

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJA BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

BERDIYEV G‘OLIB RASHIDOVICH

**QURILISH-ME‘MORCHILIK OBYEKTLARINING MURAKKAB
FRAKTAL TUZILISHLARINI GEOMETRIK MODELLASHTIRISH**

05.01.01- Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va videotexnologiyalari

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2023

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

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

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

Berdiyev G'olib Rashidovich

Qurilish-me'morchilik obyektlarining murakkab
fraktal tuzilishlarini geometrik modellashtirish

3

Бердиев Голиб Рашидович

Геометрическое моделирование сложных фрактальных
структур строительно-архитектурных объектов

21

Berdiev Golib Rashidovich

Geometric modeling of complex fractal structures
of building and architectural objects

39

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works

43

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJA BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

BERDIYEV G‘OLIB RASHIDOVICH

**QURILISH-ME‘MORCHILIK OBYEKTLARINING MURAKKAB
FRAKTAL TUZILISHLARINI GEOMETRIK MODELLASHTIRISH**

05.01.01- Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va videotexnologiyalari

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2023

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.2.PhD/T2821 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tuit.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Sadullayeva Shaxlo Azimbayevna
fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Xamdamov O'tkir Raxmatillayevich
texnika fanlari doktori, dotsent

Nuraliyev Farhod Abdug'aniyevich
fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2023-yil «26» may da soat 14:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43; e-mail: iktuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (2/274 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2023-yil «11» may kuni tarqatildi.
(2023-yil «20» aprel dagi 13 raqamli reyestr bayonnomasi).



M.M. Musayev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor

N.O. Raximov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari doktori, dotsent

Sh.A. Anarova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda hozirgi vaqtda axborot texnologiyalari rivojlanishining afzalliklaridan biri fraktal tuzilishli obyektlarning o'rganilishi deb hisoblash mumkin, ularni tadqiqi so'nggi yillarda rivojlanib, ommalashib bormoqda. Fraktal geometriyaning me'morchilikda qo'llanilishi muhandislik sohasidagi tadqiqotning mutlaqo yangi sohasi hisoblanadi. Tabiatdagi fraktallar shunchalik murakkab va tartibsizki, ularni klassik geometriya shakllari yordamida modellashtirish imkonsiz. Fraktallar nazariyasini tadqiq qilishda matematik jihatlarini tahlil qilish, shuningdek, tabiiy jarayonlar va hodisalarni fraktallar nazariyasi g'oyalaridan foydalanib tavsiflash usullariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ayniqsa fraktallarning tenglamalarini qurishda, kompyuter grafikasi usullari va tizimlaridan keng foydalanilmoqda. Shuning bilan birga murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni geometrik modellari va algoritmlarini, hamda ularni vizuallashtirish usullarini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur sohada rivojlangan xorijiy mamlakatlarda, shu jumladan, AQSH, Germaniya, Fransiya, Italiya, Xitoy, Rossiya Federatsiyasi, Yaponiya, Eron, Iroq, Turkiya, BAA, Qozog'iston va boshqa davlatlarda fraktal geometrik shakllardan shaharsozlik, yengil sanoat dizaynida foydalanish texnologiyalarni rivojlantirishning nazariy hamda amaliy masalalarini yechishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Dunyoda jadal o'zgarib borayotgan me'morchilikning zamonaviy nazariyasi boshqa fan sohalarni ham o'ziga jalb qilmoqda. Kompyuter texnologiyalaridan foydalanish, nochiziqli dinamika konsepsiyasi, matematikaning yangi tendensiyalari arxitekturani shakllantirishda yangi imkoniyatlarni ochib beradi va shu bilan birga me'morchilikni tahlil qilish vositalarini kengaytiradi. Dizayn amaliyoti va arxitektura nazariyasida fraktal geometriya yordamida yondashuv katta evristik salohiyatga ega, biroq u bir qator hal etilmagan muammolarga ham ega. Xususan, yangi ilmiy bilimlarni arxitektura faniga moslashtirish muammosi mavjud. Fraktal geometriya nazariyasiga asoslangan usul dunyoning ko'plab mamlakatlarida turli tadqiqotchilar orasida katta qiziqish uyg'otmoqda. Hozirgi kunda bu yo'nalishda ilk qadamlar qo'yilgan, shuning uchun o'tgan davrlar me'morchiligini o'rganish, fraktal yondashuvlarni ishlab chiqish va takomillashtirish me'morchilik nazariyasining dolzarb vazifasi hisoblanadi. Murakkab me'morchilik obyektlarini loyihalashda fraktal geometriya usullaridan faol foydalanadi.

Respublikamizda qurilish me'morchilik tarmog'ini yanada takomillashtirish, arxitektura hamda qurilish tashkilotlari va muassasalarini izchil rivojlantirish mexanizmlarini shakllantirish, davlat boshqaruvi tizimining samaradorligini ta'minlash, sohaga raqamli texnologiyalarni ilg'or joriy etish maqsadida kompleks chora tadbirlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 27 noyabrdagi «O'zbekiston Respublikasi qurilish tarmog'ini modernizatsiya qilish, jadal va innovatsion rivojlantirishning 2021-2025 yillarga mo'ljallangan strategiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi PF-6119-son farmonida, jumladan «shaharsozlik faoliyatini raqamlashtirish, tarmoqqa zamonaviy axborot-

kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish»¹ ustivor vazifalardan biri sifatida belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, qurilish me'morchilik sohasida amalga oshirilayotgan islohotlar samaradorligini oshirish uchun zamonaviy axborot texnologiyalari asosida qurilish me'morchilik obyektlarida zamonaviy loyihalarining geometrik modeli va dasturiy vositasini ishlab chiqish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi 2022 yil 28 yanvardagi PF–60-son Farmoni, 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-son «Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2020 yil 7 maydagi PQ-4708-son «Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur tadqiqot ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustivor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. «Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish» ustivor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni modellashtirish muammolariga qator monografiyalar va jurnallarning maqolalari bag'ishlangan. B.B.Mandelbrot, M.Barnsley, C.Bovill, W.Lorenz, Wen Wang, James Harres, I.M.Rian, M.Sasson, Myung-Sik Lee, Yumei Dang, K.Falconer, S.Asayama, O'zgur Ediz, Gulen Chag'dar, S.S.Mirmorad, M.M.Taha, V.F.Kravchenko, V.K. Balxanov, A.Morozov, V.Volchuk va boshqalar fraktal geometriyaning sohasini kengaytirish uchun faol tarzda tadqiqotlar olib bormoqdalar, jumladan ular murakkab matematik va geometrik funksiyalar algoritmlaridan foydalangan holda, yangi me'moriy obyektlarni zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida amaliy loyihalashda qo'llamoqdalar.

Respublikamizda fraktallar nazariyasini rivojlantirish bo'yicha B.A.Bondarenko, Sh.A.Nazirov, Sh.A.Anarova, F.M.Nuraliyev, B.Xo'jayorov, X.N.Zaynidinov, Sh.A.Sadullayeva va boshqalarning ilmiy ishlari diqqatga sazovor.

Mazkur sohadagi tadqiqotlarning o'rganilganligi shuni ko'rsatadiki, faktal geometriyaga asoslangan me'moriy loyihaning kompyuter modelini raqamli modellashtirish texnologiyalari konseptual me'moriy loyiha orqali me'morlarga yordam berishda muhim rol o'ynaydi. Kompyuter tomonidan qo'llab-quvvatlanadigan modellashtirish tizimlari dastlabki loyihalash bosqichida turli xil obyektlarni ishlab chiqish va muqobil me'moriy shakllarni izlashga hissa qo'shishi mumkin. Biroq, murakkab fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishda, xususan R-funksiyalar usuli, L-tizimlar va iteratsion funksiyalar tizimi (IFS) usullarini qurilish me'morchilik obyektlari uchun qo'llab, geometrik

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 27 noyabrdagi «O'zbekiston Respublikasi qurilish tarmog'ini modernizatsiya qilish, jadal va innovatsion rivojlantirishning 2021 — 2025 yillarga mo'ljallangan strategiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi PF–6119-son Farmoni

almashtirishlar yordamida murakkab fraktal tuzilishga ega 2D va 3D shakllarni geometrik modellashtirish yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy – tadqiqot ishlar rejasining №Ф3-2019081212 «O'zbek milliy naqshlarida murakkab fraktal tuzilishlarni bayon etishni geometrik modellashtirish texnologiyasini ishlab chiqarish» (2020-2021) mavzusidagi loyiha ishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi qurilish-me'morchilikdagi murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D obyektlarni geometrik model va algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D geometrik obyektlarni vizuallashtirish usullari va ularni qurilish-me'morchilikda qo'llanishi bo'yicha qiyosiy tahlilni amalga oshirish;

IFS hamda geometrik almashtirishlar usullari asosida qurilish-me'morchilik obyektlaridagi fraktal tuzilishli fermalar konstruksiyalarini qurishning geometrik modellari va algoritmini ishlab chiqish;

analitik konstruksiyaviy R-funksiya usulini qo'llagan holda uch o'lchovli murakkab obyektlarni geometrik modellarini ishlab chiqish;

R-funksiya hamda L-tizimlar usullari asosida qurilish-me'morchilikka oid murakkab fraktal tuzilishli 3D obyektlarni vizuallashtirishning gibrid usuli va algoritmini ishlab chiqish;

qurilish-me'morchilikda uchraydigan murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D obyektlarni IFS, R-funksiya hamda L-tizimlari usullari asosida vizuallashtirishni avtomatlashtiruvchi dasturiy vositaning funksional-sxematik tuzilishini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida qurilish-me'morchilik loyihalaridagi ikki va uch o'lchovli murakkab fraktal tuzilishli obyektlar qaralgan.

Tadqiqotning predmeti qurilish-me'morchilik obyektlarini tadqiq etish uchun geometrik modellar, rekursiv algoritmlar, R-funksiya, L-tizimlar, iteratsion funksiyalar tizimi usullari va kompyuterlarda tajribalar o'tkazish uchun dasturiy vositadan iborat.

