

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙ ДАРАЖА БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМЙ КЕНГАШ**

---

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ**  
**РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ИБРОҲИМОВА ЗУЛАЙХО ЭРГАШ ҚИЗИ**

**МУРАККАБ ФРАКТАЛ ТУЗИЛИШЛИ ОБЪЕКТЛАРНИ**  
**МАТЕМАТИК МОДЕЛ ВА РЕКУРСИВ АЛГОРИТМЛАРИНИ**  
**ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.01.01 - Муҳандислик геометрияси ва компьютер графикаси.  
Аудио ва видеотехнологиялари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
Диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

<b>Иброҳимова Зулайхо Эргаш қизи</b> Мураккаб фрактал тузилишли объектларни математик модел ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиқиш	3
<b>Иброҳимова Зулайхо Эргаш қизи</b> Разработка математических моделей и рекурсивных алгоритмов объектов со сложной фрактальной структурой	21
<b>Ibrohimova Zulaykho Ergash qizi</b> Development of mathematical models and recursive algorithms for objects with a complex fractal structure	39
<b>Эълон қилинган ишлар рўйхати</b> Список опубликованных работ List of published works	43

**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖА БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ**  
**РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ИБРОҲИМОВА ЗУЛАЙХО ЭРГАШ ҚИЗИ**

**МУРАККАБ ФРАКТАЛ ТУЗИЛИШЛИ ОБЪЕКТЛАРНИ**  
**МАТЕМАТИК МОДЕЛ ВА РЕКУРСИВ АЛГОРИТМЛАРИНИ**  
**ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.01.01- Мухандислик геометрияси ва компьютер графикаси.  
Аудио ва видеотехнологиялари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.PhD/T2744 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** Анарова Шахзода Аманбаевна  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:** Назирова Элмира Шодмоновна  
техника фанлари доктори, профессор  
Ҳамдамов Уткир Рахматиллаевич  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:** Тошкент давлат транспорт университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «27» январь соат 14:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: [iktuit@tuit.uz](mailto:iktuit@tuit.uz)).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (260 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2023 йил «09» январь куни тарқатилди.  
(2022 йил «20» декабрь даги 14 рақамли реестр баённомаси).



*R. N. M. Musaev*

**М.М. Мусаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

**Н.О. Рахимов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий  
котиби, техника фанлари доктори, доцент

*U. R. Hamdamov*

**У.Р. Ҳамдамов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий  
семинар раиси, техника фанлари доктори, доцент

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда фракталлар назариясининг математик жиҳатларини тадқиқи, ҳамда, табиий жараёнлар ва ҳодисаларни фракталлар назарияси ёяларидан фойдаланиб тавсифлаш усулларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Айниқса фрактал шаклларнинг математик тенгламаларини қуришда фракталлар назарияси, компьютер графикаси усулларидан кенг фойдаланилмоқда. Шунингдек, мураккаб фрактал тузилишли геометрик шаклларни математик моделлари ва рекурсив алгоритмларини, ҳамда уларни амалга ошириш усулларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Мазкур соҳада ривожланган хорижий мамлакатларда, шу жумладан, АҚШ, Франция, Германия, Италия, Россия Федерацияси, Хитой, Япония, Эрон, Корея, Қозоғистон ва бошқа давлатларда фрактал геометрик шакллардан тўқимачилик саноатида газламалар, гиламлар, либослар ва бошқаларнинг замонавий дизайни учун нақшларни ишлаб чиқишда, компьютер манзараларини яратишда, турли хил иллюстрацияларда, архитектура, радиотехникада, телекоммуникацияда, керамика ва чинни буюмларга нақшлар чизишда, шаҳарсозликда фойдаланиш технологияларини ривожлантиришнинг назарий ҳамда амалий масалаларини ечишга катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда фрактал геометрик шаклларни тўқимачилик саноати дизайни соҳасида қўллаш технологияларини ишлаб чиқиш, ривожлантириш муҳим масалалардан бири бўлиб қолмоқда. Фрактал тасвирларнинг яратилишини ҳисобга олган ҳолда, фракталларнинг тўқимачилик соҳасида қўлланилиши икки қисмга ажратилади. Биринчидан, фрактал тасвирлар тўқимачилик нақшларини лойиҳалашда, иккинчидан, тўқилган газламанинг ўтказувчанлигини таҳлил қилиш, газлама дефектини аниқлаш, газлама юзасини текстурани таҳлил қилиш ва бошқалар каби хусусиятлари фракталлар назариясига асосланиб таҳлил қилинади. Фрактал тасвирларнинг қўлланилиши тўқимачилик нақшларини лойиҳалаш учун янги ижодий ёяларни тақдим этади. Фрактал назария тўқимачилик саноатининг мураккаб муаммоларини ҳал қилиш учун кучли воситадир.

Республикамизда тўқимачилик саноати маҳсулотлари ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш, ташқи бозор ва халқаро талабларга жавоб берадиган стандартларни жорий этиш ва машҳур брендларни жалб қилиш, саноат тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш, тўқимачилик ва тикув-трикотаж саноатини ислоҳ қилишни янада чуқурлаштириш ва унинг экспорт салоҳиятини кенгайтириш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг 2020 йил 23 апрель куни тўқимачилик саноати барқарорлигини таъминлаш масалаларига бағишлаб ўтказилган йиғилишида келгуси 5 йилда тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни 4-5 бараварга кўпайтириш, таннархни рақобатчиларга нисбатан арзонлаштириб, ташқи бозорларни эгаллаш бўйича топшириқлар берилган эди. Бунинг учун маҳсулотлар ассортиментини

кенгайтириб, сифатини кескин ошириш зарурлиги алоҳида таъкидланган. Шу кўйилган мақсадни амалга ошириш жараёнида ишлаб чиқарилаётган газлама нақшлари дизайнни бежирим, жозибадор нақшлар билан бойитиш, харажатлар ва сарфланадиган вақтни қисқартириш учун фрактал тасвирларни математик моделини ишлаб чиқиш ва натижаларни амалиётга тадбиқ этиш кўшимча омил сифатида муҳим ўринни эгаллайди. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, тўқимачилик соҳасида ишлаб чиқарилаётган маҳсулотларни харидоргирлигини ошириш учун замонавий ахборот технологиялари асосида тўқимачилик саноати учун замонавий дизайндаги нақшларнинг математик моделлари ва дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «Ташқи бозор ва халқаро талабларга жавоб берадиган стандартларни жорий этиш ва машҳур брендларни жалб қилиш, саноат тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш дастурларини кенг жорий қилиш...»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни ижросини таъминлашда мураккаб фрактал тузилишли миллий нақшларни моделлаштиришни автоматлаштирувчи дастурий мажмуа ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги «Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси» тўғрисидаги ПФ-60-сон Фармонидаги «Тўқимачилик саноати маҳсулотлари ишлаб чиқариш ҳажмини 2 баробарга кўпайтириш чора тадбирларини амалга ошириш тўғрисида...», 2019 йил 12 февралдаги ПҚ-4186-сон «Тўқимачилик ва тикув-трикотаж саноатини ислоҳ қилишни янада чуқурлаштириш ва унинг экспорт салоҳиятини кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2019 йил 28 майдаги ПҚ-4341-сон «Республика ҳудудларида тикув-трикотаж маҳсулотлари ишлаб чиқаришни ташкил этиш ва аҳоли бандлигини таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2020 йил 5 майдаги ПФ-5989-сон «Тўқимачилик ва тикув-трикотаж саноатини қўллаб-қувватлашга доир кечиктириб бўлмайдиган чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2020 йил 6 октябрдаги ПҚ-4851-сон «Ахборот технологиялари соҳасида таълим тизимини янада такомиллаштириш, илмий тадқиқотларни ривожлантириш ва уларни ИТ-индустрия билан интеграция қилиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарор ва фармонларининг ижросини таъминлаш мақсадида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган Саноат тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш дастурларини кенг жорий қилиш вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги «Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси» тўғрисидаги ПФ-60-сон Фармони

ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Мураккаб фрактал тузилишли геометрик шаклларни математик моделлаштириш муаммоларига қатор монографиялар ва журналларнинг мақолалари бағишланган, жумладан, Б.Б.Мандельброт, Г.М.Жулиа, Wen Li, W.Luo, Y.P.Zhang, E.Chaos, K.Gdawiec, L.Krzysztof, W.Kotarski, A.Lisowska, Y.Ishikawa, S.Suantai, В.Каракая, Р.Бранч, К.Д.Фальконер, А.А.Потапов, Ю.С.Семерич, С.В.Чопоров, А.Д.Морозов, М.А.Романов ва бошқалар фрактал геометриянинг соҳасини кенгайтиришга ҳаракат қилган, шу жумладан бутун дунёда уларни амалий қўллашга, радиотехника ва радиолокация соҳасида, бозордаги қимматли қоғозларни нархларини башорат қилишдан тортиб назарий физиканинг янги кашфиётларини бажаришгача қўллаган.

Республикамизда фракталлар назариясини ривожлантириш бўйича Б.А.Бондаренко, Ш.А.Назирова, Б.Хўжаёров, Ш.А.Анарова, Ф.М.Нуралиев ва бошқа олимларнинг илмий ишлари диққатга сазовор. Академик Б.А.Бондаренко арифметик хусусиятли биномиал базис кўпхадлар назариясига асосан умумлашган «Паскаль учбурчак»лари, «Паскаль пирамида»ларини ва уларнинг фракталлари тенгламаларини қуриш учун илмий тадқиқот ишлари олиб борган. Профессор Ш.А.Назирова R-функция усулидан (RFM) фойдаланиб мураккаб тузилишдаги классик геометрик фракталларнинг тенгламаларини ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиққан.

Мазкур соҳадаги тадқиқотларнинг ўрганилганлиги шуни кўрсатадики, ҳозирги вақтда фракталларни қуришда L-тизимлар, итерацион функциялар тизими (IFS) усуллари кенг фойдаланилади. Бироқ, мураккаб фрактал тузилишли геометрик шаклларни математик моделлаштиришда, хусусан R-функциялар усулини қўллаб ўзбек миллий нақшларидаги айлана, эксклюзив антенна, боғланган, кесишувчи, уринишли-кесишувчи, ички кесишувчи айланалар, дарахт кўринишидаги фракталлар, мунтазам кўпбурчаклардан иборат мураккаб фрактал тузилишга эга объектларни математик моделлаштириш етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети илмий – тадқиқот ишлар режасининг №БА-А5-014 «Мураккаб фрактал тузилишларни R-функция ва арифметик хусусиятлар назариясига асосан аналитик баён этишнинг автоматлаштирилган технологиясини ишлаб чиқиш» (2017-2018) амалий лойиҳаси ва №ФЗ-2019081212-сонли «Ўзбек миллий нақшларида мураккаб фрактал тузилишларни баён этишни геометрик моделлаштириш технологиясини ишлаб чиқариш» (2020-2021) мавзусидаги инновацион лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** мураккаб фрактал тузилишли геометрик объектларни L-тизимлар, R-функция (RFM) ва IFS усуллари асосида математик (геометрик) модел ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

Мураккаб фрактал тузилишли икки ўлчовли (2D) миллий нақшларни математик (геометрик) модел ва алгоритмлари, визуаллаштириш усуллари ва уларни қўллаш соҳалари бўйича таҳлилни амалга ошириш;

L-тизимлар, IFS, R-функция (RFM) усуллари ҳамда геометриянинг асосий тушунчаларини қўллаган ҳолда газламалардаги мураккаб фрактал тузилишли айланасимон ва дарахтсимон миллий нақшларни чизишнинг геометрик моделларини такомиллаштириш ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиқиш;

итерацион усуллар ва полиномиографлар ёрдамида мураккаб фрактал тузилишли тасвирларни ҳосил қилиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

айлана ва юлдузсимон фракталларни деформациялаш натижасида инверсион фракталлар тўпламини ҳосил қилиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

газламалардаги мураккаб фрактал тузилишли миллий нақшларни RFM, L-тизимлар, IFS усуллари ёрдамида визуаллаштиришни автоматлаштирувчи дастурий мажмуанинг функционал схематик тузилишини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида миллий нақшлардаги мураккаб фрактал тузилишли объектлар қаралган.

