: https://www.academia.edu/115125781/Computer_rendering_of_fractal_curves_and_surfaces (дата звернення: 16.10. 2025).
7. Maeda J. (2001) Design by Numbers. The MIT Press. 63 с. URL: https://books.google.com.ua/books?id=cptXSf5kS_IC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (дата звернення: 14.10. 2025).
8. Mandelbrot, Benoit B. (2014) The fractal geometry of nature. San Francisco: WH Freeman. 504с. URL: <https://archive.org/details/fractalgeometry00beno> (дата звернення: 16.10. 2025).
9. Yan W., Ning Z., and others. (2022) Animation design using virtual reality modeling and fractal morphing technology. Special Issue on Dynamical Systems and Their Applications to Engineering, Economy and Health Sciences, Fractals. Vol. 30, №. 02. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218348X22401004?srsId=AfmBOoolv2v19jx7b3gUbZh dCosdPkyzDk68tS6C1B6NeOLNfDg28DGw> (дата звернення: 17.10. 2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 18.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 10.12.2025

Дата публікації: 30.12.2025