

УДК 004.65:004.92
DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_243

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ БАЗЫ ДАННЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОРНАМЕНТОВ**

**METHODOLOGY FOR DEVELOPING A DATABASE OF FRACTAL IMAGES
FOR TEXTILE ORNAMENTS**

А.В. ФИРСОВ, Г.И. БОРЗУНОВ, Л.Б. КАРШАКОВА, П.А. НОВИКОВА, Н.А. ДОБРОВОЛЬСКАЯ
A.V. FIRSOV, G.I. BORZUNOV, L.B. KARSHAKOVA, P.A. NOVIKOVA, N.A. DOBROVOLSKAYA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: nadejda_dobro@mail.ru

В статье представлена методика разработки базы данных фрактальных изображений для текстильных орнаментов. Фракталы используются дизайнерами для создания сложных орнаментов, и методика призвана помочь им в работе с фракталами, улучшить опыт взаимодействия с ними.

В данной работе представлена разработка исходных требований к классификации фракталов. Предложена следующая классификация: геометрическая доминанта формы, цвет, математические модели, оценка цветовой гаммы. Каждый из параметров классификации важен и будет использоваться для поиска фракталов в базе данных. Геометрическая доминанта формы поможет определиться с желаемыми паттернами на изображении, такими как круги, треугольники или что-то более сложное, например Кривая Дракона или солнце. Три главных цвета предоставят широкий поиск изображений по цветам и цветовым сочетаниям. Оценка цветовой гаммы может помочь найти изображение с нужным настроением. Математические модели дадут четкое представление о методах генерации фрактального изображения.

По предложенной методике разработана база данных, хранящая в себе фракталы, созданные в среде графического редактора GIMP. Разработанная база данных открыта для пополнения фрактальными изображениями, созданными в других программах или даже с помощью нейросетей.

The article presents a methodology for developing a database of fractal images for textile ornaments. Fractals are used by designers to create complex ornaments, and the methodology is intended to help them in working with fractals and improve the experience of interacting with them.

This paper presents the development of initial requirements for classifying fractals. The following classification was proposed: geometric dominant of form, color, mathematical models, color gamut assessment. Each of the classification parameters is important and will be used to search for fractals in the database. The geometric dominant form will help to determine the desired patterns in the image, such as circles, triangles, or something more complex, such as the Dragon Curve or the sun. Three main colors will provide a wide search for images by colors and color combinations. Color gamut assessment can help find an image with the desired mood. Mathematical models will give a clear idea of the methods of generating a fractal image.

According to the proposed method, a database was developed storing fractals created in the GIMP graphic editor environment. The database is open to expansion with fractal images created in other programs or even using neural networks.

Ключевые слова: фракталы, база данных, фрактальные изображения, текстильные орнаменты, фрактальные орнаменты, методика разработки базы данных, требования к классификации фракталов, база данных с фрактальными изображениями.

Keywords: fractals, database, fractal images, textile ornaments, fractal ornaments, database development methodology, fractal classification requirements, fractal image database.

Введение

В последние десятилетия фракталы набирают все большую популярность, являются инструментом современных научных исследований, инженерных разработок и художественного творчества. Фрактал –

множество, обладающее свойством самоподобия, объект, в точности или приближенно совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей [1]. Термин «фрактал»

был введен Бенуа Мандельбротом и получил широкую известность с выходом его книги «Фрактальная геометрия природы».

Со стороны дизайнеров [2] и математиков [3, 4] явно прослеживается интерес к фрактальным орнаментам. В пространстве городов сегодня публично артикулируются фрактальные скульптурные объекты, концептуализирующие сущность цифровой эпохи и нового мировидения [5]. Фракталы могут быть использованы в различных формах искусства, включая живопись, графический дизайн, архитектуру, музыку и даже видео-арт. В целом фрактальная графика позволяет дизайнерам и художникам создавать красивые и оригинальные произведения искусства, которые могут вызвать множество эмоций у зрителей [6].

Фракталы могут быть применены и для создания сложных и поражающих воображение орнаментов [7]. Однако на данный момент для масштабных проектов с использованием фрактальных орнаментов дизайнерам не хватает специализированных инструментов. Не существует большой базы данных, где аккумулируются решения реализованных проектов и можно было бы найти красивые фракталы, максимально близкие к образу декоративного решения проекта, над которым дизайнер работает в данный момент. Разработка такой базы данных требует учета особенностей фракталов на методическом уровне. Данная статья посвящена решению этой актуальной проблемы: методике создания большой и удобной для дизайнеров базы данных с фрактальными изображениями.