Tadqiqotning usullari. Fraktallar nazariyasi, R-funksiya usuli, iteratsion funksiyalar tizimi, L-tizimlar usullari, kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari, algoritmlash nazariyasi, dasturlash texnologiyasi, erishilgan natijalarni tahlil qilish va hisoblash mashinalarida ma'lumotlarni qayta ishlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

IFS hamda geometrik almashtirishlar usullari asosida qurilish-me'morchilik obyektlaridagi fraktal tuzilishli fermalar konstruksiyalarini qurishning geometrik modellari va algoritmi ishlab chiqilgan;

R-funksiya usulini qo'llagan holda murakkab tuzilishli uch o'lchovli obyektlarni geometrik modeli va algoritmi ishlab chiqilgan;

R-funksiya hamda L-tizimlar usullari asosida qurilish-me'morchilikka oid murakkab fraktal tuzilishli 3D obyektlarni vizuallashtirishning gibrud usuli va algoritmi ishlab chiqilgan;

qurilish-me'morchilikda uchraydigan murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D obyektlarni IFS, R-funksiya hamda L-tizimlari usullari asosida vizuallashtirishni avtomatlashtiruvchi dasturiy vositaning funksional-sxematik tuzilishi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

konstruksiyaviy R-funksiya hamda L-tizimlari usullari yordamida murakkab fraktal tuzilishli obyektlarning geometrik modellari ishlab chiqilgan;

iteratsion funksiyalar tizimi hamda kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari asosida murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni vizuallashtirish uchun algoritmlar ishlab chiqilgan;

qurilish-me'morchilikda uchraydigan murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D obyektlarni geometrik modellarini vizuallashtirish uchun dasturiy vosita ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni ishlab chiqishda iteratsion funksiyalar tizimi, R-funksiya usuli, L-tizimlar usuli, analitik geometriya va kompyuter grafikasi qoidalariga mosligi, taklif etilgan algoritmlarni ishlab chiqishda murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni analitik usullarda geometrik modellashtirishning matematik apparatining to'g'ri qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati murakkab fraktal tuzilishli shakllarni analitik-konstruktiv usullar hamda kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari asosida geometrik modellashtirishning nazariy asoslarining istiqbolli rivojlanishiga iteratsion funksiyalar tizimi, R-funksiya va L-tizimlar usullarining takomillashtirilganligi va algoritmlari ishlab chiqilgani bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati murakkab fraktallarning tuzilishiga bog'liq masalalarni hal etish jarayonlarini avtomatlashtirish imkonini beruvchi dasturiy vositalarni 2D va 3D fraktallarni vizuallashtirish va ishlab chiqarishning me'morchilik obyektlarini loyihalash sohalariga joriy qilishga qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya doirasida murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni iteratsion funksiyalar tizimi, R-funksiya va L-tizimlar usullar integratsiyasi orqali ishlab chiqilgan gibrud usul yordamida geometrik modellashtirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy vosita asosida:

Iteratsion funksiyalar tizimi, kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari, murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni geometrik modellashtirish algoritmlari asosida ishlab chiqilgan dasturiy vosita «IBRAGIMOV DESIGN STUDIO» MCHJga joriy qilingan (Axborot texnologiyalari va kommunikasiyalarini rivojlantirish vazirligining 2022 yil 14 noyabrdagi 33-8/7615-son ma'lumotnomasi). Natijada qurilish-me'morchilik ishlari jarayonlari uchun murakkab fraktal tuzilishdagi obyektlarni loyihalashni

avtomatlashtirish va ishlab chiqarishni 8%–11%ga oshirish hamda qo‘l mehnatining kamayishi hisobiga xarajatlarni 5-9%ga kamaytirish imkonini bergan.

Kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari hamda fraktal tuzilishli obyektlarni geometrik modellashtirish usullari va algoritmlari asosida yaratilgan dasturiy vosita «NURLAN-PROJECT» XKga joriy qilingan (Axborot texnologiyalari va kommunikasiyalarini rivojlantirish vazirligining 2022 yil 14 noyabrdagi 33-8/7615-son ma’lumotnomasi). Natijada mahsulotning sifatini va xaridor talabidagi naqsh shaklining rangini keng qamrovda o‘zgartirish orqali mahsulotga bozor talabini 1.1-1.2 martaga oshirish imkonini bergan.

Analitik konstruksiyaviy R-funksiya usuli hamda L-tizimlari usulini integratsiyalashtirgan holda fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishning modifikasion algoritmlar majmui bazasiga ega bo‘lgan dasturiy vosita «ART DECO DESIGN» MCHJda joriy qilingan (Axborot texnologiyalari va kommunikasiyalarini rivojlantirish vazirligining 2022 yil 14 noyabrdagi 33-8/7615-son ma’lumotnomasi). Natijada bino va inshootlarning jihozlanishi hamda loyihalashda foydalaniladigan murakkab fraktal tuzilishlarini yaratish uchun ketadigan vaqtni o‘rtacha 10% ga qisqartirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 3 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo‘yicha jami 27 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, shulardan 2 ta xorijiy jurnallarda va 5 ta respublika jurnallarda chop etilgan hamda 4 ta EHM uchun ishlab chiqilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyasining tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 118 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan hamda tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslab berilgan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amalda joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

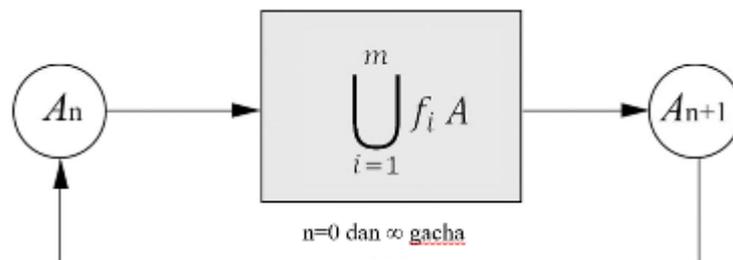
Dissertatsiyaning «**Fraktallarni qurish usullari va me’morchilikda qo‘llash holatining tahlili**» nomli birinchi bobida, fraktal geometriyaning asosiy tushunchalari, fraktal shakllarni qurish usullarining hozirgi holati hamda ularni qo‘llanilish sohasini o‘rganishga bag‘ishlangan bo‘lib, fraktal tushunchasining paydo bo‘lish tarixi, fraktallarning ta’riflari, fraktallarning o‘ziga xos xususiyatlari va fraktallarga doir bo‘lgan umumiy tushunchalar izohlangan va tahlil qilingan, shuningdek, muammoning dolzarbligi aniqlangan. Qurilish me’morchilikda

murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni qurish usullari bo'yicha xorijiy davlatlar va respublikamizda olib borilayotgan ilmiy va amaliy tadqiqot ishlari atroflicha tahlil qilingan, hamda fraktallar nazariyasining asosiy tushunchalari, fraktallarni qurish usullarining hozirgi holati, ularning me'morchilikda qo'llash amaliyoti o'rganilgan, fraktallarning o'ziga xos xususiyatlari hamda fraktallarga doir bo'lgan umumiy tushunchalar bayon etilgan va tadqiqot ishi masalasining qo'yilishi keltirilgan. Fraktallarning turlari va sinflarga bo'linishlariga asosan fraktallarni qurish usullari tasniflangan. Fraktallarning fan va texnika sohalarida jumladan, matematikada, fizikada, kompyuter grafikasida, yengil sanoatda, elektronikada, astrofizikada, biologiyada, materialshunoslikda, tibbiyotda qo'llanilishi o'rganilgan, fraktal shakllarni qurish me'morchilikda qo'llash bo'yicha aniq yechimlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**IFS usuli asosida fraktal tuzilishli ferma konstruksiyalarini geometrik modellarishtirish**» deb nomlangan ikkinchi bobida yangi geometrik tizimlarni joriy etish maqsadida fraktal geometriya tushunchalarini qurilish sohasidagi strukturaviy fermalarni loyihalashda qo'llash taklif qilingan. IFS usuli qoidalarga asoslangan holda ferma tuzilmalarini geometrik modellari ishlab chiqilgan.

Matematikaning qismi hisoblangan geometrik shakllar va ularning asosiy tushunchalaridan foydalangan holda yangi ko'rinishidagi fraktallarni qurish uchun geometrik modellar va rekursiv algoritmlar ishlab chiqilgan.

IFS o'ziga o'xshash fraktallarni ishlab chiqish uchun 1-rasmda ko'rsatilgandek, Hutchinson operatori yordamida rekursiv ishlaydi:



1-rasm. IFS ning Hutchinson operatori funksiyasidan foydalangan holda ko'rsatilgan sxematik diagramma

Cheklangan n sonli takrorlanishlar quyidagi natija (1) ga olib keldi:

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

Shuning uchun, IFS xususiyatlariga asoslanib, f_i affin almashtirishlarining ahamiyati seziladi, ular aslida 'A' attraktorini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi.

Affin shartli almashtirishlar: affin shartli almashtirishlari f - bu ko'chirish, aylantirish, masshtablash va akslantirishning kombinatsiyasi bo'lgan chiziqli almashtirishdir. Affin shartli almashinishlarining tekislikdagi (2) tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$f = T(x) + b, \quad (2)$$

bu yerda 'T' - chiziqli transformasiya ('n × n' matrisa bilan ifodalanadi) va 'b'-vektor. XY Yevklid tekisligida ikki o'lchovli affin almashtirishining standart matrisa shakli quyidagicha ifodalanadi:

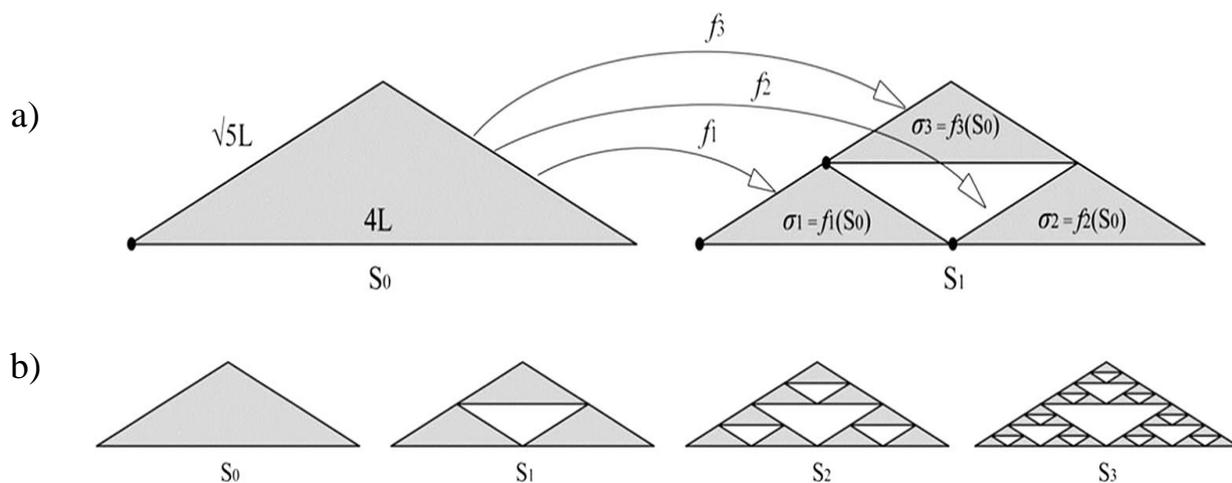
$$f = [W]\{x\} + \{\delta\} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Agar konvertasiya masshtablash, akslantirish, aylanish va siljishdan iborat bo'lsa, (3) - formulani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$f = \lambda [\mu][r]\{x\} + \{\delta\} = \lambda \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}$$

Bu yerda λ -affin almashtirishlarining masshtablash koeffitsiyenti, $\mu_1 = -1$ va $\mu_2 = 1$, y o'qi bo'ylab, $\mu_1 = 1$ va $\mu_2 = -1$, x o'qi bo'ylab akslantirishlar, θ -burilish burchagi, δ_x va δ_y – mos ravishda x o'qi va y o'qi bo'ylab siljish.