**Тадқиқотнинг предмети** тўқимачилик саноатидаги газлама ва гилам нақшлар дизайни учун мураккаб фрактал тузилишли геометрик шаклларни ҳосил қилувчи RFM, L-тизимлар, IFS усуллари асосида ишлаб чиқилган математик модел, рекурсив алгоритмлар ва дастурий мажмуадан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида фракталлар назарияси, RFM, L-тизимлар, IFS, ахборотларни қайта ишлаш, алгоритмлаш назарияси, дастурлаш технологияси усулларидадан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилigi** қуйидагилардан иборат:

L-тизимлар, IFS, R-функция (RFM) усуллари ва геометриянинг асосий тушунчалари асосида газламалардаги мураккаб фрактал тузилишли айланасимон ва дарахтсимон миллий нақшларни чизишнинг геометрик моделлари такомиллаштирилган ва рекурсив алгоритмлари ишлаб чиқилган;

итерацион усуллар ва полиномиографлар ёрдамида мураккаб фрактал тузилишли тасвирларни ҳосил қилиш алгоритми ишлаб чиқилган;

айлана ва юлдузсимон фракталларни деформациялаш натижасида инверсион фракталлар тўпламини ҳосил қилиш алгоритми ишлаб чиқилган;

газламалардаги мураккаб фрактал тузилишли миллий нақшларни RFM, L-тизимлар, IFS усуллари ёрдамида визуаллаштиришни автоматлаштирувчи дастурий мажмуанинг функционал схематик тузилиши ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

фрактал тузилишли миллий нақшларни L-тизимлар, IFS усуллари ва геометрик алмаштиришлар ёрдамида математик моделлари ишлаб чиқилган;

RFM усули ёрдамида фрактал тузилишли миллий нақшларни модел ва рекурсив алгоритмлари ишлаб чиқилган;

мураккаб фрактал тузилишли миллий нақшларни RFM, L-тизимлар, IFS усуллари ёрдамида моделлаштириш учун дастурий мажмуа ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** фрактал тузилишли объектларни RFM усули, аналитик геометрия ва компьютер графикаси қоидаларига мослиги, таклиф этилган алгоритмларни ишлаб чиқишда фрактал тузилишли объектларни RFM, итерацион усуллар ва полиномиографлар, L-тизимлар, IFS усулларида моделлаштиришнинг математик аппаратининг тўғри қўлланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти фрактал тузилишли объектларни аналитик-конструктив ва комбинатор усуллар ҳамда компьютер графикасининг геометрик алмаштиришлари асосида моделлаштиришнинг назарий асосларининг истиқболли ривожланишига RFM ва полиномиал итерация усуллари ва алгоритмлари яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти геометрик моделлар асосида ҳосил қилинган фракталларни автоматлаштириш имконини берувчи дастурий мажмуани ишлаб чиқиш газлама, гилам, қурилиш объектлари нақшлари дизайнини лойиҳалаш соҳаларига жорий қилишга қўлланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Диссертация доирасида фрактал тузилишли миллий нақшларни геометрик моделлаштириш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида ишлаб чиқилган рекурсив алгоритмлар ва яратилган дастурий мажмуа асосида:

миллий нақш шакллари ишлаб чиқишда ва уларга дизайн беришда фракталлар назарияси, RFM усули асосида ишлаб чиқилган алгоритм, автоматлаштирувчи дастурий восита «SAMARQAND PRODUCTS» МЧЖга жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2022 йил 12 октябрдаги 33-8/6758-сон маълумотномаси). Натижада миллий гиламларнинг нақш шакллари ишлаб чиқишда, уларнинг дизайнини лойиҳалашда фрактал кўринишдаги замонавий нақшларни шакллантиришни автоматлаштириш ишлаб чиқаришни 7% -10% га ошириш ва меҳнат ҳажмини камайтириш имконини берган;

компьютер графикасининг геометрик алмаштиришлари ёрдамида фрактал тузилишли тасвирларни геометрик моделлаштириш усуллари ва алгоритмлари асосида яратилган дастурий восита «BELKIS CARPET» МЧЖга жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2022 йил 12 октябрдаги 33-8/6758-сон маълумотномаси). Натижада маҳсулотнинг сифатини ва харидор талабидаги нақш шаклининг рангини кенг қамровда ўзгартириш орқали маҳсулотга бозор талабини 1.1-1.2 мартага ошириш имконини берган;

мураккаб фрактал тузилишли геометрик шакллар қуриш алгоритмлари базасига эга бўлган дастурий восита «ZAMON TEKSTIL EXPORT» МЧЖга

жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2022 йил 12 октябрдаги 33-8/6758-сон маълумотномаси). Натижада газлама дизайнни безатишда фойдаланиладиган нақшларни яратиш учун кетадиган вақтни ўртача 10% га қисқартириш имконини берган;

мураккаб фрактал тузилишли геометрик шакллар қуриш алгоритмлари базасига эга бўлган дастурий восита «ARCH VISION PROJECT» МЧЖга жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2022 йил 12 октябрдаги 33-8/6758-сон маълумотномаси). Натижада замонавий бино архитектуралари дизайнни яратиш учун кетадиган вақтни ўртача 15% га қисқартириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 14 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 33 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, шулардан 5 та хорижий журналларда ва 6 та республика журналларда чоп этилган ҳамда 5 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациясининг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация иши кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 118 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

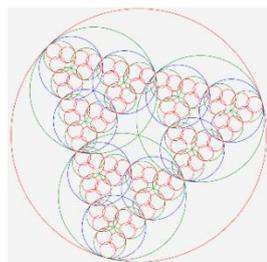
**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Мураккаб фрактал тузилишларни модел ва алгоритмлари бўйича адабиётлар шарҳи**» номли биринчи бобида, муаммонинг долзарблиги аниқланган. Фрактал тузилишли объектларни қуриш усуллари бўйича хорижий давлатлар ва республикамизда олиб борилаётган илмий ва амалий тадқиқот ишлари атрофлича таҳлил қилинган, ҳамда фракталлар назариясининг асосий тушунчалари, фракталларни қуриш усулларининг ҳозирги ҳолати, уларнинг қўллаш соҳалари ўрганилган, фрактал ўлчовни ҳисоблаш усуллари изоҳланган ва таҳлил қилинган, фракталларнинг ўзига хос хусусиятлари ҳамда фракталларга доир бўлган умумий тушунчалар баён этилган ва тадқиқот иши масаласининг қўйилиши

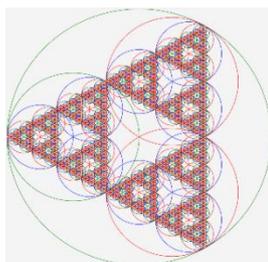
келтирилган. Шунингдек, мазкур бобда айланасимон фрактал тузилишларни модел ва алгоритмлари, фракталларнинг ўзига хос хусусиятлари ҳамда фракталларга доир бўлган умумий тушунчалар баён этилган. Фракталларнинг турлари ва синфларга бўлинишларига асосан фракталларни куриш усуллари таснифланган. Фракталларнинг фан ва техника соҳаларида жумладан, математикада, физикада, компьютер графикасида, енгил саноатда, электроникада, астрофизикада, биологияда, материалшуносликда, тиббиётда қўлланилиши ўрганилган, фрактал шаклларни маҳсулот дизайнида қўллаш бўйича аниқ ечимлар келтирилган. Мавжуд усул ва алгоритмларни назарий ҳамда амалий таҳлил қилиш натижасида аниқланган муаммолар асосида тадқиқот масаласининг қўйилиши ва мақсади шакллантирилди.

Диссертациянинг «**Мураккаб фрактал тузилишли объектларни геометрик модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш**» номли иккинчи боби фракталларни геометриянинг асосий тушунчаларидан фойдаланиб, итерацион усуллар ва полимоиографлар ёрдамида, L-тизимлар ва IFS усулларида, RFM усули ёрдамида ҳамда инверсион фракталларни ҳосил қилиш алгоритмлари асосида куришга бағишланган.

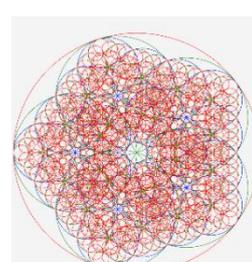
Аналитик усулда айланалардан иборат фракталларни ҳосил қилишда аввало асосий геометрик элементлар танлаб олинади, яъни  $M(x_0, y_0)$  - айлана марказининг координаталари,  $R$  - айлана радиуси,  $l$  - радиуснинг катталашishi (ёки кичиклашиши),  $\alpha$  - бошланғич бурчак,  $n$  - элементлар сони,  $S$  - рекурсиялар сони (ёки қадам).



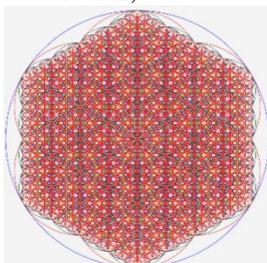
$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 45$ ,  $n = 4$ ,  $l=45$ ,  
 $k = 2$ ,  $S = 3$



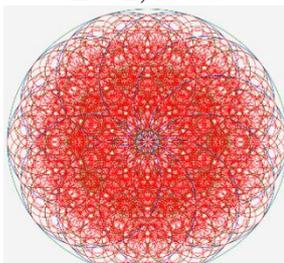
$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 0$ ,  $n = 7$ ,  $l=45$ ,  
 $k = 2$ ,  $S = 3$



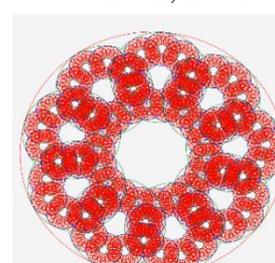
$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 0$ ,  $n = 4$ ,  $l=45$ ,  
 $k = 2$ ,  $S = 5$



$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 30$ ,  $n = 5$ ,  $l=45$ ,  
 $k = 2$ ,  $S = 6$



$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 0$ ,  $n = 3$ ,  $l=45$ ,  
 $k = 2$ ,  $S = 10$



$M(500:400)$ ,  $R = 350$ ,  
 $\alpha = 15$ ,  $n = 4$ ,  $l=0$ ,  
 $k = 2.7$ ,  $S = 9$

**1-расм.  $k = 2$ ,  $k = 2.7$ ;  $S=3$ ,  $S=5$ ,  $S=6$ ,  $S=9$ ,  $S=10$  қадамларда ҳосил бўлган айланасимон фракталлар**

Геометриянинг асосий тушунчаларидан фойдаланиб айланалардан иборат фракталларни ҳосил қилишнинг умумий формуласи куйидагича бўлади:

$$\Phi P_2 = \sum_{j=1}^S \left( \sum_{i=1}^n M_i^j \left( x_0 - \left( R \cdot \frac{(l-1)}{l} \right) \cdot \cos \left( \frac{\left( \left( \alpha + n \cdot \left( \frac{360}{k} \right) \right) \cdot \pi \right)}{180} \right), y_0 - \left( R \cdot \frac{(l-1)}{l} \right) \cdot \sin \left( \frac{\left( \left( \alpha + i \cdot \left( \frac{360}{k} \right) \right) \cdot \pi \right)}{180} \right) \right) \right)$$

$$R = R/l.$$

IFS усулида ўзига ўхшаш фрактални яратиш учун Жон Хатчинсон рекурсив функциясидан фойдаланилади. Унинг кўриниши куйидагича:

$$A_n = \bigcup_{i=1}^m f_i(A_{n-1}).$$

бу ерда  $f$  – кўчиш, айлантириш, қисқартириш ва акслантиришнинг комбинацияси бўлган чизиқли алмаштиришдир.

Аффин шартли алмаштиришларининг текисликдаги тенгламаси куйидагича ифодаланади:

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix},$$

бу ерда  $i = 1, 2, \dots, m, m \geq 1$  ва  $\lambda_i < 1$  шартли қиймат,  $\mu_1 = -1$  ва  $\mu_2 = 1$  у ўқи бўйлаб,  $\mu_1 = 1$  ва  $\mu_2 = -1$  х ўқи бўйлаб акслантиришлар,  $\theta$  - бурилиш бурчаги,  $\delta_x$  ва  $\delta_y$  мос равишда х ўқи ва у ўқи бўйлаб силжиши.

Бешбурчакли фракталларни IFS усулида ҳосил қилиш учун масштаб омили ёрдамида 6 та функция тузиб олинади:

$$r = \frac{3 - \sqrt{5}}{2} = 0.381966.$$

$$f_1(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x;$$

$$f_2(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.618 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$f_3(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.809 \\ 0.588 \end{bmatrix};$$

$$f_4(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.309 \\ 0.951 \end{bmatrix};$$

$$f_5(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} -0.191 \\ 0.588 \end{bmatrix};$$

$$f_6(x) = -1 \cdot \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.691 \\ 0.951 \end{bmatrix}.$$

Ушбу жараён учун рекурсив функциялар куйидагича ҳосил қилинади:

$$F_1 = f_1(F_0) \cup f_2(F_0) \cup f_3(F_0) \cup f_4(F_0) \cup f_5(F_0) \cup f_6(F_0),$$

$$F_2 = f_1(F_1) \cup f_2(F_1) \cup f_3(F_1) \cup f_4(F_1) \cup f_5(F_1) \cup f_6(F_1),$$

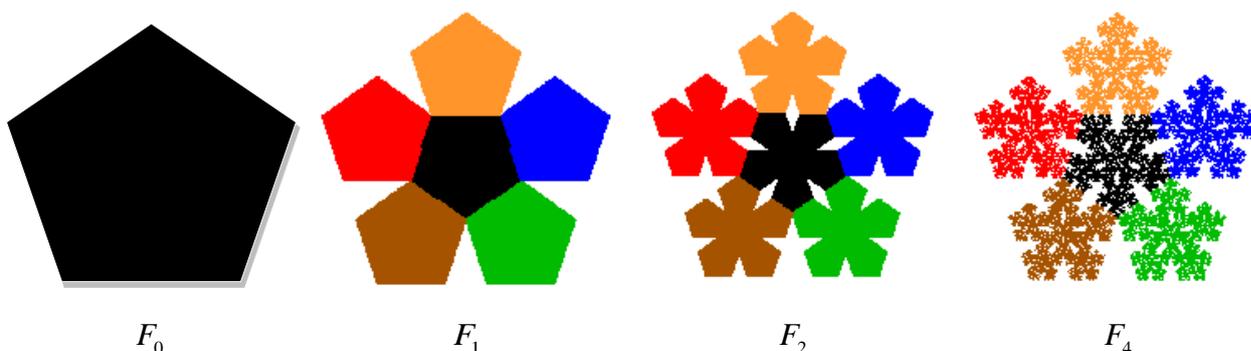
$$\dots$$

$$F_n = f_1(F_{n-1}) \cup f_2(F_{n-1}) \cup f_3(F_{n-1}) \cup f_4(F_{n-1}) \cup f_5(F_{n-1}) \cup f_6(F_{n-1}).$$

$$F = \bigcup_{n=0}^{\infty} F_n,$$

$$F_n = \bigcup_{i=1}^m f_i(F_{n-1}) \cup F_0.$$

$F_0$  сифатида  $i=0$  ҳолат учун қуйидаги дастлабки геометрик шаклни танлаб оламиз ва расмдаги  $F_0, F_1, F_2, F_4$  натижаларни ҳосил қиламиз:



**2-расм. Итерациянинг дастлабки тўртта қадами учун ҳосил қилинган бешбурчакли фракталлар**

6 та устма - уст тушмайдиган бешбурчакдан иборат бўлган, итерациянинг 4-қадамида ҳосил бўлган фракталнинг ўлчови қуйидагича ҳисобланади:

$$\sum_{k=1}^6 r^d = 1 \Rightarrow d = \frac{\log\left(\frac{1}{6}\right)}{\log(r)} = \frac{\log(6)}{\log\left(\frac{2}{3-\sqrt{5}}\right)} = 1.86172.$$

Фракталларни газлама, гилам, чинни ва керамик буюмларга нусхалаш (штамплаш) учун уларнинг тенгламасини ёзиш керак бўлади. R-функция (RFM) усулини қўллаган ҳолда фрактал кўринишдаги тасвирлар, яъни айланалардан иборат фрактал тенгламалар қурилган ва алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Фрактал ҳалқали тузилишлар тадқиқотида асосан симметрия ва ўхшашлик хусусиятлари ҳисобга олинган. Айланасимон фракталларни қуриш алгоритми қуйидагича:

1.  $A_1$  да фрактал антенна тузилишининг асосий элементи сифатида биринчи итерацияда радиуси 11 мм,  $Ox$  ўқи бўйича қалинлиги 0,4 мм ва радиуси бўйича 0,2 мм бўлган ҳалқа олинган.