Методы исследования

Для разработки базы данных фрактальных изображений использовалось программное обеспечение GIMP (версия 2.10.38) [8] и PostgreSQL (версия 17) [9]. Среда графического редактора GIMP обладает развитым функционалом и обеспечивает базовые операции с точечным изображением, что является необходимым требованием для подготовки изображений перед их размещением в базе данных. На основании результатов экспериментов выработаны рекомендации по выбору фильтров. В перспективе на основе этих рекомендаций будет

осуществлена автоматизация процесса подбора фильтров для конкретных изображений [10]. Предполагается, что это будет опциональный перебор всех возможных вариантов с дальнейшим выбором наиболее сочетающихся между собой фильтров. Также будут подобраны оптимальные параметры у каждого фильтра.

Для создания и управления базой данных использовалась свободная объектно-реляционная система PostgreSQL, которая предоставляет широкий выбор инструментов и подходит для разработки базы с фрактальными изображениями.

Эксперименты проводились на персональном компьютере с операционной системой Windows 11, процессором Intel Core i5 и оперативной памятью 16 ГБ. Фракталы генерировались на основе алгоритмов Мандельброта, Жюлиа, Серпинского и других с настройками масштаба (левая, правая сторона и верх или низ от -3.0 до 3.0), числа повторов (10–1000) и комплексных чисел CX, CY (диапазон от -2.5 до 2.5) для любого типа фрактала, кроме Мандельброта. Все разработки выполнены с учетом прошлых наработок [11].

Данная научная работа содержит следующие этапы исследования: разработка исходных требований к классификации фрактальных изображений, программная генерация фрактальных изображений, компьютерная обработка полученных изображений с целью их размещения в базе данных, создание структуры базы данных на основе PostgreSQL, помещение фракталов в созданную базу данных.

Корректность визуализации фрактальных изображений проверялась путем сравнения сгенерированных изображений с эталонными образцами, созданными с использованием проверенных алгоритмов и инструментов, таких как специализированные библиотеки для генерации фракталов.

Разработка классификации фрактальных изображений

Создание базы данных с фракталами начинается с разработки классификации фрактальных изображений, определяющей логическую структуру хранения и доступа к информации. В качестве исходных требо-

ваний к классификации фрактальных изображений предложены следующие категории: геометрическая доминанта формы, цвет, математические модели, оценка цветовой гаммы. Ниже рассматриваются характеристики каждой из указанных категорий.

Геометрическая доминанта формы

Каждый фрактал имеет свою уникальную геометрическую доминанту формы (рис. 1 – пример фракталов с различными доминантами формы). Она может варьироваться от простых кругов и треугольников до сложных фигур, которые возможно описать только существующими предметами или математическими структурами. Например, одной из таких структур является Кривая Дракона [12]. При классификации учитывались основные элементы геометрии, такие как линии, углы, кривые и их взаимное расположение. В базе данных авторы используют такие геометрические доминанты формы, как «молния» (рис. 1, а), «волна» (рис. 1, б), «спираль» (рис. 1, в), «солнце» (рис. 1, г) и другие. Геометрическая доминанта формы определялась преимущественно по форме границ ярко выраженных объектов и взаимному расположению четких линий. Например, если на изображении был виден круг и исходящие из него лучи, то геометрическая доминанта формы определялась как «солнце». Если линии завивались и складывались в одну или несколько спиралей, то геометрическая доминанта формы определялась как «спираль».

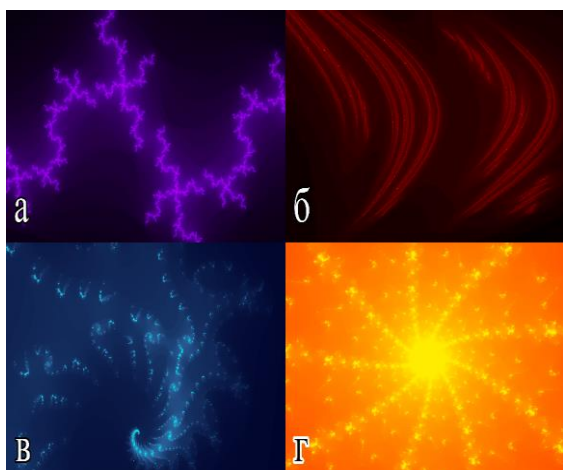


Рис. 1

Цвет

Цвет является одним из наиболее заметных и выразительных параметров при классификации фрактальных изображений. Ученые проводили исследования в данной области [13]. Стоит отметить, что важно учитывать не только общий цвет, но и его оттенки, которые могут значительно влиять на восприятие изображений. Фракталы разделены на категории по трем основным цветам: первичному, вторичному и третичному.