Geometrik fraktal shakllarni qurish: dastlabki geometrik shakl sifatida S_0 dan foydalanish va cheksiz miqdordagi iteratsiyadan so'ng, bunda har bir iteratsiya uchun, $i = 1, 2, \dots, m$ cheksiz miqdordagi shartli affin almashitirish f_i funksiyalari qo'llaniladi. Cheksiz miqdordagi o'ziga o'xshash kichik shakllar $S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$ har biri asl shaklning qisqartirilgan nusxalaridan iborat (2-rasm).



2-rasm. a) Serpin uchburchagini masshtablash va affin almashinishi asosida qurish, b) Serpin uchburchagini qurishning konversiya ketma-ketligi

Hausdorff o'lchovi – o'ziga o'xshash fraktallarning fraktal o'lchovlarini baholash uchun eng mashhur bo'lgan matematik o'lchov. Barnsleyning masshtablash nazariyasiga asoslanib fraktalning Hausdorff o'lchovi usuli (4) siqilish omillariga bog'liq:

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i^D = 1 \quad (4)$$

bu yerda λ_i - affin almashtirishlarining masshtablash koeffitsiyenti, k esa affin almashtirishlar soni. Agar $0 < \lambda < 1$ bo'lsa, u holda (4) tenglama yordamida quyidagi ifodani olamiz:

$$\lambda^D + \lambda^D + \lambda^D + \dots + \lambda^D = 1; \quad k > 1.$$

U holda $k \cdot \lambda^D = 1 \Rightarrow \lambda^D = 1/k.$

Shunday qilib,

$$D = \frac{\log(1/k)}{\log(\lambda)}. \quad (5)$$

Serpin uchburchagini (2-rasmga qarang) qurishning bu usulida IFS ning masshtablash koeffitsiyenti λ_i ning qiymati $1/2$ bo'lganda affin almashtirish f_i funksiyasi 1-rasmda ko'rsatilganidek ishlaydi. Shunday qilib, ' S_1 ' yangi shakli hosil bo'ladi, bu ' σ_1 ', ' σ_2 ' va ' σ_3 ' ning birlashmasi bo'lib, matematik tarzda quyidagicha ifodalanadi:

$$S_1 = \sigma_1 \cup \sigma_2 \cup \sigma_3 = f_1(S_0) \cup f_2(S_0) \cup f_3(S_0),$$

n -takrorlashda

$$S_n = f_1(S_{n-1}) \cup f_2(S_{n-1}) \cup f_3(S_{n-1}).$$

Demak,

$$S_0 \supset S_1 \supset S_2 \supset S_3 \supset \dots \supset S_{n-1} \supset S_n \supset \dots,$$

Shunday qilib, ' S ' attraktor:

$$S = \bigcap_{i=1}^{\infty} S_i. \quad (6)$$

bu fraktal Serpin uchburchagining matematik ifodasi (6) hisoblanadi.

Serpin uchburchagini qurishda, quyidagi 2-rasmda ko'rsatilgan uchburchakning $k=3$ bo'lgan holdagi (f_1 , f_2 va f_3) affin almashtirishidan iborat quyidagi IFS funksiyasi qo'llaniladi.

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}; \quad i = 1 \text{ dan } 3 \text{ gacha}$$

(5) tenglamaga asoslanib, agar Serpin uchburchagining Hausdorff o'lchovi D bo'lsa, u holda $\lambda_1^D + \lambda_2^D + \lambda_3^D = 1$, bu yerda. $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{2}$

Shuning uchun quyidagi $\left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D = 3 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^D = 1$ ifoda orqali

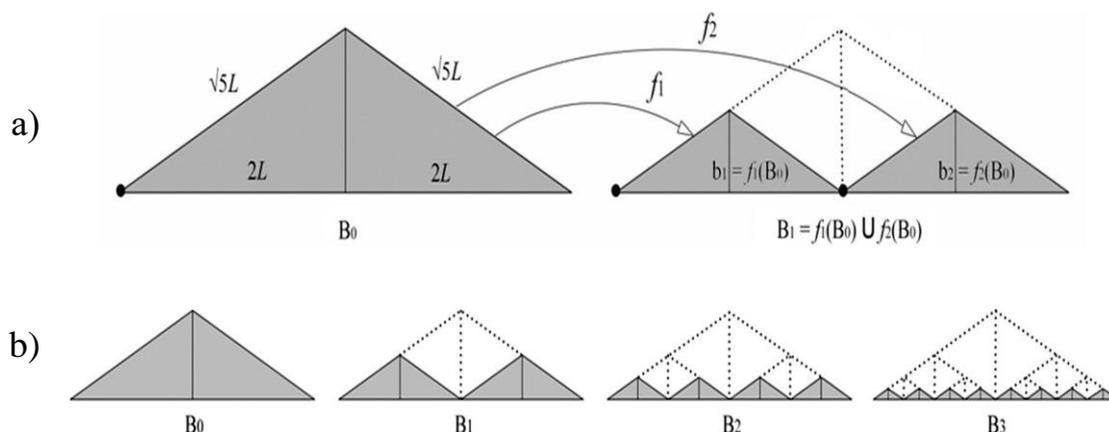
Hausdorff fraktal o'lchovi D topiladi:

$$D = \frac{\log(1/3)}{\log(1/2)} \approx 1.585.$$

Serpin uchburchagini qurishda funktsiya parametrlari qiymati

IFS funksiyalar	Masshtablash	Akslantirish		Aylantirish	Almashtirish	
		μ_1	μ_2		δ_x	δ_y
f	λ	μ_1	μ_2	θ	δ_x	δ_y
f_1	1/2	1	1	0°	0	0
f_2	1/2	1	1	0°	2L	0
f_3	1/2	1	1	0°	L	L/2

Baltimor fraktali. Oldingi fraktallar tenglamasini qurishda ishlatilgan usulga asoslangan Baltimor fraktali f_1 va f_2 affin almashtirishlari yordamida har bir yangi iteratsiyada oldingi shunga o'xshash shaklning ikkita qisqartmasini birlashtirib quriladi (3-rasm). Boshqa fraktallardan farqli o'laroq, Baltimor fraktalining asl ' B_0 ' shakli uchburchak bo'lib, uning yuqori qismini asosiy chiziqning o'rtasiga bog'laydigan qo'shimcha vertikal chiziq mavjud (3-rasm).



3-rasm. Baltimor fraktalini qurish: a) masshtablash va affin almashtirilishi, b) birlashma ketma-ketligi

Baltimor fraktalining ' B ' attraktori shakli va unga mos keladigan affin almashtirishlari quyidagicha (7) ifodalanishi mumkin:

$$B = \bigcap_{i=1}^{\infty} B_i. \quad (7)$$

bu yerda $B_1 = b_1 \cup b_2 = f_1(B_0) \cup f_2(B_0)$ shuningdek $B_n = f_1(B_{n-1}) \cup f_2(B_{n-1})$, u holda $B_0 \supset B_1 \supset B_2 \supset B_3 \supset \dots \supset B_{n-1} \supset B_n \supset \dots$ affin almashtirishi,

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}; \quad i = 1 \text{ dan } 2 \text{ gacha}$$

Agar Baltimor fraktal shaklidagi $\left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D = 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^D = 1$ bo'lsa, u holda

Hausdorff fraktal o'lchovi: $D=1$

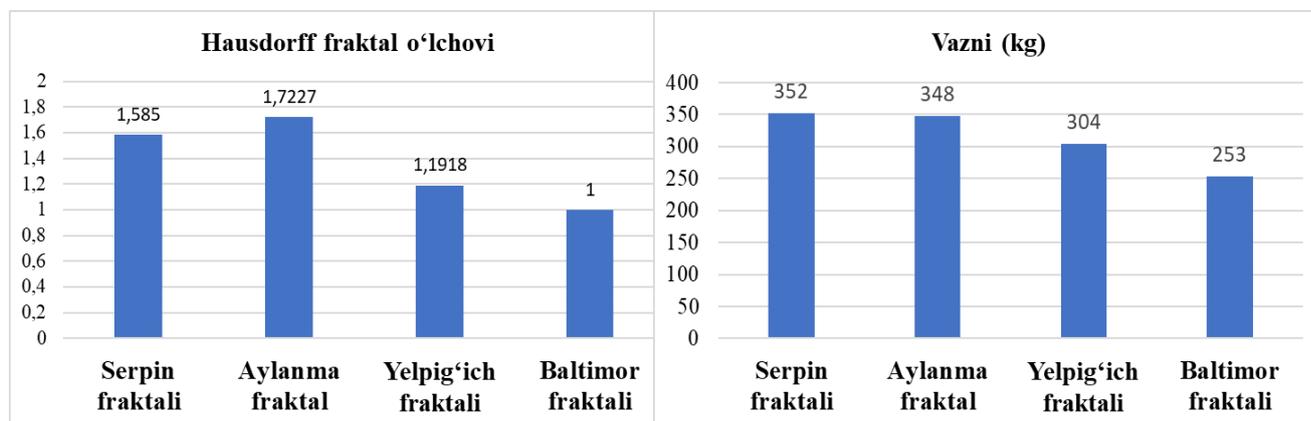
Ya'ni cheksiz takrorlashda Baltimor fraktal (nuqta chiziqsiz) bir o'lchovli chiziqqa aylanadi.

2-jadval.