0 - итерацияда асосий ҳалқага берилган ҳалқага нисбатан уч марта кичик бўлган 7 та ҳалқалар жойлаштирилади. Бошқа элементлари (эни ва ҳалқанинг қалинлиги) ўзгаришсиз қолдирилади. 6 та кичик айлананинг маркази олтибурчакнинг учига  $R*2/3$  масофада жойлаштирилади. Еттинчи

айлананинг маркази асосий антеннанинг маркази билан устма-уст тушади. Бу куришни итерацион алгоритмнинг биринчи қадами деб атаймиз ва уни  $A_1$  билан белгилаймиз.

2. Иккинчи итерациядаги  $A_2$  эксклюзив ҳалқаларни куриш учун  $A_1$  модел учун қўлланган алгоритмдан фойдаланилади.

Ҳар бир айланага олдинги радиусдан икки марта кичик бўлган олтига айлана қўйилади, маркази олтибурчакнинг учидаги бошланғич радиусдан  $R \cdot 2/3$  масофада жойлаштирилади. Еттинчи айлана асосий айлана марказида жойлаштирилади. Шундай қилиб, 3 - расмда келтирилган фрактал антенна модели ҳосил қилинади. Худди 1 пунктдаги каби коаксиал чизиқларнинг диаметри 0,5 мм. Антенналарнинг қалинлиги 0,4 мм, ҳалқанинг эни 0,2 мм. Ташқи айлананинг радиуслари  $R = 11$  мм,  $R_1 = R/3$ ,  $R_2 = R/9$ .

$A_1$  айланасимон фракталнинг тенгламасини кураимиз:

0 - кадам.

$$\omega_{00} = \frac{R_0^2 - x^2 - y^2}{2R}. \quad (1)$$

1 - кадам.

$$r_1 = \frac{1}{3}R_0, \quad a_1 = \frac{2}{3}R_0, \quad dx = \frac{\sqrt{3}}{3}R_0, \quad dy = \frac{1}{3}R_0,$$

$$\omega_{10} = \frac{r_1^2 - x^2 - y^2}{2r_1}, \quad \omega_{11} = \frac{r_1^2 - x^2 - (y - a_1)^2}{2r_1},$$

$$\omega_{12} = \frac{r_1^2 - x^2 - (y + a_1)^2}{2r_1}, \quad \omega_{14} = \frac{r_1^2 - (x + dx)^2 - (y + dy)^2}{2r_1}, \quad \omega_{15} = \frac{r_1^2 - (x - dx)^2 - (y + dy)^2}{2r_1},$$

$$\omega_{16} = \frac{r_1^2 - (x - dx)^2 - (y - dy)^2}{2r_1},$$

$$\omega = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{10} \vee_0 \omega_{11} \vee_0 \omega_{12} \vee_0 \omega_{13} \vee_0 \omega_{14} \vee_0 \omega_{15} \vee_0 \omega_{16})). \quad (2)$$

$$\omega_0 = \frac{R_0^2 - x^2 - y^2}{2R} \wedge_0 \frac{x^2 + y^2 - (R - dr)^2}{2R} \geq 0. \quad (3)$$

$$\omega_{10} = \omega_0(r_1, x, y), \quad \omega_{11} = \omega_0(r_1, x, y - a_1), \quad \omega_{12} = \omega_0(r_1, x, y + a_1),$$

$$\omega_{13} = \omega_0(r_1, x + dx, y - dy), \quad \omega_{14} = \omega_0(r_1, x + dx, y + dy),$$

$$\omega_{15} = \omega_0(r_1, x - dx, y + dy), \quad \omega_{16} = \omega_0(r_1, x - dx, y - dy),$$

$$\omega_1 = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{10} \vee_0 \omega_{11} \vee_0 \omega_{12} \vee_0 \omega_{13} \vee_0 \omega_{14} \vee_0 \omega_{15} \vee_0 \omega_{16})).$$

Юқорида келтирилган (1)-(3) формулалардан  $i$  - кадамни аниқлаймиз:

$$r_i = \frac{1}{3}r_{i-1}, \quad a_i = \frac{2}{3}r_{i-1}, \quad dx = \frac{\sqrt{3}}{3}r_{i-1}, \quad dy = \frac{1}{3}r_{i-1},$$

$$\omega_{i0} = \omega_{i-1}(r_i, x, y), \quad \omega_{i1} = \omega_{i-1}(r_i, x, y - a_i), \quad \omega_{i2} = \omega_{i-1}(r_i, x, y + a_i),$$

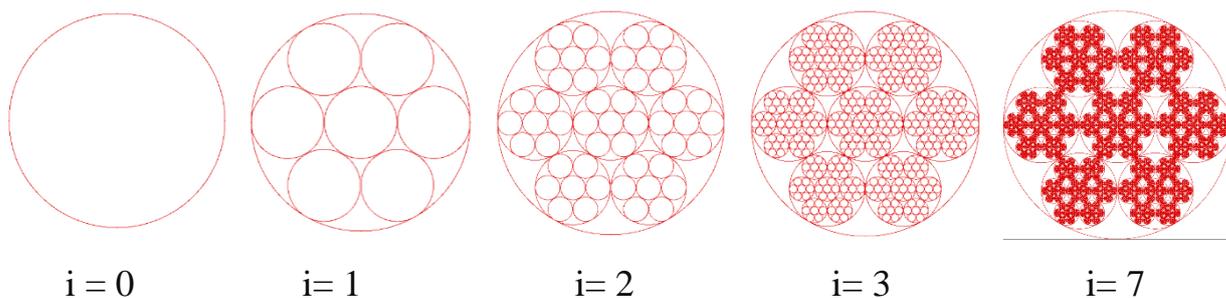
$$\omega_{i3} = \omega_{i-1}(r_i, x + dx, y - dy), \quad \omega_{i4} = \omega_{i-1}(r_i, x + dx, y + dy),$$

$$\omega_{i5} = \omega_{i-1}(r_i, x - dx, y + dy), \quad \omega_{i6} = \omega_{i-1}(r_i, x - dx, y - dy),$$

$$\omega = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{i0} \vee_0 \omega_{i1} \vee_0 \omega_{i2} \vee_0 \omega_{i3} \vee_0 \omega_{i4} \vee_0 \omega_{i5} \vee_0 \omega_{i6})). \quad (4)$$

$i = 2, 3, 4, \dots$

Ажратиб кўрсатиш мумкинки  $i=2$  да  $A_2$  айлананинг моделини оламиз,  $i=0, 1, 2, 3, 4$  ҳисоблашлар натижалари 3- расмда келтирилган.



**3-расм.  $A_2$  эксклюзив антенна**

$R$ -функция усулида боғланган айланаларни ҳосил қилиш. Ташқи айлана тенгламаси қуйидагича аниқланган:

$$\omega_{00} = \omega_{00}(R, x, y) = (R^2 - x^2 - y^2 \geq 0),$$

айланага боғланувчи айлананинг тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\omega_0 = \omega_{00} \wedge_0 (x^2 + y^2 - (R-a)^2 \geq 0),$$

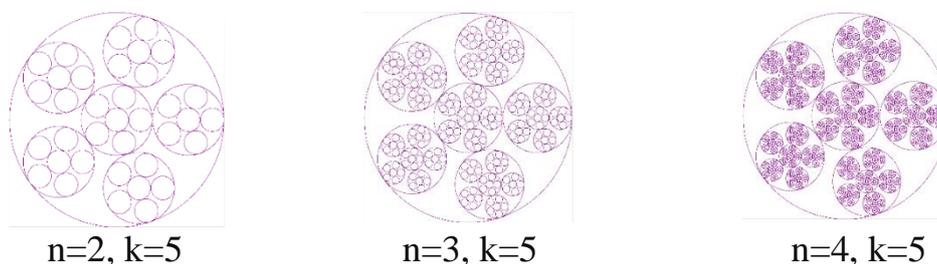
бу ерда  $a$  - айлананинг қалинлиги,  $R$  - ташқи айлананинг радиуси,  $\alpha = \frac{2\pi}{k}$ ;

$k$  - ҳар бир итерациядан кейинги ички айланаларнинг сони  $k=2,3,4,\dots$

Бу ерда итерацияни қўллаб қуйидаги рекурсив функцияга эга бўламиз:

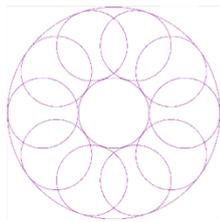
$$\begin{aligned} \omega_n(R, x, y) = & \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x, y\right) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(0), y - \frac{2R}{3}\sin(0)\right) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin(\alpha)\right) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(2\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin(2\alpha)\right) \vee_0 \dots \vee_0 \quad (5) \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos((k-1)\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin((k-1)\alpha)\right) \geq 0; \quad n=1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

Ҳисоблаш экспериментининг  $k=5$  даги натижалари қуйидагича:

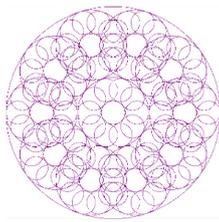


**4-расм. Айланалардан иборат фракталлар**

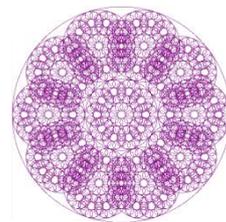
Ажратиб кўрсатиш мумкинки, агар  $k < 6$  да ички айланалар бир - бирига уринмайди,  $k=6$  да ички айланалар уринади,  $k > 6$  да ички айланалар кесишади.



n=1, k=10



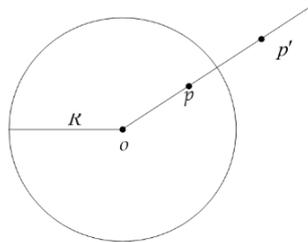
n=2, k=10



n=3, k=10

### 5-расм. Кесувчи айланалардан иборат фракталлар

Айлана шакли фракталларни деформациялаш натижасида инверсион фракталлар тўпламини ишлаб чиқиш алгоритми куйидагича:

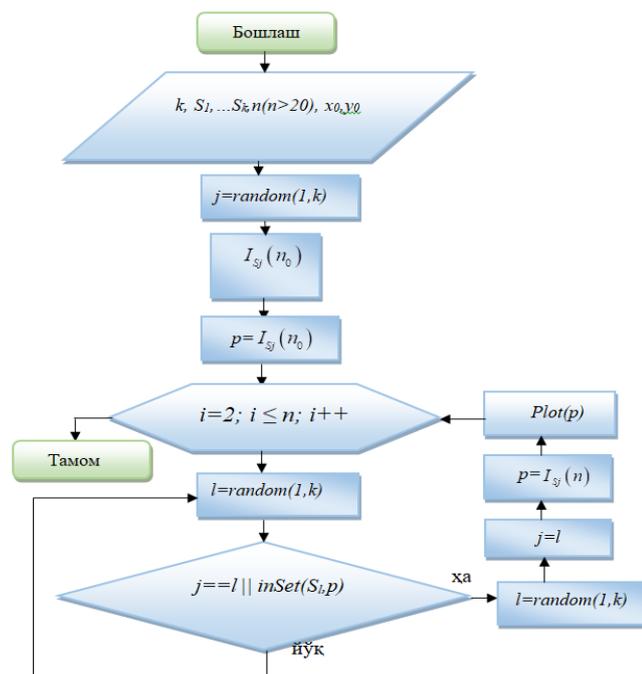


$$d(o, p) \cdot d(o, p') = R^2,$$

Агар  $O = (x_0, y_0)$  ва  $p = (x_p, y_p)$  бўлса,  $I_C$  куйидаги кўринишдаги формулага эга бўлади:

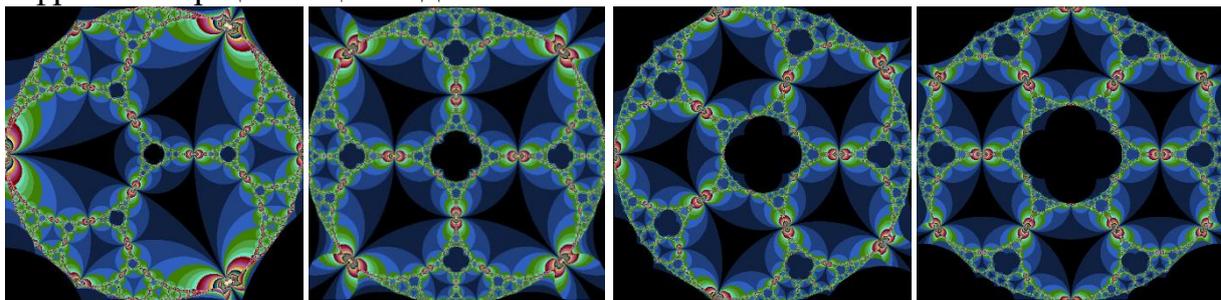
$$p' = I_C(p) = (x_0, y_0) + \frac{R^2}{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} (x_p - x_0, y_p - y_0). \quad (6)$$

$S_1, \dots, S_k$  - танланган инверсия марказлари билан айлана шаклидаги тўплamlар,  $p_0 - S_1, \dots, S_k$  дан ташқаридаги бошланғич нуқтаси,  $n > 20$  – такрорлашлар сони,  $k$  - ички айланалар сони.