На основании повернутого на 3 сектора цветового круга Йоханнеса Иттена предложена модель цветовой гаммы, коды которой отражают характеристики тона, насыщенности, светлоты, температуры (см. рис. 2). Разработана новая методика оценки цветовой гаммы, основанная на анализе трех основных цветов с применением 12-секторного цветового круга, включающего по три оттенка на каждый сектор (рис. 2 – разработанный авторами специальный 12-секторный цветовой круг).

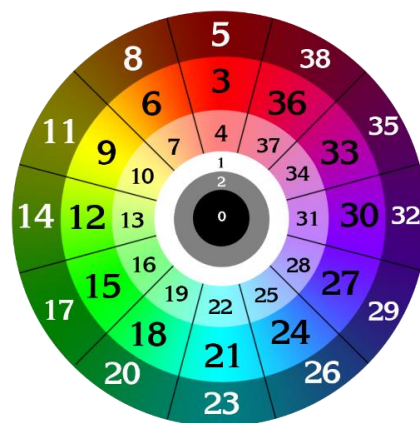


Рис. 2

Так как основа разработанной модели оценки цветовой гаммы – это 12-секторный круг, то он содержит в себе 360 градусов, а каждый сектор – 30 градусов. Ось 0 градусов проходит посередине красного сектора (цифры 3, 4, 5), соответственно, этому сектору будут принадлежать значения Н в диапазоне от 346 до 359 и от 0 до 15. Оранжевому сектору уже будут принадлежать значения от 16 до 45, далее желтый – от 46 до 75. Для удобства составлена табл. 1.

1(3)	2(6)	3(9)	4(12)	5(15)	6(18)	7(21)	8(24)	9(27)	10(30)	11(33)	12(36)
345-359, 0-14	15-44	45-74	75-104	105-134	135-164	165-194	195-224	225-254	255-284	285-314	315-344

Для определения главных цветов при помощи инструментов GIMP изображение переводилось в индексированный по 3 цветам режим. Данные 3 цвета определялись как главные. Далее оценивалось, какой из цветов главный, второстепенный и третьестепенный. Для этого использовались инструменты графического редактора GIMP: в данной программе с помощью гистограмм можно определить число пикселей определенного цвета на изображении. Если цвет имел наибольшее число пикселей, он определялся как главный, если число пикселей было средним, то цвет определялся как второстепенный, а наименьшее число пикселей принадлежало третьестепенному цвету.

Математические модели

Основой для создания фракталов являются математические формулы и алгоритмы. Фракталы для базы данных генерировались в среде графического редактора GIMP при помощи фильтра «Исследователь фракталов» (рис. 3 – пример параметров генерации фракталов в GIMP).

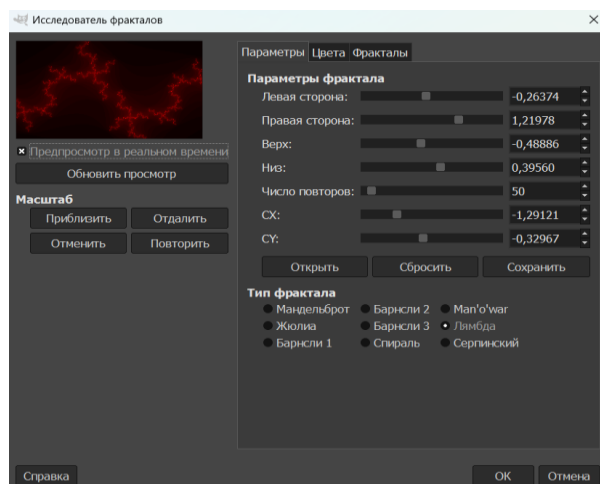


Рис. 3

Данный фильтр позволяет генерировать фракталы нескольких типов: Мандельброт, Жюлиа, Барнсли (1-го, 2-го или 3-го вида) [14], Спираль, Ман'о'вар, Лямбда и Серпин-

ский. Все типы фракталов, кроме последнего, строятся на использовании комплексных чисел и итераций. Тип фрактала Серпинский не использовался для генерации изображений в данном исследовании, потому что не дал интересных результатов.