Baltimor fraktalini qurishda funksiya parametrlari qiymati

IFS funksiyalar	Masshtablash	Akslantirish		Aylantirish	Almashtirish	
		μ_1	μ_2		δ_x	δ_y
f	λ	μ_1	μ_2	θ	δ_x	δ_y
f_1	1/2	1	1	0°	0	0
f_2	1/2	1	1	0°	2L	0

Yuqoridagi loyiha mulohazalari asosida barcha ferma konstruksiyalarining umumiy vazni hisoblab chiqilgan va taqqoslash 4-rasm, o'ngda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, Hausdorff fraktal o'lchovi va fermalarning vazn farqi o'rtasida o'xshashlik mavjud. Bu tushunarli, chunki panjara qanchalik zich bo'lsa, ferma shunchalik og'irroq bo'ladi. Shu ma'noda, fraktal o'lchovlari ferma vaznining vizual o'lchovi sifatida talqin qilinishi mumkin.



4-rasm. Fermalarning Hausdorff fraktal o'lchovi (chapda) va umumiy massasini (o'ngda) qiyoslash

Dissertatsiyaning «Me'morchilik obyektlarida murakkab fraktal shakllarni geometrik modellashtirish usullarini takomillashtirish» deb nomlangan uchinchi bobida R-funksiya va L-tizimlar usullarini qo'llagan holda murakkab tuzilishli obyektlarning geometrik modellari ishlab chiqilgan. R-funksiya hamda L-tizimlar yordamida qurilish-me'morchilikka oid murakkab fraktal tuzilishli 3D obyektlarni vizuallashtirishning gibrud usuli va algoritmi ishlab chiqilgan. Shuningdek, geometrik almashtirishlarni qo'llagan holda fraktal ko'rinishdagi Menger gubkasi asosida binolarning fasad ko'rinishini vizuallashtirish uchun geometrik modellar va rekursiv algoritmlar ishlab chiqilgan.

Sharni quyidagi tayanch funksiya orqali ifodalaymiz:

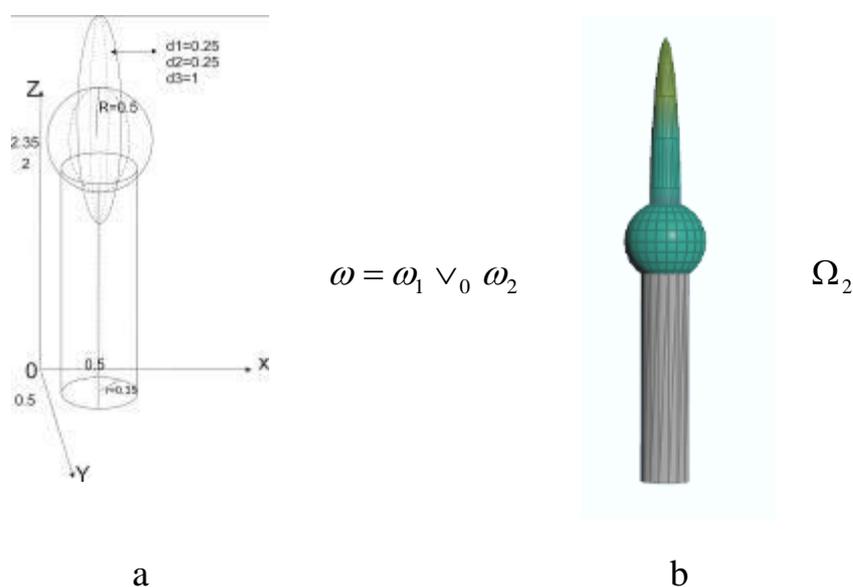
$$f_4 = \left(R^2 - \left(x - \frac{a_1}{2} \right)^2 - \left(y - \frac{b_1}{2} \right)^2 - (z - c_1)^2 \right) \geq 0, \quad R = 0.5;$$

$$\omega_2 \equiv f_4 \geq 0.$$

Ω_1 murakkab geometrik obyekt (6(b)-rasm) quyidagi (9) mantiqiy formula yordamida hosil qilinadi:

$$\Omega_1 = (\omega \equiv \omega_1 \vee_0 \omega_2 \geq 0). \quad (9)$$

Uchinchi bosqichda silindr, shar va ellipsoidning fa'zoda joylashish holati (7(a)-rasm)ga qarab tayanch funksiyalar topiladi:



7-rasm. Shakllarning fa'zoda joylashish holati: a) Dekart koordinatalar tekisligida, b) Ω_2 murakkab geometrik obyekt

Ω_2 murakkab geometrik obyekt (7(b)-rasm) quyidagi (10) mantiqiy formula yordamida hosil qilinadi

$$\Omega_2 = (\omega_5 = \omega_3 \vee_0 \omega_4 \geq 0). \quad (10)$$

bu yerda,

$$f_5 = \left(r^2 - (x - a_2)^2 - (y - b_2)^2 \right) \geq 0, \quad r = 0,35; a_2 = 0,5; b_2 = 0,5; c_2 = 2,35.$$

$$\omega_3 = f_3 \wedge_0 f_5,$$

$$f_6 = \left(R^2 - (x - a_2)^2 - (y - b_2)^2 - (z - c_2)^2 \right) \geq 0,$$

$$f_7 = \left(1 - \frac{(x - a_2)^2}{d_1^2} - \frac{(y - b_2)^2}{d_2^2} - \frac{(z - c_2)^2}{d_3^2} \right) \geq 0, \quad d_1 = 0,25; d_2 = 0,25; d_3 = 1.$$

$$\omega_4 = f_6 \vee_0 f_7 \geq 0.$$

Keyingi qadamda hosil qilingan murakkab geometrik shakllardan L-tizimning geometrik elementlari sifatida foydalaniladi, ya'ni $\Omega_1 = J$, $\Omega_2 = K$ deb qabul qilinadi. Ushbu J va K elementlar ishtirokida quyidagi aksioma va qoida ishlab chiqildi.

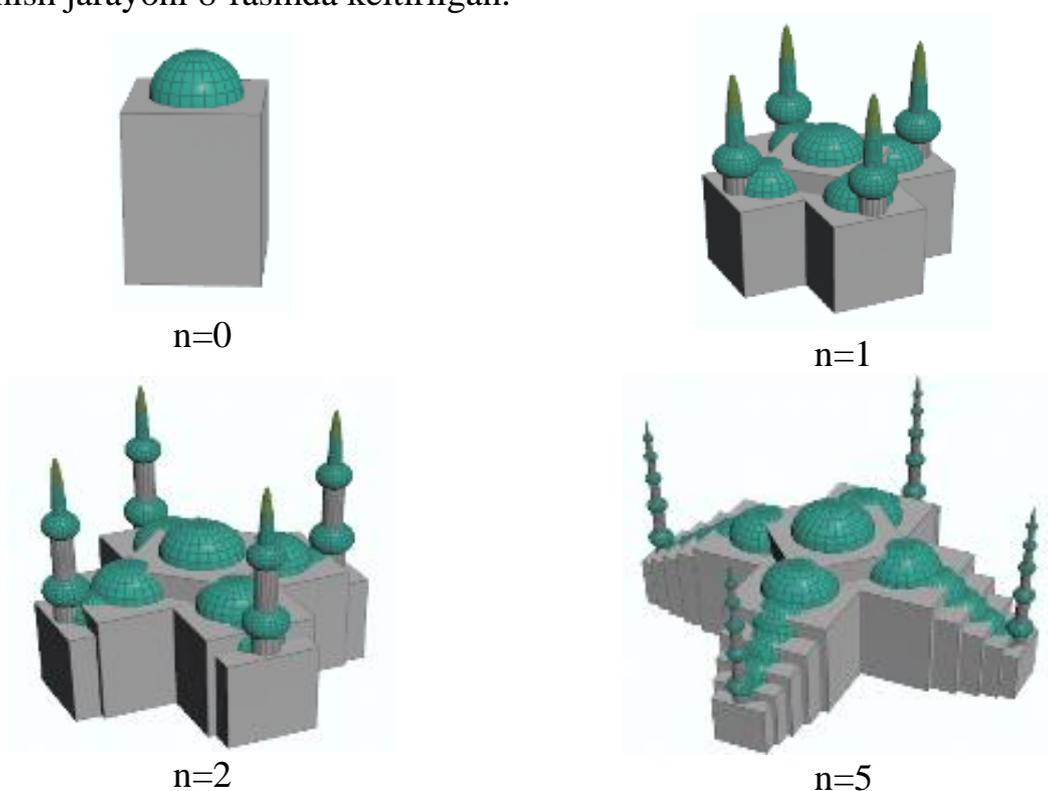
Aksioma: $F J K / + - [] A B h " !$

1. Qoida: $A=J/(45)[+hh-B]/(90)[+hh-B]/(90)[+hh-B]/(90)[+hh-B]$

2. Qoida: $B="J+h-"AFF! " (0.7)K$

n – takrorlanishlar soni.

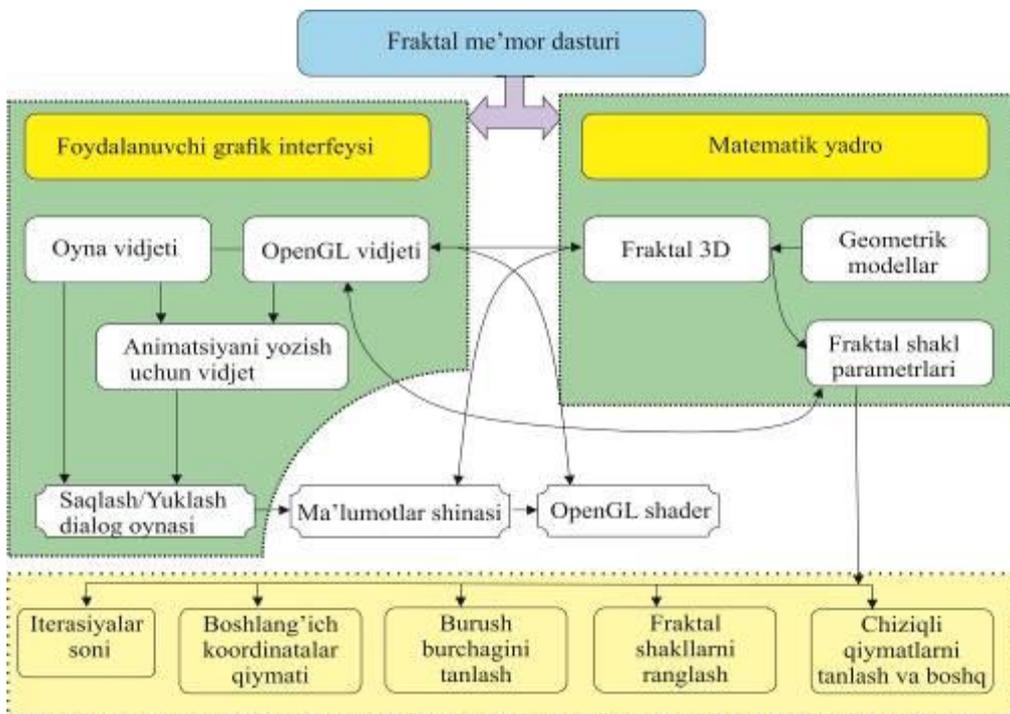
R-funksiya va L-tizimlari usullari kombinatsiyasi yordamida geometrik modellashtirilgan gumbazli bino loyihasining har bir takrorlanishdan so'ng shakllanish jarayoni 8-rasmda keltirilgan.