7-расм: Тасодифий инверсия алгоритмининг блок схемаси

$imgx = 700$ ,  $imgy = 700$ ,  $k \in [3, 6]$  қийматлар учун қуйидаги инверсион фракталлар ҳосил қилинди:



$k=3$

$k=4$

$k=5$

$k=6$

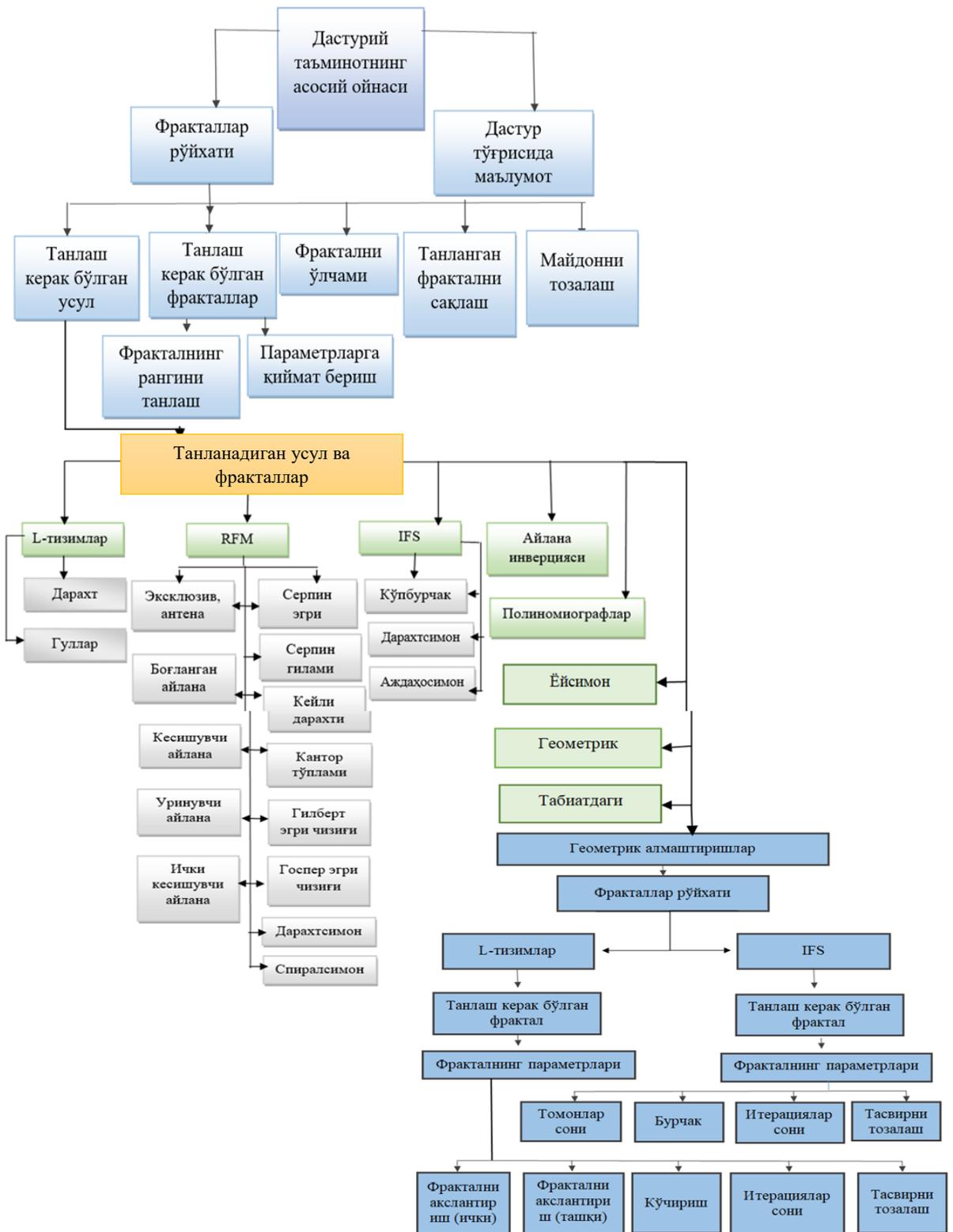
**6-расм:  $k$  нинг турли қийматларида тасодифий инверсия алгоритмини қўллаб,  $n < 70$  ҳолат учун олинган натижалар**

Диссертациянинг «Мураккаб фрактал тузилишли миллий нақшларни чизишни автоматлаштирувчи дастурий мажмуа ишлаб чиқиш» номли учинчи бобида юқоридаги бобларда таклиф этилган ва ишлаб чиқилган мавжуд алгоритмлар асосида дастурий восита яратилган ва амалий масалаларни ечишга қаратилган, шунингдек, дастурий воситанинг асосий интерфейси ва функционал имкониятлари ҳамда мураккаб кўринишдаги фрактал тасвирларни визуаллаштириш алгоритмлари келтирилган.

Аналитик усул, RFM усули, L-тизимлар, IFS усули ва геометрик алмаштиришларга асосан фрактал тузилишли шаклларни ҳосил қилувчи дастурий мажмуанинг умумий тузилиши 9 - расмда келтирилган. Фракталларни RFM усулида чизиш блокада элементар соҳалар (доира, вертикал чизик, горизонтал чизик, ярим текислик ва бошқалар)ни R-функция ёрдамида ифодаланишини ўз ичига олади.



**8-расм. Дастурий мажмуанинг асосий ойнаси**



9-расм. Дастурий воситалар мажмуаси тузилиши

Аждарҳо ва дарахтсимон фракталлар учун геометрик алмаштиришларнинг буриш, кўчириш, акслантириш каби турларидан фойдаланган ҳолда мураккаб фрактал тасвирлар ҳосил қилинади.

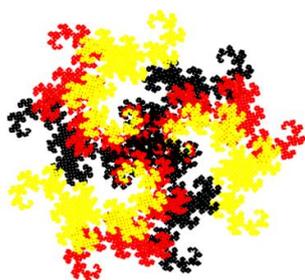
L-тизимлар усулида олинган натижаларни  $\alpha$  бурчак остида буриш учун куйидаги геометрик алмаштиришлардан фойдаланилди:

$$\begin{cases} x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha, \\ y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha. \end{cases} \quad (7)$$

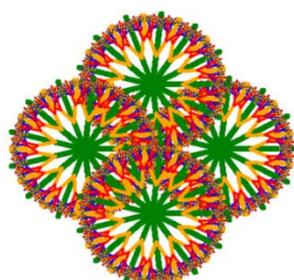
$$\begin{cases} x' = x + r \cos \frac{\pi d}{180}, \\ y' = y + r \sin \frac{\pi d}{180}. \end{cases} \quad (8)$$

бунда  $d = \frac{360}{n}$ .

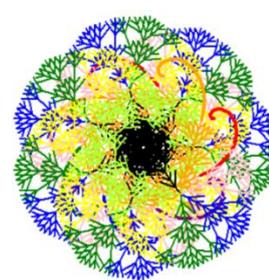
Аждарҳо ва дарахтсимон фракталлар учун акслантириш, Эл\_акс, кўчириш ва масштаблаштириш параметрларининг турли қийматларида олинган натижалар куйидагича:



Акс=3, Эл\_акс=3,  
кўчириш=50, инт=11



Акс=13, Эл\_акс=4,  
кўчириш=90, инт=14



Акс =7, Эл\_акс =7,  
кўчириш =70, инт =14

**10-расм. Аждарҳо ва дарахтсимон фракталларни геометрик акслантиришдан сўнг ҳосил бўлган мураккаб фрактал тасвирлар**

Мураккаб кўринишдаги фрактал тасвирларни визуаллаштиришда Python ва Java дастурлаш тилларидан фойдаланилди. Яратилган дастурий мажмуанинг алгоритмлари асосида дарахтсимон, аждарҳо эгри чизиғи, Серпин учбурчаги, айланасимон, юлдузсимон миллий нақшлар, кўпбурчаклар, геометрик шакллардан иборат бир неча кўринишдаги фрактал тузилиш тасвирлар ишлаб чиқилди.

## ХУЛОСА

«Мураккаб фрактал тузилишли объектларни математик модел ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Фракталлар назариясининг асосий тушунчалари, фракталларнинг келиб чиқиши, унинг хусусиятлари, турлари, қўлланилиш соҳалари ўрганилди ва тадқиқ қилинди. Натижада фрактал тузилишли миллий

нақшларни енгил саноатда замонавий ва классик дизайнда лойиҳалаш жараёнларини ташкил этишда қўлланилиши ва иқтисодий самара бериши аниқланди.

2. Фракталларнинг куриш усуллари, уларни визуаллаштириш алгоритмлари, қўлланилиш жараёнлари, фрактал ўлчов тушунчаси ва фрактал тузилишга эга бўлган объектларнинг ўлчамини ҳисоблаш усуллари ўрганилди ва тадқиқ қилинди. Фрактал ўлчовни ҳисоблаш формуласи ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган формула асосида фрактал тузилишли нақшларнинг фрактал ўлчовлари аниқланди. Итерацион функциялар тизими (IFS) ва L-тизимлар усуллари асослари ҳамда афзалликлари тадқиқ қилинди. Мазкур усуллар классик ва замонавий фракталларни қиёсий таҳлилини амалга оширишга имкон беради.

3. Фрактал тузилишли объектларни RFM усули ёрдамида математик (геометрик) модели курилди. Мазкур модель асосида айланасимон, дарахтсимон, юлдузсимон, кўпбурчаклардан иборат фракталларни чизиш ва визуаллаштириш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган алгоритмлар нақш дизайнига оид мураккаб фрактал тузилишли тасвирларни ҳосил қилиш учун хизмат қилади.

4. Итерацион усуллар ва полиномиографлар асосида фрактал тузилишли объектларни визуаллаштириш алгоритмлари ва дастурий воситаси ишлаб чиқилди. Мазкур дастурий восита ҳосил қилинган алгебраик фракталлардан иборат миллий нақшлардан фойдаланиш ва газламаларни қисқа вақтда мижозлар талабига мос асортиментда ишлаб чиқаришга имкон берди.

5. Айлана ва юлдузсимон фракталларни деформациялаш натижасида инверсион фракталлар тўпламини ҳосил қилиш алгоритми ишлаб чиқилган. Натижада газлама ва гиламларда фрактал тузилишдаги замонавий миллий нақшлар шакллантиришни автоматлаштириш ва ишлаб чиқаришни 7%-10% га ошириш ва меҳнат ҳажмини бир неча мартага камайтиришга хизмат қилди.

6. Ишлаб чиқилган математик (геометрик) модел ва алгоритмлар асосида фрактал тузилишли объектларни автоматлаштириш ва визуаллаштиришни амалга оширувчи дастурий мажмуаси ишлаб чиқилди. Ушбу дастурий мажмуа тўқимачилик саноатидаги газлама ва гиламларнинг нақш шакллари яратиш, биноларнинг курилишида хонани интерьер ва экстерьер беага, жиҳозланиши ва дизайнида, курилиш маҳсулотларни нақшлар билан безатишда, уларга дизайн бериш ҳамда маҳсулотларнинг ранг ва нақшларини танлашни автоматлаштириш учун хизмат қилади.

7. Ишлаб чиқилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурий воситалар «SAMARQAND PRODUCTS», «BELKIS CARPET», «ARCH VISION PROJECT» ва «ZAMON TEKSTIL EXPORT» масъулияти чекланган жамиятларда жорий қилинган. Натижада замонавий нақшларни чизишни автоматлаштириш, ишлаб чиқаришни 7% -10% га оширишга, маҳсулотга бозор талабини 1.1-1.2 мартага оширишга, вақтни ўртача 10% га қисқартириш ва меҳнат ҳажмини камайтириш имконини берган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ  
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**ИБРОХИМОВА ЗУЛАЙХО ЭРГАШ КИЗИ**

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И  
РЕКУРСИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБЪЕКТОВ СО СЛОЖНОЙ  
ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ**

05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика.  
Аудио- и видеотехнологии

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2022**



## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация к диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется исследованию математических аспектов теории фракталов и методов описания природных процессов и явлений с использованием идей теории фракталов. Теория фракталов, методы и системы компьютерной графики широко используются при построении математических уравнений фрактальных фигур. Также одной из важных задач является разработка математических моделей и алгоритмов геометрических фигур со сложной фрактальной структурой, а также методов их реализации. В зарубежных странах, в том числе в США, Франции, Германии, Италии, Российской Федерации, Китае, Японии, Иране, Корее, Казахстане и других странах, развит современный дизайн ковров, платьев и др. В текстильной промышленности из фрактальных геометрических фигур большое внимание уделяется решению теоретических и практических вопросов развития технологий, используемых при разработке узоров, создании компьютерных пейзажей, различных иллюстраций, архитектуры, радиотехники, телекоммуникаций, нанесении узоров на керамические и фарфоровые изделия, урбанистическом планировании.

В мире разработка и развитие технологий использования фрактальных геометрических фигур в области дизайна текстильной промышленности остается одним из важнейших вопросов. Применительно к созданию фрактальных изображений применение фракталов в области текстиля делится на две части. Во-первых, фрактальные изображения используются при проектировании текстильных рисунков, а во-вторых, на основе теории фракталов анализируются свойства ткани, такие как анализ проницаемости, обнаружение дефектов ткани, анализ текстуры поверхности ткани и т.д. Применение фрактальных изображений дает новые творческие идеи для создания текстильных узоров. Теория фракталов - мощный инструмент для решения сложных задач в текстильной промышленности.

В Республике Узбекистан приняты меры по увеличению объемов производства продукции текстильной промышленности, внедрению стандартов, отвечающих зарубежному рынку и международным требованиям, привлечению известных торговых марок, повышению производительности труда в отраслях промышленности, дальнейшему углублению реформы текстильной промышленности и швейно-трикотажной промышленности, а также для расширения ее экспортного потенциала. На совещании, проведенном Президентом Республики Узбекистан Шавкатом Мирзиёевым 23 апреля 2020 года, посвященном вопросам обеспечения устойчивости текстильной отрасли, было принято решение об увеличении производства готовой продукции в 4-5 раз в следующие 5 лет, снижая себестоимость по сравнению с конкурентами, захвату зарубежных рынков. Для этого было подчеркнуто, что необходимо расширить ассортимент выпускаемой продукции и резко повысить ее качество. В процессе достижения поставленной цели важное место занимает разработка

математической модели фрактальных изображений и внедрение результатов с целью обогащения дизайна ткани красивыми и привлекательными узорами, сокращения временных затрат. В реализации этих задач разработка математических моделей и программного комплекса современных моделей проектирования текстильной промышленности на основе современных информационных технологий для повышения конкурентоспособности продукции, производимой в текстильной промышленности, является одним из актуальных вопросов. В новой Стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы, среди прочего, поставлены задачи «...внедрение современных стандартов при производстве продукции, отвечающей требованиям зарубежных и международным рынкам, привлечение известных брендов, широкое внедрение программ повышения производительности труда в отраслях промышленности»<sup>1</sup>. Одной из важных проблем для реализации этих задач является разработка программного комплекса, автоматизирующего моделирование национальных узоров со сложной фрактальной структурой.