На основе множеств Мандельброта и Жюлиа генерируются самые известные фрактальные картины. Сгенерированные на основе фрактала Барнсли 1 вида изображения характеризуются четко выраженными треугольниками и в целом «геометричным» рисунком. Иногда треугольники имеют свойство выстраиваться в целые спирали. В изображениях, сгенерированных на основе Барнсли 2 вида, также могут присутствовать треугольники, и, как правило, они нередко выстраиваются в Кривые Дракона [12]. Для изображений, созданных на основе Барнсли 1 и 2 вида, характерны довольно резкие переходы цвета. Если генерировать изображение на основе фрактала Барнсли 3 вида, то можно нередко получить линии, образующие волны (рис. 1, б) или рябь на воде. Несмотря на то, что это все еще тип фрактала Барнсли, 3 вид сильно отличается от прошлых двух.

Тип фрактала Спираль не просто так носит подобное название: изображения на его основе и правда часто содержат спирали с плавными переходами цветов.

Изображения, сгенерированные на основе менее известного фрактала Ман'о'вар (рис. 1, в, г), характеризуются своей еще большей плавностью по сравнению с изображениями на основе типа Спираль.

Фракталы, сгенерированные на основе последнего типа – Лямбда (рис. 1, а), очень напоминают фракталы, созданные на основе Жюлиа, но имеют немного другое "поведение" при изменении параметров.

Кроме типа фрактала, для генерации в GIMP нужны специальные математические параметры: левая сторона, правая сторона, верх и низ, отвечающие за масштаб и степень растянутости изображения; число по-

второв, отвечающее за "дальность прорисовки" фрактала; CX и CY , отвечающие за комплексное число в формуле фракталов. Каждый параметр очень важен при генерации и может сильно повлиять на результат при малейшем изменении цифры. Стоит отметить, что, если за основу взято множество Мандельброта, параметры CX и CY будут отсутствовать из-за алгоритмов построения самого множества: комплексное число не фиксировано.

Оценка цветовой гаммы

Оценка цветовой гаммы включает анализ цветового баланса фрактала. Она может быть определена как холодная, теплая или ахроматическая (черно-белая) [15]. Основа методики определения оценки цветовой гаммы взята из [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Особая шкала температуры цвета, нанесенная на 24-секторный цветовой круг для определения оценки цветовой гаммы, представлена на рис. 4.

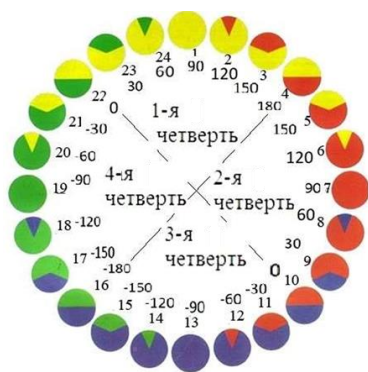


Рис. 4

Перед определением оценки цветовой гаммы изображение индексировалось по 8 цветам, а полученные цвета палитры рассматривались в цветовой модели HSV. Если все цвета по значениям компоненты H (диапазон одного сектора составляет 15 градусов) принадлежали секторам только с

положительной температурой, то оценка цветовой гаммы считалась теплой. Если все цвета были с отрицательной температурой, то оценка цветовой гаммы считалась холодной. Если изображение было черное, серое, белое или смесью данных цветов, то оценка цветовой гаммы определялась как ахроматическая. В остальных случаях считалась средняя температура: записывались все значения компоненты H , определялись сектора, в которые попадают цвета, находилась их температура и считалась средняя температура как сумма всех значений температур цветов, деленная на количество цветов, в данном случае на 8. Если средняя температура оказывалась выше нуля, оценка цветовой гаммы определялась как теплая, а если ниже нуля – холодная.