8-rasm. R-funksiya va L-tizimlar usullari kombinatsiyasi yordamida geometrik modellashtirilgan gumbazli bino loyihasi

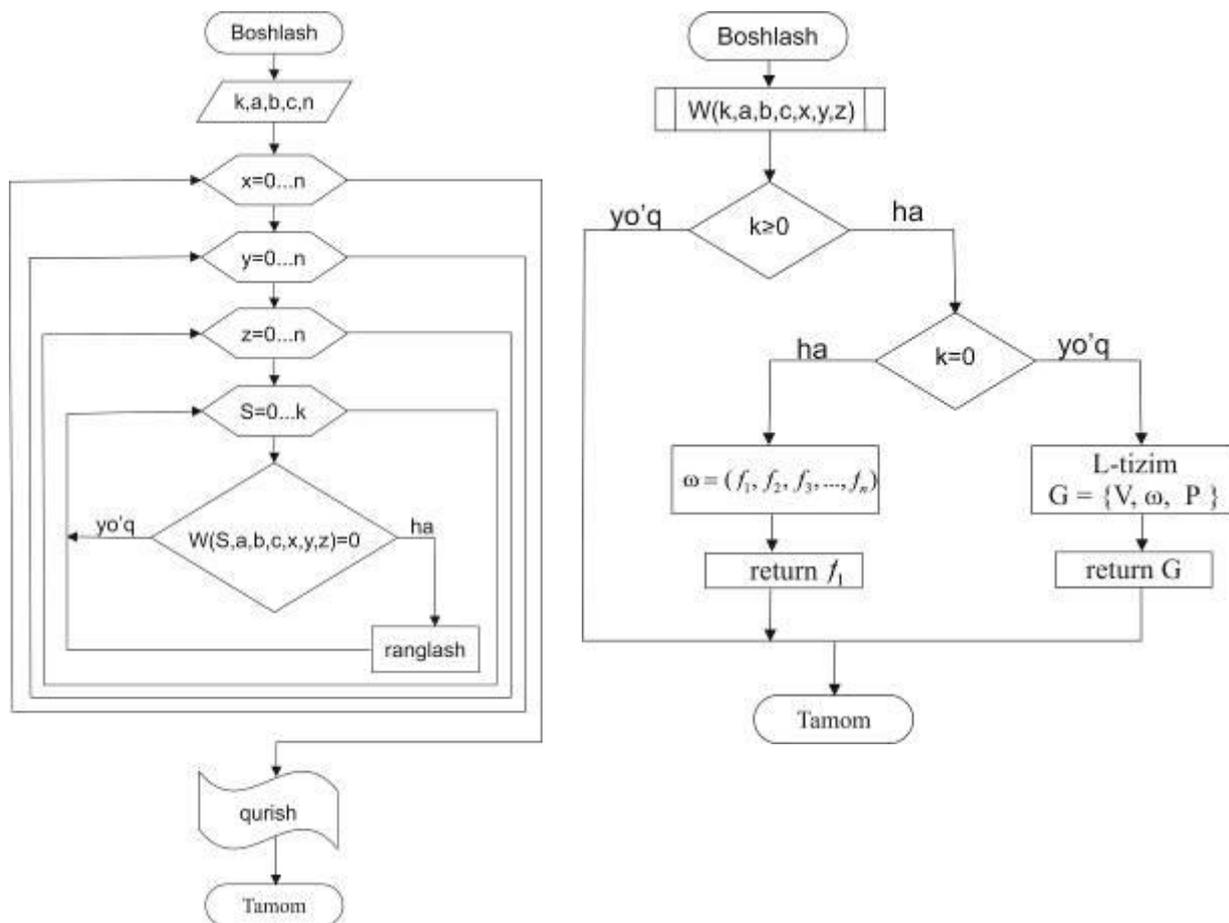
Dissertatsiyaning «Murakkab fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishning dasturiy vositasi» nomli to'rtinchi bobida yuqoridagi boblarda taklif etilgan va ishlab chiqilgan mavjud algoritmlar asosida dasturiy vosita yaratilgan va amaliy masalalarni yechishga qaratilgan, shuningdek, dasturiy vositaning asosiy interfeysi va funksional imkoniyatlari hamda murakkab ko'rinishdagi fraktal shakllarni vizuallashtirish algoritmlari keltirilgan.

R-funksiyalar, L-tizimlar va IFS usullariga asosan fraktal tuzilishli shakllarni ishlab chiquvchi dasturiy vositaning umumiy tuzilishi 9-rasmda keltirilgan.



9-rasm. Dasturiy vositaning umumiy tuzilishi

R-funksiya va L-tizim usullari kombinatsiyasidan foydalangan holda murakkab fraktallarni vizuallashtirish algoritmi quyidagicha amalga oshiriladi (10-rasm).



10-rasm. R-funksiya va L-tizim usullari kombinatsiyasidan foydalangan holda murakkab fraktallarni vizuallashtirish algoritmlarining blok sxemasi

11-rasmda murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni analitik usullar yordamida vizuallashtiruvchi dasturiy vositaning interfeysi keltirilgan.



11-rasm. Dasturiy vositaning asosiy oynasi

Murakkab ko‘rinishdagi fraktal obyektlarni vizuallashtirishda Qt6, C++ va OpenGL dasturiy tillaridan foydalanildi. Yaratilgan «Fraktal me‘mor» dasturiy vositasi murakkab fraktallarni ishlab chiqish uchun tez vizualizatsiya qilish imkonini beradi. Ushbu dasturning ustunlik tarafi shundaki dastur faqatgina ikki o‘lchovli fraktal shakllarni qurish bilan cheklanmasdan, qurilish me‘morchilik obyektlarining uch o‘lchovli murakkab fraktal shakllarini ham vizualizatsiya qilish hamda geometrik almashtirishlar orqali ko‘plab yangi shakllarni qurish imkonini beradi.

XULOSA

«Qurilish-me‘morchilik obyektlarining murakkab fraktal tuzilishlarini geometrik modellashtirish» mavzusida olib borilgan dissertatsiya ishining natijalari bo‘yicha quyidagi asosiy xulosalar taqdim etildi:

1. Fraktallar nazariyasining asosiy tushunchalari, fraktallarning kelib chiqishi, uning xususiyatlari, turlari va qo‘llanilish sohalari o‘rganildi va tadqiq qilindi. Natijada qurilish-me‘morchilik obyektlarida konstruksiyalarni ishlab chiqish hamda bino inshootlar tashqi ko‘rinishining murakkab tuzilishlarini loyihalash jarayonlarida qo‘llanilishi va iqtisodiy samara berishi aniqlandi.

2. Fraktallarning qurish usullari, ularni vizuallashtirish algoritmlari, qo‘llanilish jarayoni, fraktal o‘lchov tushunchasi va fraktal tuzilishga ega bo‘lgan obyektlarning fraktal o‘lchovini hisoblash usullari o‘rganildi va tadqiq qilindi. Iteratsion funksiyalar tizimi (IFS) usuli nazariy asoslari hamda afzalliklari tahlil qilindi. Mazkur usul asosida qurilgan fraktal tuzilishli fermalar konstruksiyalarining geometrik modellari hamda hisoblangan fraktal o‘lchov qiymatlari fermalarning mustahkamlik darajasini qiyosiy tahlilini amalga oshirish imkonini berdi.

3. Murakkab fraktal tuzilishli obyektlarni R-funksiya va L-tizimlari usullari kombinatsiyasi yordamida qurilishning geometrik modellari va algoritmi ishlab

chiqildi. Ushbu gibridd usul hamda ishlab chiqilgan algoritm asosida murakkab fraktal tuzilishli spiralsimon va gumbazli me'moriy bino loyihalari vizuallashtirildi. Ishlab chiqilgan algoritm keng turdagi 3D fraktal tuzilishli murakkab geometrik shakllarni qurish uchun xizmat qiladi.

4. Iteratsion funksiyalar tizimi (IFS) usulini qo'llab murakkab fraktal ko'rinishdagi shakllarni vizuallashtirish algoritmi ishlab chiqildi. Mazkur usul va algoritm Menger gubkasi fraktal shakli parametr qiymatlarini o'zgartirish orqali real vaqt rejimida yangi shakllarni vizuallashtirish imkonini berdi.

5. Ishlab chiqilgan geometrik modellar va algoritmlar asosida qurilish-me'morchilikdagi murakkab fraktal tuzilishli 2D va 3D obyektlarni vizuallashtirishni avtomatlashtiruvchi dasturiy vosita ishlab chiqildi. Ushbu dasturiy vositani qo'llash qurilish me'morchilikda ishlatiladigan ferma konstruksiya loyihalarining keng turlarini ishlab chiqish, mustahkamlik darajasini aniqlash, klassik va zamonaviy binolarning tashqi umumiy ko'rinishlarini vizuallashtirish uchun xizmat qiladi.