В целях обеспечения реализации постановления и указа Президента Республики Узбекистан № УП - 60 от 28 января 2022 года о стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы «...увеличение объема производства продукции текстильной промышленности в два раза», № ПП - 4186 от 12 февраля 2019 года «О мерах по дальнейшему углублению реформ и расширению экспортного потенциала текстильной и швейно-трикотажной промышленности», № ПП-4341 от 28 мая 2019 года «О мерах по организации производства швейно-трикотажной продукции и обеспечению занятости населения в регионах республики», № УП - 5989 от 5 мая 2020 года «О неотложных мерах по поддержке текстильной и швейно-трикотажной промышленности», № ПП-4851 от 6 октября 2020 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы образования в области информационных технологий, развитию и интеграции научных исследований с IT-индустрией» настоящая Диссертация в определенной степени направлена на реализацию задач широкого внедрения программ повышения производительности труда в отраслях промышленности, определенных в других соответствующих нормативных документах.

**Соответствие исследования приоритетам развития науки и технологии республики.** Данное исследование выполнено в рамках IV - «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий» приоритетного направления развития науки и техники республики.

**Уровень изученности проблемы.** Ряд монографий и журнальных статей посвящен вопросам математического моделирования геометрических фигур со сложной фрактальной структурой, включая, Б.Б.Мандельброт,

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана»

Г.М.Жулия, Wen Li, W.Luo, Y.P. Zhang, E.Chaos, K.Gdawiec, Krzysztof, W.Kotarski, A.Lisowska, Y.Ishikawa, S.Suantai, B.Karakaya, Р.Бранч, К.Д.Фальконер, А.А.Потапов, Ю.С.Семерич, С.В.Чопоров, А.Д.Морозов, М.А.Романов и другие пытались расширить область фрактальной геометрии, включая ее практическое применение по всему миру, в области радиотехники и радиолокации, от предсказания котировок ценных бумаг на рынке до совершения новых открытий в теоретической физике.

Заслуживают внимания научные работы Б.А.Бондаренко, Ш.А.Назирова, Б.Хужаёрова, Ш.А.Анаровой, Ф.М.Нуралиева и других ученых по развитию теории фракталов в нашей республике. Академик Б.А.Бондаренко проводил научные исследования по построению обобщенных «треугольников Паскаля», «пирамид Паскаля» и их фрактальных уравнений на основе теории биномиальных базисных многочленов с арифметическими характеристиками. Профессор Ш.А.Назирова разработал уравнения и рекурсивные алгоритмы классических геометрических фракталов сложной структуры с использованием метода R-функций (RFM).

Исследования в этой области показывают, что L-системы, методы системы итерационных функций (IFS) широко используются при построении фракталов. Однако при математическом моделировании геометрических фигур со сложной фрактальной структурой, в частности, методом R-функций, круг в узбекских национальных узорах, исключительная антенна, связанная, пересекающаяся, попытка-пересекающаяся, внутренняя пересекающаяся окружность, дерево-подобные фракталы, регулярные виды математическое моделирование объектов со сложной фрактальной структурой, состоящей из углов, изучено недостаточно.

**Связь темы диссертации с исследовательскими планами вуза, в котором выполнена диссертация.** Диссертационное исследование плана НИР Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми №БА-А5-014 «Разработка автоматизированной технологии аналитического описания сложных фрактальных структур на основе теории R-функций и арифметических свойств» (2017-2018 гг.) и выполнено в рамках инновационного проекта № Ф3-2019081212 на тему «Производство технологии геометрического моделирования для описания сложных фрактальных структур в узбекских национальных узорах» (2020-2021 гг.).

**Целью исследования** является разработка математических (геометрических) моделей и рекурсивных алгоритмов для геометрических объектов со сложной фрактальной структурой на основе L-систем, R-функций (RFM) и методов IFS.

**Задачи исследования:**

Анализ двумерных (2D) национальных узоров со сложной фрактальной структурой с точки зрения математических (геометрических) моделей и алгоритмов, методов визуализации и областей их применения;

совершенствование геометрических моделей и разработка рекурсивных алгоритмов построения круговых и древовидных национальных узоров со

сложной фрактальной структурой в тканях применяя методы L-систем, IFS, R-функций (RFM) и основные понятия геометрии;

разработка алгоритма создания изображений со сложной фрактальной структурой с помощью итерационных методов и полиномиографов;

разработка алгоритма создания множества инверсионных фракталов в результате деформации круговых и звездообразных фракталов;

разработка функционально - схематической структуры программного комплекса, автоматизирующего визуализацию национальных узоров со сложной фрактальной структурой в тканях методами RFM, L-систем, IFS.

В качестве **объекта исследования** рассмотрены объекты со сложной фрактальной структурой в национальных узорах.

**Предметом исследования** являются математическая модель, рекурсивные алгоритмы и программный комплекс, разработанные на основе методов RFM, L-систем, IFS, создающих геометрические фигуры со сложной фрактальной структурой для проектирования узоров тканей и ковров в текстильной промышленности.

**Методы исследования.** В процессе исследования применяются теории фракталов, методов RFM, L-систем, IFS, обработки информации, теории алгоритмов, технологии программирования.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

На основе методов L-систем, IFS, R-функции (RFM) и основные понятия геометрии усовершенствованы геометрические модели рисования круговых и древовидных национальных узоров со сложной фрактальной структурой в тканях и разработаны рекурсивные алгоритмы;

с помощью итерационных методов и полиномиографов разработан алгоритм генерации изображений со сложной фрактальной структурой;

разработан алгоритм создания множества инверсионных фракталов в результате деформации круговых и звездообразных фракталов;

разработана функционально - схематической структуры программного комплекса, автоматизирующего визуализацию национальных узоров со сложной фрактальной структурой в тканях методами RFM, L-систем, IFS.

**Практические результаты исследования** следующие:

Разработаны математические модели национальных узоров с фрактальной структурой с использованием методов L-систем, IFS и геометрических преобразований;

с помощью RFM разработаны модель и рекурсивные алгоритмы национальных узоров с фрактальной структурой;

разработан программный комплекс для моделирования национальных узоров со сложной фрактальной структурой методами RFM, L - систем и IFS.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается соблюдением правил метода RFM объектов фрактальной структуры, аналитической геометрии и компьютерной графики, правильным использованием математического аппарата моделирования объектов фрактальной структуры в RFM, итерационных методов и полиномиографов, L - системы, методы IFS при разработке предлагаемых алгоритмов.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования обусловлена созданием RFM и полиномиальных итерационных методов и алгоритмов для перспективного развития теоретических основ геометрического моделирования на основе аналитико-конструктивных и комбинаторных методов и геометрических подстановок компьютерной графики.

Практическая значимость результатов исследования подтверждается разработкой программного комплекса, позволяющего автоматизировать фракталы, созданные на основе геометрических моделей, и применяемого для проектирования тканевых, ковровых и строительных объектов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе рекурсивных алгоритмов, разработанных в результате исследований по геометрическому моделированию национальных узоров с фрактальной структурой в рамках диссертации и созданного программного комплекса:

в ООО «SAMARQAND PRODUCTS» внедрены теория фракталов и алгоритм, разработанный на основе метода RFM, программный комплекс автоматизации (справка №33-8/6758 от 12.10.2022 г. Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций) создания и конструирования национальных узорных форм. В результате автоматизация формирования современных фрактальных узоров при разработке узоров национальных ковров и их дизайне позволила увеличить производство продукции на 7-10% и сократить трудоемкость;

в ООО «BELKIS CARPET» внедрен программный комплекс, созданный на основе методов геометрического моделирования и алгоритмов изображений с фрактальной структурой с использованием геометрических преобразований компьютерной графики (справка № 33-8/6758 Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций от 12 октября 2022 г.). В результате, широко варьируя качество изделия и цвет рисунка по желанию заказчика, удалось увеличить рыночный спрос на изделие в 1,1-1,2 раза;

в ООО «ZAMON TEKSTIL EXPORT» внедрен программный комплекс с базой алгоритмов построения геометрических фигур со сложной фрактальной структурой (Справка № 33-8/6758 от 12.10.2022 Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций). В результате это позволило сократить время, необходимое для создания узоров, используемых в декорировании тканевой конструкции, в среднем на 10%;

в ООО «ARCH VISION PROJECT» внедрен программный комплекс с базой алгоритмов построения геометрических фигур со сложной фрактальной структурой. (Справка № 33-8/6758 от 12.10.2022 Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций). В результате это позволило сократить сроки создания проекта современной архитектуры здания в среднем на 15%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 3 международных и 14 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано всего 33 научные работы, в частности, 11 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе в 5 зарубежных журналах и в 6 Республиканских научных журналах. Кроме того, получены авторские свидетельства на 5 программных средства для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 118 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследовательской работы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведен научной и практической значимости, внедрении результатов в практику, публикации результатов исследования, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Обзор литературы по моделям и алгоритмам сложных фрактальных структур»** определяется актуальность проблемы. Научно-практические исследования, проводимые в зарубежных странах и нашей республике по методам построения объектов с фрактальной структурой были тщательно проанализированы, а также изучены основные положения теории фракталов, современное состояние методов построения фракталов, области их применения, описаны характеристики самих фракталов и общие понятия о фракталах, объясняются и анализируются методы расчета фрактальной размерности поставлена задача исследования. Также в этой главе описаны модели и алгоритмы круговых фрактальных структур, специфические свойства фракталов и общие понятия, связанные с фракталами. Методы построения фракталов классифицируются на основе типов и классификации фракталов. Изучены применение фракталов в областях науки и техники, включая математику, физику, компьютерную графику, легкую промышленность, электронику, астрофизику, биологию, материаловедение, медицину, и представлены конкретные решения по использованию фрактальных форм в дизайне изделий.

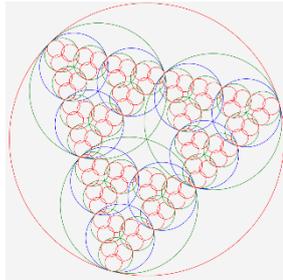
Вторая глава диссертации, озаглавленная **«Разработка геометрических моделей и алгоритмов объектов со сложной фрактальной структурой»** посвящена построению фракталов аналитически, с использованием итерационных методов и полимиографов, с использованием L-систем и методов IFS, с использованием метода RFM, и на основе алгоритмов создания инверсионных фракталов.

При построении фракталов, состоящих из окружностей, в аналитическом методе, сначала, выбираются основные геометрические элементы, то есть  $M(x_0, y_0)$  - координаты центра окружности,  $R$  - радиус окружности,  $l$  - увеличение (или уменьшение) радиуса,  $\alpha$  - начальный угол,  $n$  - количество элементов,  $S$  - количество рекурсий (или шагов).

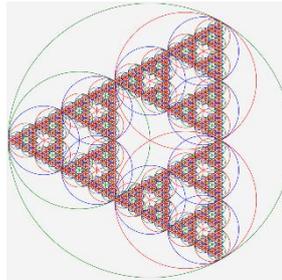
Тогда общая формула будет выглядеть так:

$$\Phi P_2 = \sum_{j=1}^S \left( \sum_{i=1}^n M_i^j \left( x_0 - \left( R \cdot \frac{(l-1)}{l} \right) \cdot \cos \left( \frac{\left( \left( \alpha + n \cdot \left( \frac{360}{k} \right) \right) \cdot \pi \right)}{180} \right), y_0 - \left( R \cdot \frac{(l-1)}{l} \right) \cdot \sin \left( \frac{\left( \left( \alpha + i \cdot \left( \frac{360}{k} \right) \right) \cdot \pi \right)}{180} \right) \right) \right)$$

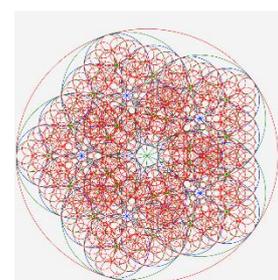
$$R = R/l.$$



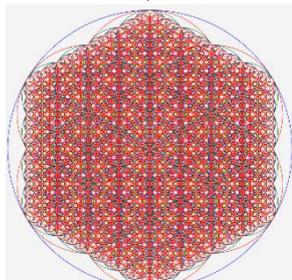
$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 45, n = 4, l=45,$   
 $k = 2, S = 3$



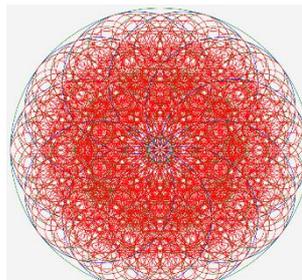
$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 0, n = 7, l=45, k = 2,$   
 $S = 3$



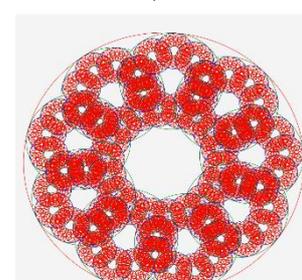
$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 0, n = 4, l=45,$   
 $k = 2, S = 5$



$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 30, n = 5, l=45,$   
 $k = 2, S = 6$



$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 0, n = 3, l=45,$   
 $k = 2, S = 10$



$M(500:400), R = 350,$   
 $\alpha = 15, n = 4, l=0,$   
 $k = 2.7, S = 9$

**Рис. 1. Круговые фракталы, созданные с шагом  $k = 2, k = 2.7; S=3, S=5, S=6, S=9, S=10$**

Рекурсивная функция Джон Хатчинсона используется для создания самоподобного фрактала в методе IFS. Это выглядит так:

$$A_n = \bigcup_{i=1}^m f_i(A_{n-1}).$$

где  $f$  – это линейная перестановка, представляющая собой комбинацию переноса, поворота, масштабирования и отражения.