Результаты и дальнейшие перспективы разработки

Каждый из параметров классификации важен и будет использоваться для поиска фракталов в базе данных. Таким образом, данные параметры классификации – важнейшая часть базы данных. Геометрическая доминанта формы поможет определиться с желаемыми паттернами на изображении, такими как круги, треугольники или что-то более сложное, например Кривая Дракона или солнце. Три главных цвета дадут широкий поиск изображений по цветам и цветовым сочетаниям. Оценка цветовой гаммы поможет найти изображение с нужным настроением.

В соответствии с приведенной выше классификацией в базе данных, созданной при помощи PostgreSQL, размещены данные о 51 созданном автором фрактале. Сгенерированы фракталы во всем доступном в 12-секторном круге диапазоне цветов, все подходящие для генерации типы фракталов использованы и проанализированы.

fracta_name	ID	geometric_dominant	color_sheme_evaluation	first_color	second_color	third_color	fracta_type	fracta_url	left_side
fireSpiral	27	спираль	тёплый	чёрный	белый	красный	Спираль	D:\Nady...	-0.3956
dolinaMorskiiKonkov	3	спираль	тёплый	чёрный	светло-красный	тёмно-красный	Спираль	D:\Nady...	-0.13187
galaxy	50	спираль	тёплый	чёрный	тёмно-красный	светло-красный	Man'owar	D:\Nady...	-0.1978
konekGoribunok	8	спираль	тёплый	чёрный	бежевый	красный	Man'owar	D:\Nady...	-1.43707

Рис. 5

Созданные фракталы хранятся в папках в соответствии с сектором главного цвета. На данный момент база протестирована на корректность поиска с помощью запросов на SQL. Все данные корректно отображаются при запросах (рис. 5 – результаты запроса: "геометрическая доминанта формы – спираль и главный цвет – черный). В настоящее время база поддерживает только фрактальные изображения, созданные в программе GIMP.

Планируется расширение базы и добавление фракталов, созданных в других программах. Рассматривается добавление фракталов, сгенерированных в нейросетях. В графическом редакторе GIMP существуют и другие фильтры для создания фракталов, которые можно использовать в дальнейшем. Также в будущем дизайнерам будет предложен интерфейс для поиска фракталов и создания текстильных орнаментов на основе фрактальных изображений.

Заключение

В данной научной статье описана разработанная авторами методика создания базы данных с фрактальными изображениями. Предложены категории фрактальных изображений, без которых архитектура базы может оказаться непригодной для использования. Параметры классификации являются ключами к поиску нужного дизайнеру фрактала и последующему созданию текстильного орнамента из полученного фрактального изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы // W. H. Freeman and Company, Macmillan Higher Education, издательство Macmillan. Нью-Йорк, 1982. 954 с.
2. *Ван В., Чжан Г., Ян Л., Ван В.* Исследование дизайна выкроек одежды на основе фрактальной графики // EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2019 (1). – DOI:10.1186/s13640-019-0431-x.
3. *Robles K.E., Roberts M., Viengkham C. etc.* Эстетика и психологические эффекты дизайна на основе фракталов // *Frontiers in Psychology*. 2021. Т. 12, статья 699962. – DOI: 10.3389/fpsyg.2021.699962
4. *Белая Н.Л., Иванов Б.Ф.* Математика для дизайнеров. СПб.: СПбГУПТД, 2024. 213 с. – ISBN: 978-5-91646-367-5
5. *Петушкова Т.А.* Перспективные прикладные исследования и инновации в дизайне // Перспектив-

ные прикладные исследования и инновации: сб-к статей междунар. науч. конф. СПб., 2023. С. 11...14.

6. *Курилов Н.Е., Новикова П.А.* Использование авторских фрактальных изображений при создании инсталляций // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2023. С. 29...33.

7. *Аксенова А.Н., Морозова Е.В.* Использование математического метода Мандельброта в современном дизайне // *Дизайн и технологии*. 2012. № 29 (71). С. 6...13.

8. <https://www.gimp.org/downloads/> (дата обращения 02.06.2025)

9. <https://www.pgadmin.org/download/> (дата обращения 02.06.2025)

10. *Борзунов Г.И., Новикова П.А.* Подготовка схем для вышивки стеклярусом с использованием фильтров графического редактора GIMP // *Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник РГХПУ им. С.Г. Строганова*. 2020. № 4-1. С. 294...301.