6. Ishlab chiqilgan geometrik modellar, algoritmlar va dasturiy vositalar «IBRAGIMOV DESIGN STUDIO» MCHJ, «NURLAN-PROJECT» XK va «ART DECO DESIGN» MCHJda joriy qilingan. Natijada qurilish-me'morchilik obyektlarini loyihalashni avtomatlashtirish orqali ishlab chiqarish hajmini 8%–11%ga oshirishga, mahsulot sifati va buyurtmachi talabidagi loyiha turlarini kengaytirish orqali mahsulotga bozor talabini 1.1-1.2 martaga oshirishga, qurilish-me'morchilik inshootlarni loyihalashga ketadigan umumiy vaqtni o'rtacha 10% ga qisqartirish imkonini berdi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

БЕРДИЕВ ГОЛИБ РАШИДОВИЧ

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ
ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР СТРОИТЕЛЬНО-АРХИТЕКТУРНЫХ
ОБЪЕКТОВ**

05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика.
Аудио и видеотехнологии

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

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2022.2.PhD/T2821

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: Садуллаева Шахло Азимбаевна
доктор физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: Хамдамов Уткир Рахматиллаевич
доктор технических наук, доцент

Нуралиев Фарход Абдуганиевич
доктор физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова

Защита диссертации состоится «26» мая 2023 г. в 14:00 часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: iktuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 2/274). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан «11» мая 2023 года.
(протокол рассылки № 13 от «20» апреля 2023 г.).



М.М. Мусаев
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

Н.О. Рахимов
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, доцент

Ш.А. Анарова
Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире одним из преимуществ развития информационных технологий можно считать появление фрактальных объектов, изучение которых развивается и становится популярным в последние годы. Применение фрактальной геометрии в архитектуре — совершенно новая область инженерных исследований. Фракталы в природе настолько сложны и нерегулярны, что их невозможно смоделировать с помощью классической геометрии. При исследовании теории фракталов особое внимание уделяется анализу ее математических аспектов, а также методам описания природных процессов и явлений с использованием идей теории фракталов. Широко используются методы и системы компьютерной графики, особенно при построении фрактальных уравнений. При этом одной из важных задач является разработка геометрических моделей и алгоритмов объектов со сложной фрактальной структурой, а также методов их реализации. В развитых зарубежных странах в этой области, в том числе в США, Германии, Франции, Италии, Китае, Российской Федерации, Японии, Иране, Ираке, Турции, ОАЭ, Казахстане и других странах, использование фрактальных геометрических фигур в градостроительстве и использовании легкого промышленного дизайна является теоретическим и практическим аспектом развития техники. Решению этих вопросов уделяется большое внимание.

В мире современная теория архитектуры, которая стремительно меняется, привлекает и другие научные направления. Использование компьютерных технологий, концепция нелинейной динамики, новые направления в математике открывают новые возможности в формировании архитектуры и в то же время расширяют инструментарий архитектурного анализа. Подход фрактальной геометрии имеет большой эвристический потенциал в практике проектирования и теории архитектуры, но также имеет ряд нерешенных проблем. В частности, возникает проблема адаптации новых научных знаний к науке об архитектуре. Метод, основанный на теории фрактальной геометрии, вызывает большой интерес у различных исследователей во многих странах мира. Приводится начальный этап в проведении направления, в связи с чем изучение архитектуры прошлых периодов, разработка и совершенствование фрактальных подходов является актуальной задачей теории архитектуры. Активно использует методы фрактальной геометрии при проектировании сложных архитектурных объектов.

В нашей Республике реализуются комплексные меры по дальнейшему совершенствованию сети строительной архитектуры, формированию механизмов последовательного развития архитектурно-строительных органов и учреждений, обеспечению эффективности системы государственного управления, внедрению в сферу передовых цифровых технологий.

Указ Президента Республики Узбекистан от 27 ноября 2020 года №УП-6119 Об утверждении Стратегии модернизации, опережающего и инновационного развития строительной сети Республики Узбекистан на 2021-2025 годы в числе приоритетных задач определена «цифровизация градостроительной деятельности, внедрение в сеть современных информационных и коммуникационных технологий»¹. В реализации этих задач одним из важных вопросов является разработка геометрической модели и программного средства современных строительных объектов на основе современных информационных технологий с целью повышения эффективности реформ, реализуемых в области строительной архитектуры.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлениями Президента Республики Узбекистан от 27 апреля 2018 года №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», от 7 мая 2020 года №ПП-4708 «О мерах по повышению качества образования и развитию научных исследований в области математики и другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Настоящее исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий «IV. Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий»

Степень изученности проблемы. Ряд монографий и журнальных статей посвященных проблемам моделирования объектов со сложной фрактальной структурой. Б.Б.Мандельброт, М.Барнсли, К.Бовилл, В.Лоренц, Вен Ван, Джеймс Харрис, И.М.Райан, М.Сассон, Мьюн-Сик Ли, Юмей Данг, К.Фальконер, С.Асаяма, Озгур Эдиз, Гюлен Чагдар, С.С.Мирморад, М.М.Таха, В.Ф.Кравченко, В.К.Балханов, А.Морозов, В.Волчук и другие активно проводили исследования в области фрактальной геометрии с целью расширения ее области применения, используя сложные математические и геометрические функции и алгоритмы, а также создавая новые памятные объекты при помощи современных компьютерных технологий для практической реализации.

В Республике обращает на себя внимание научная деятельность ученых Б.А.Бондаренко, Ш.А.Назирова, Ш.А.Анарова, Ф.М.Нуралиева, Б.Хужаёрова, Х.Н.Зайнидинова, Ш.А.Садуллаева и др. по развитию теории фракталов.

Изучение исследований в этой области показывает, что технологии цифрового моделирования компьютерной модели архитектурного проекта,

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 27 ноября 2020 года № ПП-6119 «Об утверждении Стратегии модернизации, опережающего и инновационного развития строительной сети Республики Узбекистан на 2021-2025 годы»

основанной на фрактальной геометрии, играют важную роль в оказании помощи архитекторам посредством концептуального архитектурного проекта. Однако для строительства архитектурных объектов, при геометрическом моделировании сложных фрактальных структур, в частности, геометрическом моделировании 2D и 3D фигур со сложной фрактальной структурой с помощью геометрических подстановок, с использованием методов R-функций, L-систем и систем итерационных функций (IFS) недостаточно изучено.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми в рамках проекта по темам № ФЗ-2019081212 «Разработка технологии геометрического моделирования описания сложных фрактальных структур узбекских национальных узоров» (2020-2021).

Целью исследования разработка геометрических моделей и алгоритмов 2D и 3D объектов со сложной фрактальной структурой в строительстве и архитектуре.

Задачи исследования:

проведение сравнительного анализа методов визуализации 2D и 3D геометрических объектов со сложной фрактальной структурой и их использования в строительной архитектуре;

разработка геометрических моделей и алгоритма построения конструкций с фрактальными структурами в строительной архитектуре на основе методов IFS и геометрических преобразований;

разработка геометрических моделей трехмерных сложных объектов с использованием аналитического конструктивного метода R-функций;

разработка гибридного метода и алгоритма визуализации 3D-объектов со сложной фрактальной структурой, связанных со строительством и архитектурой, на основе методов R-функций и L-систем;

разработка функционально-схематической структуры программного средства, автоматизирующего визуализацию 2D и 3D объектов со сложной фрактальной структурой, встречающихся в строительстве и архитектуре, на основе методов ИФС, R-функций и L-систем.

Объектом исследования рассматриваются двух- и трехмерные объекты со сложной фрактальной структурой в проектах строительной архитектуры.

Предметом исследования являются геометрические модели, рекурсивные алгоритмы, R-функции, L-системы, методы систем итерационных функций, а также программные средства для проведения экспериментов на ЭВМ по изучению строительных архитектурных объектов.

Методы исследования. Использовались теория фракталов, метод R-функций, система итерационных функций, методы L-систем, геометрические преобразования компьютерной графики, теория алгоритмов,

технология программирования, анализ полученных результатов и методы обработки данных на вычислительных машинах.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны геометрических моделей и алгоритма построения конструкций с фрактальными структурами в строительно-архитектурных объектах на основе методов IFS и геометрических преобразований;

разработаны геометрическая модель и алгоритм трехмерных объектов сложной структуры с помощью метода R-функций;

разработан гибридный метод и алгоритм визуализации 3D-объектов со сложной фрактальной структурой, связанных со строительством и архитектурой, на основе методов R-функций и L-систем;

разработана функционально-схематическая структура программного средства, автоматизирующего визуализацию 2D и 3D объектов со сложной фрактальной структурой, встречающихся в архитектуре зданий методами IFS, R-функции и L-системы.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны геометрические модели объектов со сложной фрактальной структурой с использованием методов конструкционной R-функции и L-систем;

разработаны алгоритмы визуализации объектов сложной фрактальной структуры на основе системы итерационных функций и геометрических преобразований компьютерной графики;

разработан программного средства для визуализации геометрических моделей объектов со сложной фрактальной 2D и 3D структурой.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования применением правил системы итерационных функций, метода R-функций, метода L-систем, аналитической геометрии и компьютерной графики при разработке объектов со сложной фрактальной структурой, правильным использованием математического аппарата геометрического моделирования объектов со сложной фрактальной структурой в аналитических методах при разработке предлагаемых алгоритмов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой методов и алгоритмов системы итерационных функций, R-функции и L-системы для перспективного развития теоретических основ геометрического моделирования на основе аналитико-конструктивных методов и геометрических преобразований компьютерной графики.

Практическая значимость результатов исследования объясняется применением программных комплексов, позволяющих автоматизировать процесс решения задач, связанных со структурой сложных фракталов, в области архитектурного проектирования, создания и производства 2D и 3D фракталов.

Внедрение результатов исследования. На основе алгоритмов, разработанных в результате исследований по геометрическому моделированию объектов со сложной фрактальной структурой с

использованием аналитических методов и программного средства, созданного в рамках диссертации:

программное средство, разработанное на основе системы итерационных функций (IFS) и геометрических преобразований компьютерной графики, алгоритмов геометрического моделирования объектов со сложной фрактальной структурой, внедрено в ООО «IBRAGIMOV DESIGN STUDIO» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 14 ноября 2022 года №33-8/7615). В результате удалось повысить автоматизацию и производство сложных фрактальных конструкций для процессов архитектурного проектирования на 8–11 % и снизить затраты на 5–9 % за счет сокращения ручного труда;

программное средство, разработанное на основе методов и алгоритмов геометрического моделирования объектов фрактальных структур с помощью геометрических преобразований компьютерной графики, внедрено в ЧП «NURLAN-PROJECT» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 14 ноября 2022 года №33-8/7615). В результате удалось увеличить рыночный спрос на товар в 1,1-1,2 раза за счет изменения качества продукта и цвета формы узора по требованию клиента;

программное средство, основанное на наборе алгоритмов модификации геометрического моделирования объектов во фрактальной структуре, интегрирующей аналитический конструктивный метод R-функций (RFM) и метод L-систем, внедрено в ООО «ART DECO DESIGN» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 14 ноября 2022 года №33-8/7615). В результате удалось сократить время, необходимое для создания интерьерных и экстерьерных декоративных форм, используемых при отделке и оформлении зданий и сооружений, в среднем на 10 %.