Уравнение аффинных условных замен на плоскости выражается как:

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix},$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $m \geq 1$  и  $\lambda_i < 1$  - условные значения,  $\mu_1 = -1$  и  $\mu_2 = 1$  отражения вдоль оси  $y$ ,  $\mu_1 = 1$  и  $\mu_2 = -1$  отражения вдоль оси  $x$ ,  $\theta$  - угол поворота,  $\delta_x$  и  $\delta_y$  смещение по оси  $x$  и оси  $y$  соответственно.

Для создания пятиугольных фракталов методом IFS создаются 6 функций с использованием масштабного коэффициента:

$$r = \frac{3 - \sqrt{5}}{2} = 0.381966.$$

$$f_1(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x;$$

$$f_2(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.618 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$f_3(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.809 \\ 0.588 \end{bmatrix};$$

$$f_4(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.309 \\ 0.951 \end{bmatrix};$$

$$f_5(x) = \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} -0.191 \\ 0.588 \end{bmatrix};$$

$$f_6(x) = -1 \cdot \begin{bmatrix} 0.382 & 0 \\ 0 & 0.382 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.691 \\ 0.951 \end{bmatrix}.$$

Рекурсивные функции для этого процесса генерируются следующим образом:

$$F_1 = f_1(F_0) \cup f_2(F_0) \cup f_3(F_0) \cup f_4(F_0) \cup f_5(F_0) \cup f_6(F_0),$$

$$F_2 = f_1(F_1) \cup f_2(F_1) \cup f_3(F_1) \cup f_4(F_1) \cup f_5(F_1) \cup f_6(F_1),$$

$$\dots$$

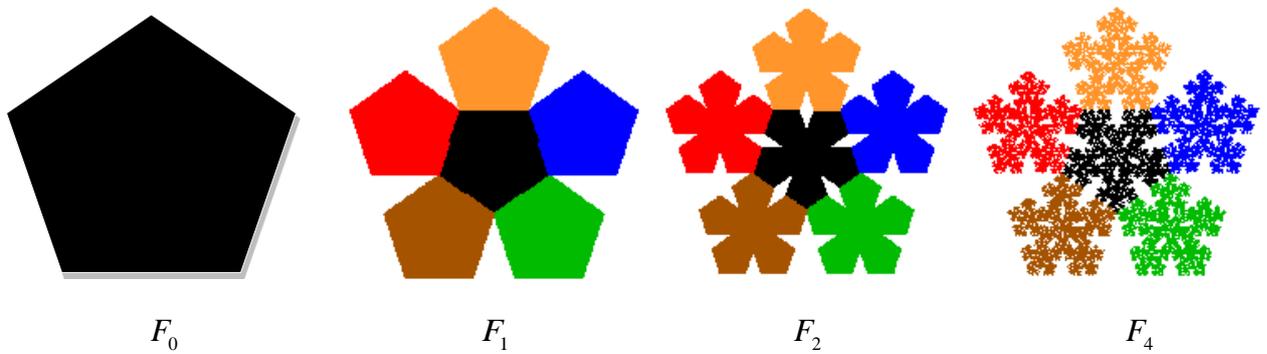
$$F_n = f_1(F_{n-1}) \cup f_2(F_{n-1}) \cup f_3(F_{n-1}) \cup f_4(F_{n-1}) \cup f_5(F_{n-1}) \cup f_6(F_{n-1}).$$

$$F = \bigcup_{n=0}^{\infty} F_n, \quad F_n = \bigcup_{i=1}^m f_i(F_{n-1}) \cup F_0.$$

Размерность фрактала, состоящего из 6 непересекающихся пятиугольников, сформированных на шаге 4-й итерации, рассчитывается следующим образом:

$$\sum_{k=1}^6 r^d = 1 \Rightarrow d = \frac{\log\left(\frac{1}{6}\right)}{\log(r)} = \frac{\log(6)}{\log\left(\frac{2}{3-\sqrt{5}}\right)} = 1.86172.$$

В качестве  $F_0$  выберем следующую начальную геометрическую форму для случая  $i=0$  и генерируем результаты  $F_0, F_1, F_2, F_4$  на рисунке:



**Рис. 2. Сгенерированные пятиугольные фракталы для первых четырех шагов итерации**

Чтобы скопировать (отпечатать) фракталы на тканевой, ковровой, фарфоровой и керамической продукции, необходимо написать их уравнение. С помощью метода R-функции (RFM) построены фрактальные изображения, то есть фрактальные уравнения, состоящие из окружностей, и разработаны алгоритмы их построения.

При изучении фрактальных кольцевых структур в основном учитываются свойства симметрии и похожие характеристики. Алгоритм построения круговых фракталов следующий:

1. В  $A_1$  в качестве основного элемента фрактальной антенной конструкции в первой итерации было получено кольцо радиусом 11 мм, толщиной 0,4 мм по оси  $Ox$  и по радиусом 0,2 мм.

На 0-ой итерации в основное кольцо помещаются 7 колец, которые в три раза меньше заданного. Остальные элементы (ширину и толщину кольца) оставляем без изменений. Центр 6 маленьких кругов расположен на расстоянии  $R \cdot 2/3$  от вершины шестиугольника. Центр седьмого круга совпадает с центром основной антенны. Назовем это построение первым шагом итерационного алгоритма и обозначим его  $A_1$ .

2. Алгоритм, используемый для модели  $A_1$ , используется для построения исключительных колец  $A_2$  во второй итерации.

На каждый круг помещается шесть кругов с удвоенным радиусом предыдущего, центр расположен на расстоянии  $R \cdot 2/3$  от начального радиуса в конце шестиугольника. Седьмой круг помещается в центр основного круга. Таким образом, создана фрактальная модель антенны, показанная на рис. 3. Как и в 1-м пункте алгоритма, диаметр коаксиальных линий равен 0,5 мм. Толщина антенны 0,4 мм, ширина кольца 0,2 мм. Радиусы внешней круга  $R = 11$  мм,  $R_1 = R/3$ ,  $R_2 = R/9$ .

Составим уравнение кругового фрактала  $A_1$ :

0 – й шаг.

$$a_{00} = \frac{R_0^2 - x^2 - y^2}{2R}. \quad (1)$$

1 – й шаг.

$$r_1 = \frac{1}{3}R_0, \quad a_1 = \frac{2}{3}R_0, \quad dx = \frac{\sqrt{3}}{3}R_0, \quad dy = \frac{1}{3}R_0,$$

$$\omega_{10} = \frac{r_1^2 - x^2 - y^2}{2r_1}, \omega_{11} = \frac{r_1^2 - x^2 - (y - a_1)^2}{2r_1},$$

$$\omega_{12} = \frac{r_1^2 - x^2 - (y + a_1)^2}{2r_1}, \omega_{14} = \frac{r_1^2 - (x + dx)^2 - (y + dy)^2}{2r_1}, \omega_{15} = \frac{r_1^2 - (x - dx)^2 - (y + dy)^2}{2r_1},$$

$$\omega_{16} = \frac{r_1^2 - (x - dx)^2 - (y - dy)^2}{2r_1},$$

$$\omega = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{10} \vee_0 \omega_{11} \vee_0 \omega_{12} \vee_0 \omega_{13} \vee_0 \omega_{14} \vee_0 \omega_{15} \vee_0 \omega_{16})). \quad (2)$$

$$\omega_0 = \frac{R^2 - x^2 - y^2}{2R} \wedge_0 \frac{x^2 + y^2 - (R - dr)^2}{2R} \geq 0. \quad (3)$$

$$\omega_{10} = \omega_0(r_1, x, y), \omega_{11} = \omega_0(r_1, x, y - a_1), \omega_{12} = \omega_0(r_1, x, y + a_1),$$

$$\omega_{13} = \omega_0(r_1, x + dx, y - dy), \omega_{14} = \omega_0(r_1, x + dx, y + dy),$$

$$\omega_{15} = \omega_0(r_1, x - dx, y + dy), \omega_{16} = \omega_0(r_1, x - dx, y - dy),$$

$$\omega_1 = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{10} \vee_0 \omega_{11} \vee_0 \omega_{12} \vee_0 \omega_{13} \vee_0 \omega_{14} \vee_0 \omega_{15} \vee_0 \omega_{16})).$$

$dr$  - маленькое число - толщина круга.

Определим шаг  $i$  по формулам (1)-(3), приведенным выше:

$$r_i = \frac{1}{3}r_{i-1}, \quad a_i = \frac{2}{3}r_{i-1}, \quad dx = \frac{\sqrt{3}}{3}r_{i-1}, \quad dy = \frac{1}{3}r_{i-1}.$$

$$\omega_{i0} = \omega_{i-1}(r_i, x, y), \omega_{i1} = \omega_{i-1}(r_i, x, y - a_i), \omega_{i2} = \omega_{i-1}(r_i, x, y + a_i),$$

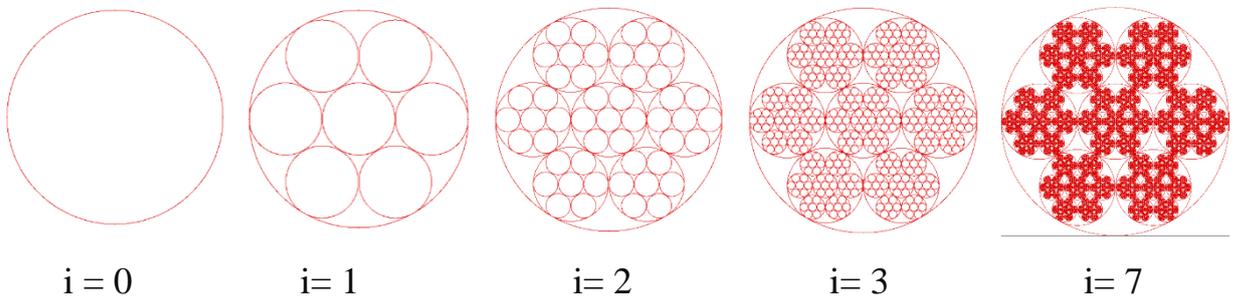
$$\omega_{i3} = \omega_{i-1}(r_i, x + dx, y - dy), \omega_{i4} = \omega_{i-1}(r_i, x + dx, y + dy),$$

$$\omega_{i5} = \omega_{i-1}(r_i, x - dx, y + dy), \omega_{i6} = \omega_{i-1}(r_i, x - dx, y - dy),$$

$$\omega = (\omega_{00} \vee_0 (\omega_{i0} \vee_0 \omega_{i1} \vee_0 \omega_{i2} \vee_0 \omega_{i3} \vee_0 \omega_{i4} \vee_0 \omega_{i5} \vee_0 \omega_{i6})). \quad (4)$$

$i = 2, 3, 4, \dots$

Можно выделить, что при  $i=2$  мы получаем модель круга  $A_2$ . Результаты расчетов для  $i = 0, 1, 2, 3, 4$  представлены на рис. 3.



**Рис.3. Эксклюзивная антенна  $A_2$**

Создание связанных кругов методом R-функции. Уравнение внешнего круга определяется как:

$$\omega_{00} = \omega_{00}(R, x, y) = (R^2 - x^2 - y^2 \geq 0),$$

уравнение круга, соединенного с кругом, имеет следующий вид:

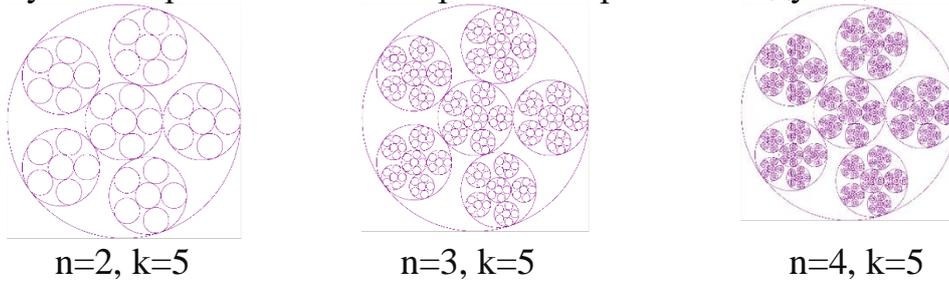
$$\omega_0 = \omega_{00} \wedge_0 (x^2 + y^2 - (R - a)^2 \geq 0),$$

где  $a$  - толщина круга ( $2a$  - толщина круга, маленькое число),  $R$  - радиус внешней круга,  $\alpha = \frac{2\pi}{k}$ ;  $k$  - количество внутренних кругов после каждой итерации  $k=2,3,4$ .

Мы получаем следующую рекурсивную функцию используя итерацию:

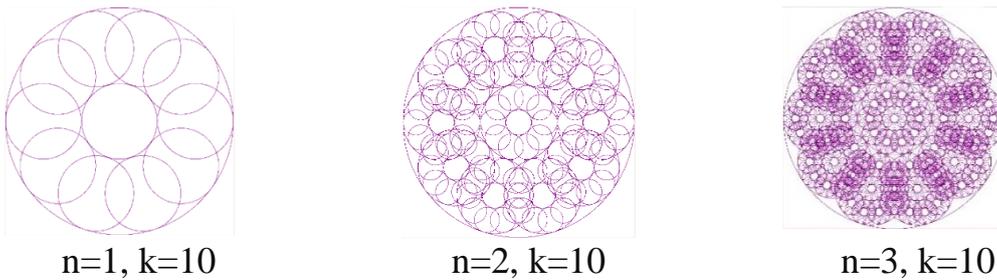
$$\begin{aligned} \omega_n(R, x, y) = & \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x, y\right) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(0), y - \frac{2R}{3}\sin(0)\right) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin(\alpha)\right) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos(2\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin(2\alpha)\right) \vee_0 \dots \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3}\cos((k-1)\alpha), y - \frac{2R}{3}\sin((k-1)\alpha)\right) \geq 0; n=1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты расчетного эксперимента при  $k=5$  следующие:



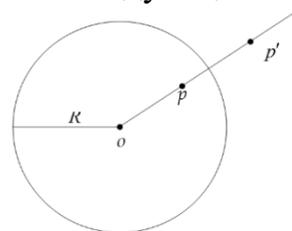
**Рис.4. Фракталы, состоящие из кругов**

Можно выделить, что при  $k < 6$  внутренние круги не касаются друг друга, при  $k = 6$  пробуются касаются круги, при  $k > 6$  внутренние круги пересекаются.