11. *Добровольская Н.А., Каршакова Л.Б., Борзунов Г.И.* Разработка базы данных с фрактальными орнаментами // *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сб-к матер. Всерос. науч. конф. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина*, 2024. Ч. 2. С. 254...258.

12. *Суслов И.А., Кулеша А.А.* Кривые Дракона // *Россия – творческую молодежь: матер. XVII Всерос. науч.-практ. студ. конф. Волгоград*, 2024. С. 125...128.

13. *Нуралиев Ф.М., Эгамбердиев Н., Тастанова С.А.* Исследование влияния цветовых параметров на восприятие ковровых дизайнов с использованием фрактальных изображений // *Проблемы машиноведения: матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. Омск*, 2023. С. 87...91.

14. *Барнсли М.Ф.* Фракталы повсюду // *Academic Press, Сан-Диего*, 1988. 394 с.

15. *Иттен Иоханнес.* Искусство цвета [пер. с нем.]. М.: Изд. Д. Аронов, 2000. 96 с.

16. *Борзунов Г.И., Фирсов А.В., Новиков А.Н., Степаненко М.Ю.* Индексация контраста холодного и теплого в цветных изображениях // *Дизайн и технологии*. 2022. № 91-92(133-134). С. 42...48.

REFERENCES

1. *Mandelbrot B.* Fractal geometry of nature // W.H. Freeman and Company, Macmillan Higher Education, Macmillan Publishing House. New York, 1982. 954 p.
2. *Wang V., Zhang G., Yang L., Wang V.* A study of the design of clothing patterns based on fractal graphics // *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019 (1). – DOI:10.1186/s13640-019-0431-x.
3. *Robles K.E., Roberts M., Viengkham C. etc.* Aesthetics and psychological effects of fractal-based design // *Frontiers in Psychology*, 2021. Vol. 12, article 699962. – DOI: 10.3389/fpsyg.2021.699962
4. *Belaya N.L., Ivanov B.F.* Mathematics for designers. St. Petersburg: SPbGUPTD, 2024. 213 p. – ISBN: 978-5-91646-367-5

5. *Petushkova T.A.* Promising applied research and innovations in design // Promising applied research and innovations: collection of articles of the international scientific conference. St. Petersburg, 2023. pp. 11...14.
6. *Kurilov N.E., Novikova P.A.* The use of author's fractal images in the creation of installations // International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2023. p. 29...33.
7. *Aksenova A.N., Morozova E.V.* The use of the mathematical Mandelbrot method in modern design // Design and Technology. 2012. № 29 (71). P. 6...13.
8. <https://www.gimp.org/downloads/> (date of issue 06/02/2025)
9. <https://www.pgadmin.org/download/> (date of conversion 06/02/2025)
10. *Borzunov G.I., Novikova P.A.* Preparation of schemes for embroidery with glass beads using filters of the graphic editor GIMP // Decorative art and the object-spatial environment. Bulletin of the Russian State Pedagogical University named after S.G. Stroganov. 2020. No. 4-1. S. 294...301.
11. *Dobrovolskaya N.A., Karshakova L.B., Borzunov G.I.* Development of a database with fractal ornaments // Innovative development of technology and technologies in industry: collection of materials of the All-Russian Scientific Conference. Moscow: Kosygin Russian State University, 2024. Part 2. pp. 254...258.
12. *Suslov I.A., Kulesha A.A.* Curves of the Dragon // Russia – creative youth: materials of the XVII All-Russian Scientific and practical student Conference. Volgograd, 2024. pp. 125...128.
13. *Nuraliev F.M., Egamberdiev N., Tastanova S.A.* Investigation of the influence of color parameters on the perception of carpet designs using fractal images // Problems of mechanical engineering: materials of the VII International Scientific and Technical Conference. Omsk, 2023. pp. 87...91.
14. *Barnsley M.F.* Fractals everywhere // Academic Press, San Diego, 1988. 394 p.
15. Itten Johannes. The art of color [Translated from German]. Moscow: D. Aronov Publishing House, 2000. 96 p.
16. *Borzunov G. I., Firsov A.V., Novikov A.N., Stepanenko M.Y.* Indexing of cold and warm contrast in color images // Design and technology. 2022. № 91-92(133-134). P. 42...48.

Рекомендована кафедрой информационных систем и компьютерного дизайна РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 05.06.25.