Апробация результатов исследования.. Результаты этого исследования обсуждались на 3-х международных и 6-ти республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано всего 27 научные работы, в частности, 7 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе в 2 зарубежных журналах и в 5 Республиканских научных журналах. Кроме того, получены авторских свидетельства на 4 программных средства для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации. Определена цель и задачи, объект и предмет исследования. Приводится к соответствию исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан. Изложена научная новизна, практические результаты исследования. Обоснована достоверность полученных результатов. Раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

Первая глава диссертации «**Анализ методов построения фракталов и их применение в архитектуре**» посвящена изучению основных понятий фрактальной геометрии, современных методов построения фрактальных фигур и применения их области, история возникновения понятия фрактала, определения фракталов, основные свойства фракталов, интерпретируются и анализируются общие понятия, связанные с фрактала, а также определяется актуальность проблемы. Подробно проанализированы научно-практические исследования, проводимые в зарубежных странах и нашей республике по методам построения сложных фрактальных структур в строительной архитектуре, а также основные положения теории фракталов, современное состояние методов построения фракталов, изучена применения их практика в архитектуре, разъяснены уникальные свойства фракталов и связанные с фракталами общие понятия и представлена постановка задачи исследования. Также в этой главе полностью описаны свойства геометрических фракталов, понятие фрактальной размерности и методы определения фрактальной размерности. Для построения фрактальных фигур используются основные методы построения фракталов: R-функций, L-системы и система итерационных функций. На основании видов и классификации фракталов классифицируются методы построения фракталов. Представлены применения фракталов в областях науки и техники, включая математику, физику, компьютерную графику, легкую промышленность, электронику, астрофизику, биологию, материаловедение, медицину, и конкретные решения по использованию фрактальных форм в строительной архитектуре.

Во второй главе диссертации под названием «**Геометрическое моделирование фрактальной структуры ферм на основе метода IFS**» предлагается применение концепции фрактальной геометрии при проектировании в фермах в области строительства с целью внедрения новых геометрических систем. На основе правил метода IFS разработаны геометрические модели структуры фермы.

Были разработаны геометрические модели и рекурсивные алгоритмы для построения фракталов в новой форме с использованием геометрических фигур и их основных понятия, которые считаются частью математики.

Для генерации самоподобного фрактала IFS, как показано на рисунке 1, используется оператор Хатчинсона, который работает рекурсивно, используя:

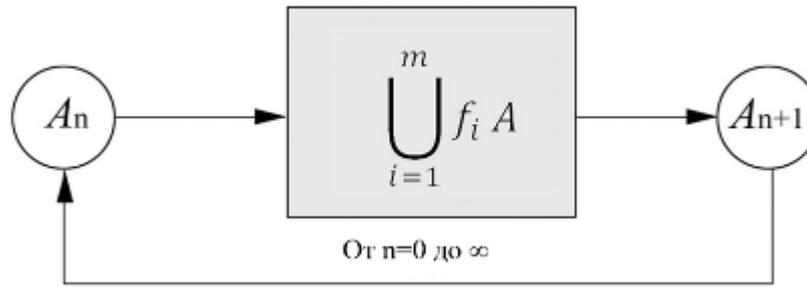


Рис. 1. Диаграмма IFS с использованием операторной функции Хатчинсона

В результате чего, получается (n) ное ограниченное (1) количество повторений:

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

Исходя из свойств IFS чувствуется важность аффинного преобразования f_i , которые собственно и являются основным фактором, определяющий аттрактор 'A'.

Разработка сложных фрактальных структур на плоскости. Аффинные условные перестановки: Аффинные условные перестановки — это линейные перестановки, представляющие собой комбинацию переноса, поворота, масштабирование и отражения. Уравнение (2) аффинных условных обменов на плоскости выражается следующим образом:

$$f = T(x) + b, \quad (2)$$

Где 'T' — линейная трансформация (представлена матрицей ' $n \times n$ ') и 'b'—вектором. Стандартная матричная форма XY двумерной аффинной перестановки в евклидовой плоскости выражается следующим образом:

$$f = [W]\{x\} + \{\delta\} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Если конвертация состоит из масштабирование, отражения, поворота и смещения, (3) можно переписать следующим образом:

$$f = \lambda[\mu][r]\{x\} + \{\delta\} = \lambda \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}$$

где λ - коэффициент масштабирование аффинных перестановок, $\mu_1 = -1$ и $\mu_2 = 1$ по оси y, $\mu_1 = 1$ и $\mu_2 = -1$ отражает вдоль оси x, θ - угол поворота, δ_x и δ_y - смещение по оси x и оси y соответственно.

Построение геометрических фрактальных фигур: использование в качестве исходной геометрической фигуры S_0 и после бесконечного числа итераций, где $i=1,2,\dots,m$ для каждой итерации применяется бесконечное число условных аффинных функций f_i . Бесконечное количество самоподобных малых форм $S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$, каждая из которых состоит из уменьшенных успешно полученных копий оригинала (рис. 2).

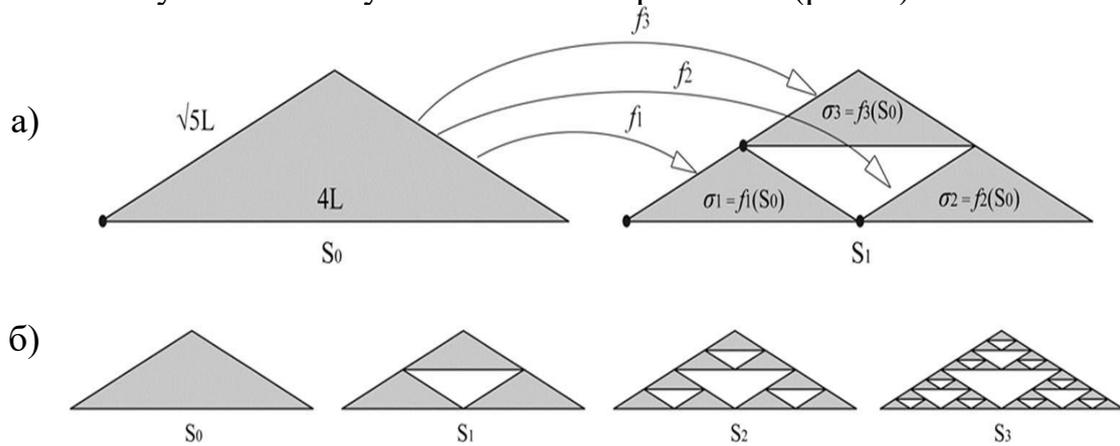


Рис. 2. а) Построение треугольника Серпинского на основе масштабирования и аффинной перестановки, б) последовательность преобразования для построения треугольника Серпинского

Размерность Хаусдорфа является наиболее популярной математической мерой для оценки фрактальных измерений самоподобных фракталов. Основываясь на теории масштабирования Барнсли, метод фрактального размерности Хаусдорфа (4) зависит от коэффициентов редукции:

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i^D = 1 \quad (4)$$

где λ_i - коэффициент масштабирования аффинных перестановок, k - количество аффинных перестановок. Если $0 < \lambda < 1$ то, неравенство будет выражаться следующим неравенством

$$\lambda^D + \lambda^D + \lambda^D + \dots + \lambda^D = 1; \quad k > 1$$

тогда $k \cdot \lambda^D = 1 \Rightarrow \lambda^D = 1/k$.

Отсюда следует,

$$D = \frac{\log(1/k)}{\log(\lambda)}. \quad (5)$$

В этом методе построение треугольника Серпинского (см. рис. 2) функция аффинной подстановки f_i работает так, как показано на рис. 1, когда значение коэффициента масштабирования λ_i IFS равно 1/2. Таким образом, формируется новая форма S_1 , которая представляет собой объединение ' σ_1 ', ' σ_2 ' и ' σ_3 ', математически выражаемое как:

$$S_1 = \sigma_1 \cup \sigma_2 \cup \sigma_3 = f_1(S_0) \cup f_2(S_0) \cup f_3(S_0),$$

n - повторении

$$S_n = f_1(S_{n-1}) \cup f_2(S_{n-1}) \cup f_3(S_{n-1}).$$

Отсюда следует,

$$S_0 \supset S_1 \supset S_2 \supset S_3 \supset \dots \supset S_{n-1} \supset S_n \supset \dots,$$

Таким образом 'S' аттрактор:

$$S = \bigcap_{i=1}^{\infty} S_i. \quad (6)$$

этот фрактал является математическим выражением треугольника Серпинского (6).

Для построения треугольника Серпинского используется следующая функция IFS, состоящая из аффинной перестановки (f_1, f_2 и f_3) при $k=3$ треугольника, показанного на рисунке 2 ниже,

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}; \quad i = \text{от } 1 \text{ до } 3$$

основываясь на уравнении (5), если размерность Хаусдорфа треугольника Серпинского является D , то $\lambda_1^D + \lambda_2^D + \lambda_3^D = 1$, где $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{2}$.

Поэтому фрактальная размерность Хаусдорфа D $\left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D = 3 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^D = 1$ находится по следующему выражению:

$$D = \frac{\log(1/3)}{\log(1/2)} \approx 1.585.$$

Таблица 1.

Значение параметров функции при построении треугольника Серпинского

IFS функции	Масштабирование	Отражение		Округление	Подстановка	
		μ_1	μ_2		δ_x	δ_y
f	λ			θ	δ_x	δ_y
f_1	1/2	1	1	0°	0	0
f_2	1/2	1	1	0°	2L	0
f_3	1/2	1	1	0°	L	L/2

Фрактал Балтимора. При создании связей предыдущего фрактала был использован метод, основанный на аффинных преобразованиях фрактала Балтимора f_1 и f_2 , при котором в каждой новой итерации создается фрактал, объединяющий две кратные копии предыдущей формы (см. рисунок 3). В

отличие от других фракталов, исходная форма фрактала Балтимора 'B₀' представляет собой треугольник с дополнительной вертикальной линией, соединяющей вершину с центром базовой линии (рис. 3).