**Рис.5. Фракталы, состоящие из пересекающихся кругов**

Алгоритм построения набора инверсионных фракталов в результате деформации круговых фракталов следующий:



$$d(o, p) \cdot d(o, p') = R^2,$$

Если  $o = (x_o, y_o)$  и  $p = (x_p, y_p)$ ,  $I_C$  имеет следующую формулу:

$$p' = I_C(p) = (x_o, y_o) + \frac{R^2}{(x_p - x_o)^2 + (y_p - y_o)^2} (x_p - x_o, y_p - y_o). \quad (6)$$

$S_1, \dots, S_k$  - круговые наборы с выбранными центрами инверсии, начальная точка за пределами  $p_0 - S_1, \dots, S_k$ ,  $n > 20$  – количество повторений,  $k$ - количество внутренних кругов.

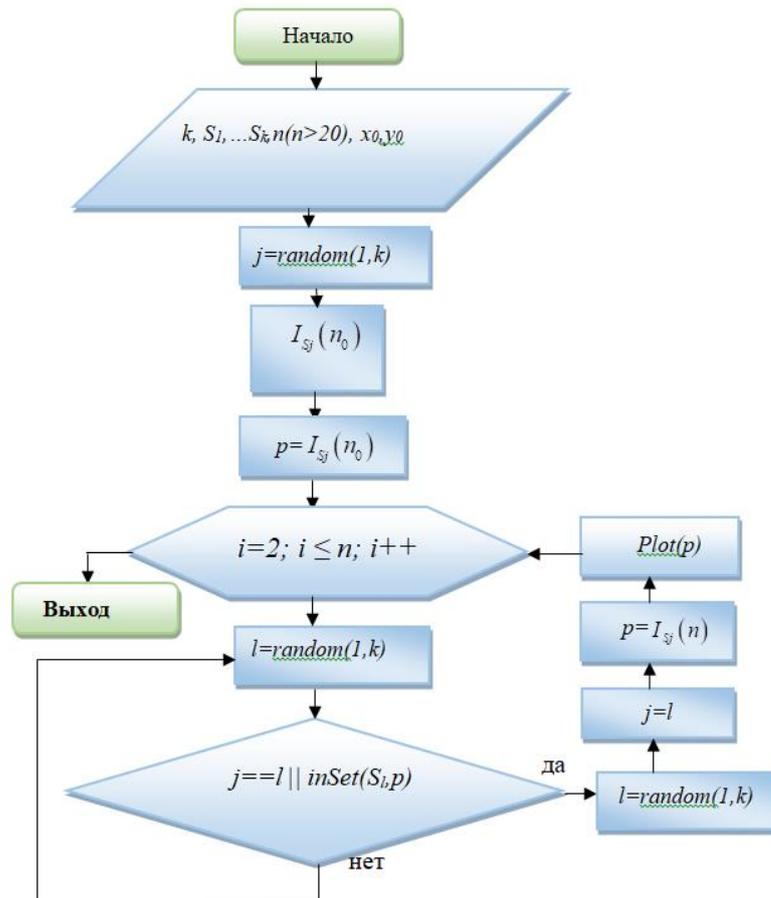
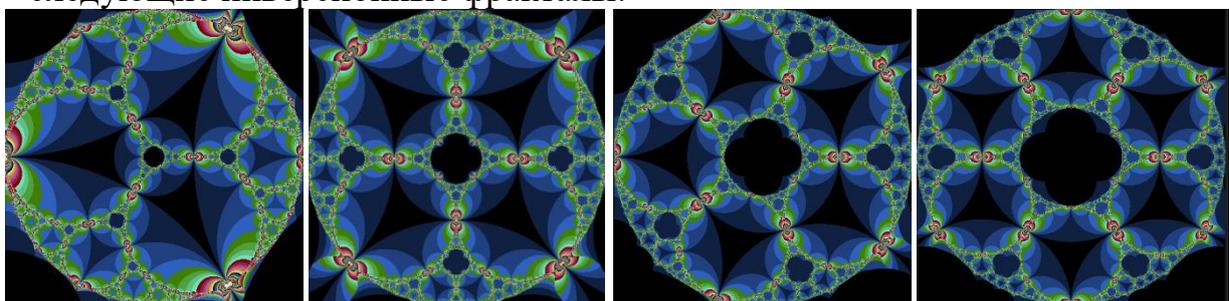


Рисунок 6: Блок-схема алгоритма случайной инверсии

Для значений  $imgx = 700$ ,  $imgy = 700$ ,  $k \in [3, 6]$  были сгенерированы следующие инверсионные фракталы:



$k=3$

$k=4$

$k=5$

$k=6$

Рис.7: Результаты, полученные для случая  $n < 70$  с использованием алгоритма случайной инверсии при различных значениях  $k$

В главе диссертации, озаглавленной «Разработка программного комплекса, автоматизирующего рисование национальных узоров со сложной фрактальной структурой», описано создание программного обеспечения, реализующего предложенные в предыдущих главах алгоритмы, обеспечивающего решение практических задач, представлены основной

интерфейс и функциональные возможности программы, описаны алгоритмы визуализации сложных фрактальных изображений.

Общая структура программного комплекса, генерирующего фрактальные структуры на основе аналитического метода, метода RFM, L-систем, метода IFS и геометрических замен, представлена на рис. 8. Фрактальное рисование в методе RFM предполагает представление элементарных площадей (окружность, вертикальная линия, горизонтальная линия, полуплоскость и т. д.) с помощью R - функции.

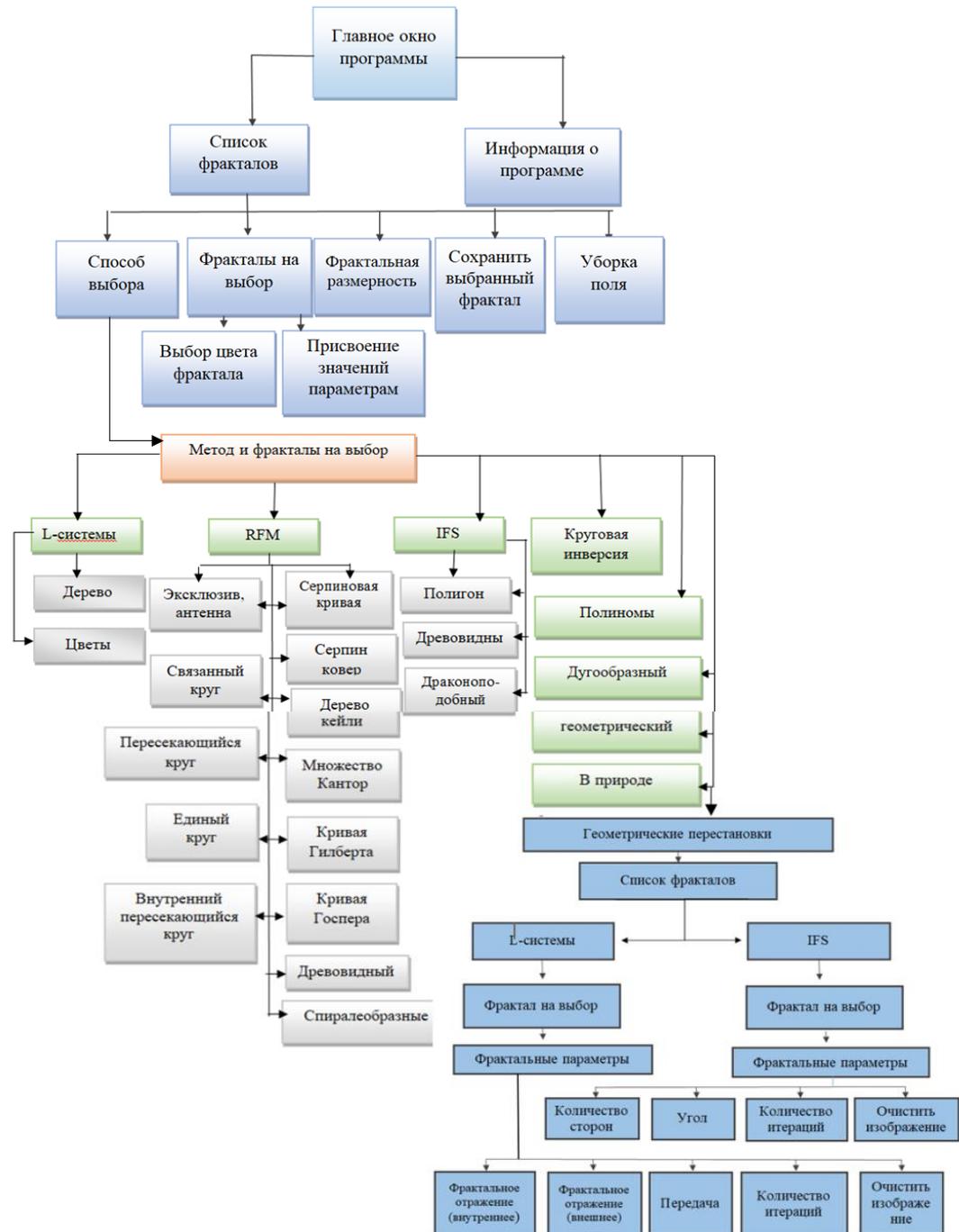


Рис.8. Структура программного комплекса



**Рис.9. Главное окно программы**

Для фракталов дракона и дерева сложные фрактальные изображения создаются с помощью геометрических преобразований, таких как вращение, перемещение и отражение.

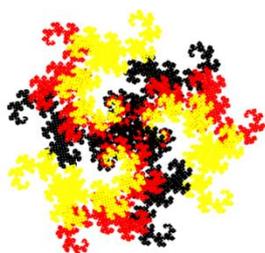
Для поворота результатов, полученных методом L-систем, на угол  $\alpha$  были использованы следующие геометрические преобразования:

$$\begin{cases} x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha, \\ y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha. \end{cases} \quad (7)$$

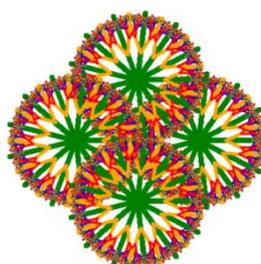
$$\begin{cases} x' = x + r \cos \frac{\pi d}{180}, \\ y' = y + r \sin \frac{\pi d}{180}. \end{cases} \quad (8)$$

где  $d = \frac{360}{n}$ .

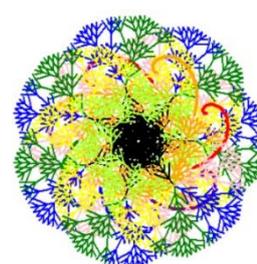
Процесс может продолжаться до тех пор, пока не будет достигнут желаемый результат или полученный результат не будет удовлетворительным. В результате формируются следующие фракталы для выбранных значений путем выполнения геометрических преобразований методом L-систем:



Акс=3, Эл\_акс=3,  
кўчириш=50, инт=11



Акс=13, Эл\_акс=4,  
кўчириш=90, инт=14



Акс =7, Эл\_акс =7,  
кўчириш =70, инт =14

**Рис. 11. Сложные фрактальные изображения, созданные после геометрического отражения фракталов дракона и дерева**

Для визуализации сложных фрактальных изображений использованы языки программирования Python и Java. На основе алгоритмов созданного программного комплекса разработаны несколько типов изображений фрактальных структур, состоящих из древовидных, кривых дракона, треугольника Серпина, круговых, звездообразных национальных узоров, многоугольников и геометрических фигур.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам проведенных диссертационной работы по теме «Разработка математических моделей и рекурсивных алгоритмов объектов со сложной фрактальной структурой» сделаны следующие основные выводы:

1. Были изучены и исследованы основные понятия теории фракталов, возникновение фракталов, их свойства, виды и области применения. В результате было установлено, что национальные узоры с фрактальной структурой могут быть использованы при реализации процессов проектирования в современном и классическом дизайне в легкой промышленности, и это имеет экономическую выгоду.

2. Изучены и исследованы методы построения фракталов, алгоритмы их визуализации, процессы применения, понятие фрактальной размерности и методы расчета размеров объектов с фрактальной структурой. Разработана формула расчета фрактальной размерности. На основе разработанной формулы определены фрактальные размерности паттернов с фрактальной структурой. Исследованы теоретические основы и преимущества методов системы итерационных функций (IFS) и L-систем. Эти методы позволяют провести сравнительный анализ классических и современных фракталов.

3. С помощью метода RFM построена математическая (геометрическая) модель объектов с фрактальной структурой. На основе этой модели были разработаны алгоритмы рисования и визуализации круговых, древовидных, звездообразных и многоугольных фракталов. Разработанные алгоритмы служат для создания изображений со сложной фрактальной структурой, связанной с построением узоров.

4. На основе итерационных методов и полиномиографов разработаны алгоритмы и программные средства для визуализации объектов с фрактальной структурой. Эти программные средства позволили использовать национальные выкройки, состоящие из сгенерированных алгебраических фракталов, и производить ткани в короткие сроки в ассортименте, соответствующем запросам заказчиков.

5. Разработан алгоритм генерации множества инверсионных фракталов в результате деформации круговых и звездообразных фракталов. В результате это автоматизировало процесс формирования современных национальных узоров во фрактальной структуре тканей и ковров, и привело к увеличению производства на 7-10% и сокращению трудозатрат в несколько раз.

6. На основе разработанной математической (геометрической) модели и алгоритмов разработан программный комплекс для автоматизации и

визуализации объектов с фрактальной структурой. Этот программный комплекс служит для создания узоров тканей и ковров в текстильной промышленности, проектирования, оборудования и оформления интерьера и экстерьера зданий, украшения узорами строительных изделий, автоматизируя подбор цветов и рисунков изделий.

7. Разработанные математические (геометрические) модели, алгоритмы и программные комплексы внедрены в ООО «SAMARQAND PRODUCTS», в ООО «BELKIS CARPET», в ООО «ARCH VISION PROJECT» и в ООО «ZAMON TEKSTIL EXPORT». В результате автоматизация рисования современных узоров, позволила увеличить объем производства на 7-10 %, увеличить рыночный спрос на продукцию в 1,1-1,2 раза, сократить время производства в среднем на 10 %, уменьшить трудоемкость.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**RESEARCH INSTITUTE FOR DEVELOPMENT OF DIGITAL  
TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**IBROHIMOVA ZULAYKHO ERGASH QIZI**

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS AND  
RECURSIVE ALGORITHMS FOR OBJECTS WITH A COMPLEX  
FRACTAL STRUCTURE**

05.01.01 – Engineering geometry and computer graphics.  
Audio and videotكنولوجies

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2022**

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.1.PhD/T2744.

The dissertation has been prepared at Research Institute for the Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz.).

**Scientific adviser:** Anarova Shakhzoda Amanbayevna  
Doctor of Technical Sciences, Docent

**Official opponents:** Nazirova Elmira Shodmonovna  
Doctor of Technical Sciences, Professor

Hamdamov Utkir Rakhmatillaevich  
Doctor of Technical Sciences, Docent

**Leading organization:** Tashkent state transport university

The defense will take place «27» January 2023 year at 14<sup>00</sup> on the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent, Amir Temur str., 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, e-mail: iktuit@tuit.uz).

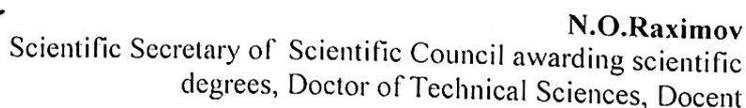
The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 260). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43).

Abstract of dissertation sent out on «09» January 2023 y.  
(mailing report No. 14 on «20» December 2022 y.).





**M.M.Musayev**  
Chairman of the Scientific Council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor



**N.O.Raximov**  
Scientific Secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Docent



**U.R.Hamdammov**  
Chairman of the Scientific Seminar under the Scientific Council, Doctor of Technical Sciences, Docent

## INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

**The aim of the research** is considered to develop mathematical (geometric) model and recursive algorithms by L-systems, R-function (RFM) and IFS methods of geometric objects with complex fractal structure.

**The object of the research** is considered objects which have complex fractal structure in the design of national patterns.

### **Scientific novelty of research work:**

based on the methods of L-systems, IFS, R-functions (RFM) and the basic concepts of geometry, geometric models for drawing circular and tree-like national patterns with a complex fractal structure in fabrics have been improved and recursive algorithms have been developed;

with the help of iterative methods and polynomial graphs, an algorithm for generating images with a complex fractal structure was developed;

an algorithm was developed for creating a set of inversion fractals as a result of deformation of circular and star-shaped fractals;

a functional-schematic structure of a software package has been developed that automates the visualization of national patterns with a complex fractal structure in tissues using the RFM, L-systems, IFS methods.

**Implementation of research results.** On the basis of the recursive algorithms developed as a result of the research on the geometric modeling of national patterns with a fractal structure within the framework of the dissertation and the created software package:

the fractal theory, the algorithm developed on the basis of RFM methods, the automation software were introduced to «SAMARQAND PRODUCTS» LLC in the creation and design of national patterns (reference № 33-8/6758 dated October 12, 2022 of the Ministry of Development of Information Technologies and Communications). As a result, the automation of the formation of modern patterns in the form of fractals in the development of patterns of national carpets, in the design of their design, allowed to increase production by 7%-10% and reduce the amount of labor;

a software tool created on the basis of geometric modeling methods and algorithms of images with fractal structure using geometric substitutions of computer graphics was introduced to «BELKIS CARPET» LLC (reference № 33-8/6758 of the Ministry of Development of Information Technologies and Communications dated October 12, 2022). As a result, it was possible to increase the market demand for the product by 1.1-1.2 times by widely changing the quality of the product and the color of the pattern at the request of the customer;

a software with a base of algorithms for constructing geometric shapes with a complex fractal structure was introduced to «ZAMON TEKSTIL EXPORT» LLC (reference № 33-8/6758 dated October 12, 2022 of the Ministry of Development of Information Technologies and Communications Development). As a result, it was possible to reduce the time required to create the patterns used in the decoration of fabric design by an average of 10%;

a software with a base of algorithms for constructing geometric shapes with a complex fractal structure was introduced to «ARCH VISION PROJECT» LLC (reference № 33-8/6758 dated October 12, 2022 of the Ministry of Development of Information Technologies and Communications). As a result, it was possible to reduce the time required to create a design of modern building architecture by an average of 15%.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The total volume of the dissertation is 118 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**I бўлим (I часть; I part)**

1. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Kholikova S.K. Producing a geometric model of constructing the fractals in the shape of tree and pentagonal // Web of Scientist: International Scientific Research Journal. ISSN: 2776-0979, Volume 3, Issue 10, Oct., 2022. – pp. 12-18 (№1; Web of science; IF=5.949).
2. Anarova Sh., Narzullov O., Ibrohimova Z. Development of Fractal Equations of National Design Patterns based on the Method of R-Function // International Journal “Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)”, - India, 2020, ISSN: 2278-3075, Volume-9 Issue-4, pp.134-141 (№3; Scopus; IF=0.546).
3. Anarova Sh., Narzulloyev O.M., Ibrohimova Z.E., Samidov M.N. Fraktal naqshlarni o‘zbek milliy gilamlari va jakkard gazlamalarida qo‘llash.// Muhammad al-Xorazmiy avlodlari, № 1(11), - Toshkent, 2020. 132-136 б. (05.00.00; №10).
4. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. Methods of Constructing Equations for Objects of Fractal Geometry and R-Function Method // In International Conference on Intelligent Human Computer Interaction. Springer, DOI: 10.1007/978-3-030-98404-5\_40, - USA, 2022. pp. 425-436 (№3; Scopus; IF=0.7).
5. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Narzulloyev O.M., Qayumova G.A. Mathematical Modeling of Pascal Triangular Fractal Patterns and Its Practical Application // Intelligent Human Computer Interaction 12th International Conference, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68449-5\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68449-5_39), - South Korea, 2021, pp.390–399 (№3; Scopus; IF=0.7).
6. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Xurramova R.I. O‘zbek milliy liboslarining naqshli dizaynida fraktallar va ularni qurishning dasturiy vositalari // O‘zbekiston to‘qimachilik jurnali. – Toshkent, 2020. № 2. 77-89 б. (05.00.00; №17).
7. Xurramova R.I., Anarova Sh.A., Narzulloyev O.M., Ibrohimova Z.E.. Gilam dizayni naqshlari uchun paskal uchburchaklaridan iborat fraktallarni qurishni avtomatlashtirish // O‘zbekiston to‘qimachilik jurnali. – Toshkent, 2020. № 2. 90-100 б. (05.00.00; №17).
8. Анарова Ш.А., Иброхимова З.Э., Саидкулов Э.А. Метод R-функция и построение уравнений фракталов // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2021. - № 4(34). - С. 36-50 (05.00.00; №23).
9. Анарова Ш.А., Иброхимова З.Э., Саидкулов Э.А. Фрактальная обработка и определение фрактальной размерности изображения // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2021. - № 5(35). - С. 52–68 (05.00.00; №23).
10. Анарова Ш.А., Садуллаева Ш.А., Иброхимова З.Э. Построение уравнения сложных фрактальных структур на основе метода R-функций (RFM) //

- Автоматика и программная инженерия. <http://www.jurnal.nips.ru>. - Россия, 2020, №3(33), - С. 24-36. (№4; Journal Citation Reports; IF=0.508)
11. Иброҳимова З.Э. Айлана ва юлдуз шакли фракталларни деформациялаш натижасида инверсион фракталлар тўпламини яратиш алгоритми // Ўзбекистон Миллий Ахборот агентлиги Илм-фан бўлими (электрон журнал) – Ташкент, 2022. 319-328 б. (ОАК Риёсатининг 2019-йил 28-мартдаги 263/7.1 ва 263/7.4-сон қарори).

#### II бўлим (II часть; II part)

12. Anarova Sh., Ibrokhimova Z., Berdiev G. An Algorithm for Constructing Equations of Geometry Fractals Based on Theories of R-functions // 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, DOI: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9254635 - Turkey, 2020. - № 9254635, pp.01-04.
13. Anarova Sh., Ibrohimova Z.. То‘қимачилик sanoati dizaynida fraktal grafikadan foydalanish // “Инновацион ёндашувлар илм-фан тараққиёти калити сифатида: ечимлар ва истиқболлар” мавзусидаги республика миқёсидаги илмий-техник анжуман материаллари тўплами- Жиззах: - ЎзМУ ЖФ , 2020. 67-72 б.
14. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. То‘plamlar nazariyasi asosida fraktal o‘lchovni hisoblash // Бухоро давлат университети ахборот технологиялари факультети амалий математика ва ахборот технологияларининг замонавий муаммолари халқаро миқёсидаги илмий-амалий анжуман материаллари. – Бухоро, 2021, 153-155 б.
15. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. Aylanasi fraktallari va ularning fraktal o‘lchovlari // Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Самарқанд филиали «Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар» Республика илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами. – Самарқанд, 2021. 109-112 б.
16. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. То‘қимачилик dizaynida fraktal naqshlarni qurish uchun dasturiy vositalardan foydalanish // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар” Республика илмий–техник конференциясининг маърузалари тўплами, – Самарқанд, 2020. 10-14 б.
17. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. То‘қимачилик sanoatida mato naqshlari fraktal tasvirlarini hosil qilishda L-tizimlar usulidan foydalanish. “Иқтисодий тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг ахамияти” мавзусидаги республика миқёсидаги илмий-техник анжуман материаллари тўплами. – Тошкент, 2021. 5-8 б.
18. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. То‘қимачилик sohasida fraktallari naqshlardan foydalanish // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва дастурий

- таъмнот яратиш” мавзусида профессор–ўқитувчилар ва талабаларнинг илмий-амалий конференцияси маърузалари тўплами. - Самарқанд, 2020. 46-49 б.
19. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. Виды фракталов и области применения // «Geoinnovation research center» “илм-фан ва инновацион ютуқларни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги I республика масофавий кўп тармоқли илмий-амалий конференция материаллари. – Самарқанд, 2020. 122-126 б.
  20. Анарова Ш.А., Иброҳимова З.Э. Фрактал ўлчов тушунчаси // Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети рақамли технологиялар соҳаларда амалий жорий этишнинг ечимлари ва муаммолари Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. – Тошкент, 2021. 8-12 б.
  21. Anarova Sh.A., Ibrokhimova Z.E., Mirgaziev J.U. Investigation of fractal ring structures based on the R - Function Method (RFM) // Frontier in mathematics and computer science International Online Conference. Holon Institute of Technology, National University of Uzbekistan,– Tashkent, 2020. p.15.
  22. Анарова Ш.А., Нарзуллоев О.М., Иброҳимова З.Э. Тўқимачилик дизайнида мураккаб фрактал тузилишидаги тасвирлардан фойдаланиш // Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» мавзусида халқаро илмий-амалий конференция. – Андижон, 2020. - 246-252 б.
  23. Ibrohimova Z.E, Parmonqulov F.N. Aylana va yulduz shaklli inversion fraktallar to‘plami // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Samarqand filiali, “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va at-ta’lim tatbiqi muammolari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. – Samarqand, 2022. I-tom. 70-73 b.
  24. Ibrohimova Z.E, To’xtasinov A.I. Polinomiograflar asosida PM10 iterativ usulidan foydalanib fraktal tasvirlarni hosil qilish // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Samarqand filiali, “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va at-ta’lim tatbiqi muammolari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. – Samarqand, 2022. II-tom. 30-33 b.
  25. Анарова Ш.А., Иброҳимова З.Э., Хужамуродова Н.А. Определение уравнения фрактальных деревьев на основе метода R-функций (RFM) // Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Самарқанд филиали «Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар» Республика илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами. – Самарқанд, 2021. 114-117 б.

26. Анарова Ш.А., Иброҳимова З.Э., Миргазиев Ж.У. Метод R-функций (RFM) для построения уравнения фракталов // “Математик моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва дастурий таъминот инженериясининг долзарб муаммолари” мавзусидаги республика илмий анжумани материаллари тўплами.- Қарши давлат университети. – Қарши, 2020. 177-181 б.
27. Анарова Ш.А., Нарзуллоев О.М., Иброҳимова З.Э Фрактал тузилишли объектларни геометрик моделлаштириш усуллари ва рекурсив алгоритмларини ишлаб чиқиш // Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта» в управлении доклады Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 2021. 156-165 б.
28. Иброҳимова З.Э., Фаттаева Д.А. Применение фракталов в медицине// Материалы V международной научно-практической Конференции «наука и образование в современном мире: Вызовы XXI века» Секция 04. Технические науки, I том, Нур-султан, – Казахстан, 2019, с. 226-229.
29. Анарова Ш.А., Иброҳимова З.Э., Нарзуллоев О.М., Самидов М.Н., Миргазиев Ж.У. «Автоматизация дизайна национальных ковёр на основе классических геометрических фракталов» // O‘zbekiston respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № DGU 08923. 04. 09.2020 г.
30. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Bekmurodova M.Sh., Xoliqova S.K., Amonova O.A.«Yulduzsimon fraktal tuzilishli milliy naqshlar yaratishni avtomatlashtiruvchi dasturiy vosita» // O‘zbekiston respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № DGU 17151, 21.05.2022 y.
31. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Berdiyev G‘.R., Ismoilov Sh. M.,Samidov M. N., Saidkulov E.A. To‘qimachilik dizayni uchun daraxtsimon fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishni avtomatlashtirish // O‘zbekiston respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № DGU83750 16.06.2021 y.
32. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Berdiyev G‘.R., Ismoilov Sh. M.,Samidov M. N. Gazlama va gilamlar uchun aylanasion fraktal tuzilishlarni hosil qiluvchi dasturiy vosita // O‘zbekiston respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № DGU44215 16.06.2021 y.
33. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E.,To‘xtasinov A.I., Parmonqulov F.N., Fayziyev A.A., Amonova O.A. «Aylanasion fraktal tuzilishli milliy naqshlarni geometrik modellashtirishni avtomatlashtirish» // O‘zbekiston respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. № DGU 17150 14.05.2022 y.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» Ўзбекистон илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (14.12.2022 й).