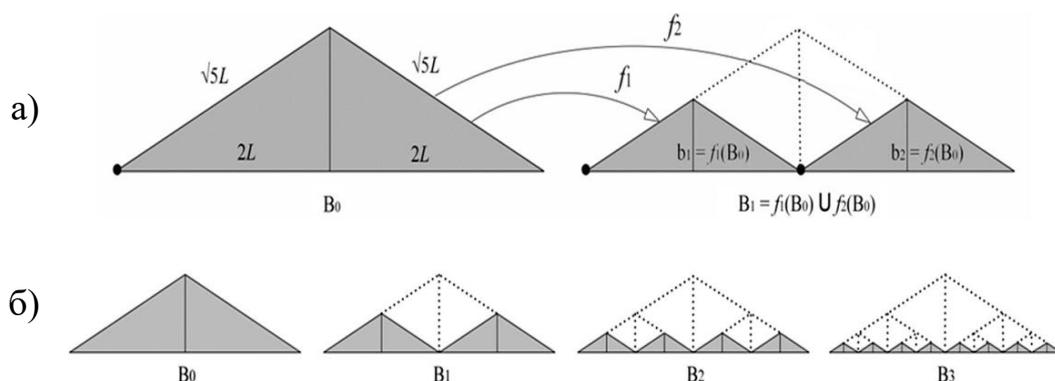


Рис. 3. Построение балтиморского фрактала: а) масштабирование и аффинная перестановка, б) приведена последовательность объединения

Форма аттрактора 'B' фрактала Балтимора и соответствующие аффинные перестановки могут быть выражены как (7):

$$B = \bigcap_{i=1}^{\infty} B_i. \quad (7)$$

где $B_1 = b_1 \cup b_2 = f_1(B_0) \cup f_2(B_0)$, также $B_n = f_1(B_{n-1}) \cup f_2(B_{n-1})$, в этом случае $B_0 \supset B_1 \supset B_2 \supset B_3 \supset \dots \supset B_{n-1} \supset B_n \supset \dots$ перестановка аффин,

$$f_i = \lambda_i \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}; \quad i = \text{от } 1 \text{ до } 2$$

Если Балтимор в виде фрактала $\left(\frac{1}{2}\right)^D + \left(\frac{1}{2}\right)^D = 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^D = 1$, то фрактальная размерность Хаусдорфа равна:

$$D = 1.$$

То есть при бесконечном повторении Балтиморский фрактал (без пунктирных линий) превращается в одномерную линию.

Таблица 2. Значение параметров функции при построении балтиморского фрактала

IFS функции	Масштабирование	Отражение		Округление	Подстановка	
		μ_1	μ_2		δ_x	δ_y
f	λ	μ_1	μ_2	θ	δ_x	δ_y
f_1	1/2	1	1	0°	0	0
f_2	1/2	1	1	0°	2L	0

На основании приведенных выше исследований был проведен расчет общего веса всех ферменных конструкций, и сравнение показано на рис. 4 справа. Видно, что существует аналогия между фрактальной размерностью Хаусдорфа и разницей веса ферм. Это и понятно, ведь чем плотнее решетка, тем тяжелее ферма. В этом смысле фрактальные измерения можно интерпретировать как визуальную меру веса фермы.

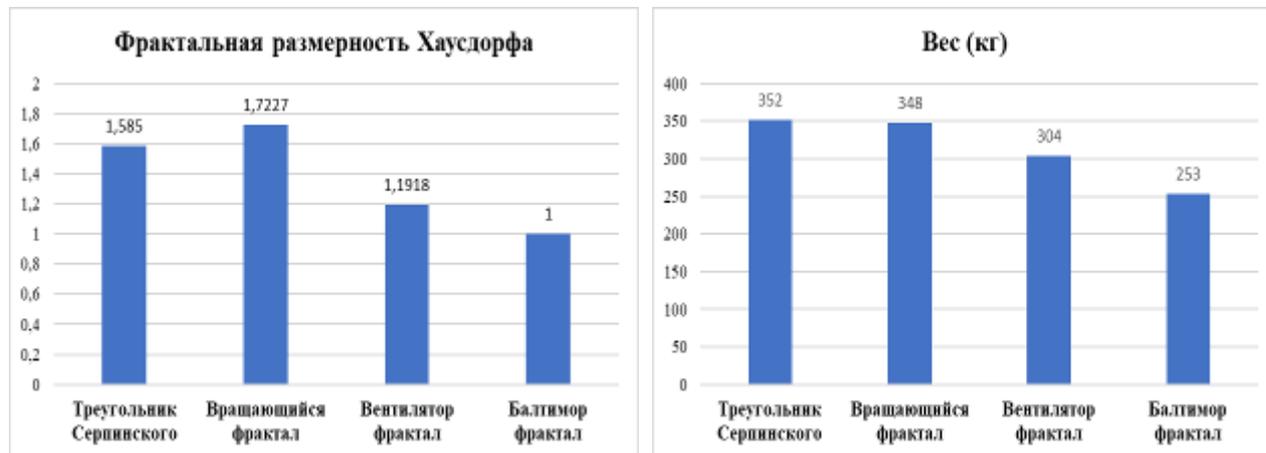


Рис. 4. Сравнение фрактальных размерностей Хаусдорфа (слева) и общей массы (справа) фрактальных ферм

В третьей главе диссертации «Совершенствование методов геометрического моделирования сложных фрактальных форм в архитектурных объектах» были разработаны геометрические модели сложных фрактальных объектов с использованием методов R-функций и L-систем. С использованием R-функций и L-систем разработан гибридный метод и алгоритм визуализации 3D-объектов со сложной фрактальной структурой, связанных со строительством и архитектурой. Также были созданы геометрические модели и рекурсивные алгоритмы визуализации фасадов зданий на основе фрактальной губки Менгера с использованием геометрических трансформаций.

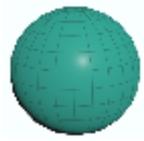
L-система — это грамматика (8), используемая для создания новых строк путем перезаписи старой строки и следования синтаксису продукционных правил:

$$G = \{V, \omega, P\} \quad (8)$$

Геометрическое моделирование проекта купольного здания. Сначала выбираются простые объемные геометрические фигуры, которые понадобятся для геометрического моделирования. Для проекта здания купола используются четыре геометрические фигуры: параллелепипед, сфера, цилиндр и эллипс (рис. 5).



параллелепипед



шар



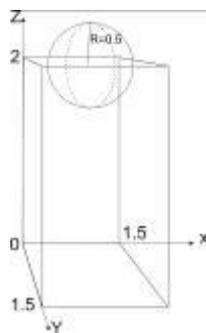
цилиндр



эллипсоид

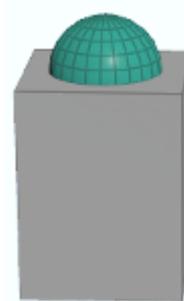
Рис. 5. Трехмерные фигуры для моделирования геометрических фигур

На втором этапе определяются функции, описывающие геометрические фигуры в трехмерном пространстве. Определяются базовые функции по параметрам положения параллелепипеда и сферы в пространстве (рис. 6(а)).



а

$$\omega = \omega_1 \vee_0 \omega_2$$



Ω_1

б

Рис. 6. Расположение параллелепипеда и сферы в пространстве. а) в декартовой координатной плоскости, б) сложного геометрического объекта Ω_1

Параллелепипед описывается несколькими базисными функциями следующим образом:

$$\omega_1 \equiv f_1 \wedge_0 f_2 \wedge_0 f_3 \geq 0,$$

Здесь,

$$f_1 = (a_1 - x)x \geq 0, \quad a_1 = 1.5; \quad f_2 = (b_1 - y)y \geq 0, \quad b_1 = 1.5; \quad f_3 = (c_1 - z)z \geq 0, \quad c_1 = 2.$$

Сфера может быть представлена следующей базовой функцией.

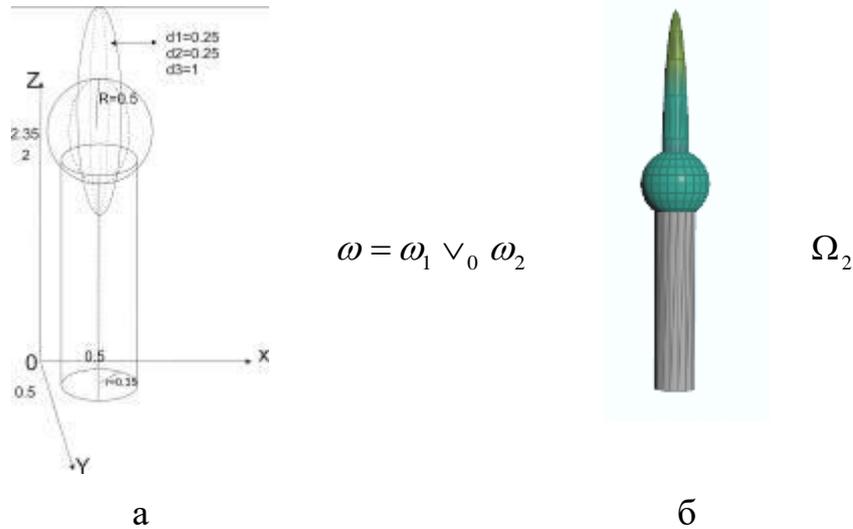
$$f_4 = \left(R^2 - \left(x - \frac{a_1}{2} \right)^2 - \left(y - \frac{b_1}{2} \right)^2 - (z - c_1)^2 \right) \geq 0, \quad R = 0.5;$$

$$\omega_2 \equiv f_4 \geq 0.$$

Ω_1 сложный геометрический объект (рис. 6(б)) строится по следующей (9) логической формуле.

$$\Omega_1 = (\omega \equiv \omega_1 \vee_0 \omega_2 \geq 0). \quad (9)$$

На третьем этапе определяются базисные функции в зависимости от положения цилиндра, сферы и эллипса в пространстве (рис. 7(а)):



$$\omega = \omega_1 \vee_0 \omega_2$$

$$\Omega_2$$

Рис. 7. Расположение цилиндра, сферы и эллипса в пространстве:
а) декартовой координатной плоскости, б) сложного геометрического объекта Ω_2

Ω_2 сложный геометрический объект (рис. 7(б)) строится по следующей (10) логической формуле.

$$\Omega_2 = (\omega_5 = \omega_3 \vee_0 \omega_4 \geq 0). \quad (10)$$

Здесь,

$$f_5 = (r^2 - (x - a_2)^2 - (y - b_2)^2) \geq 0, \quad r = 0,35; a_2 = 0,5; b_2 = 0,5; c_2 = 2.35.$$

$$\omega_3 = f_3 \wedge_0 f_5,$$

$$f_6 = (R^2 - (x - a_2)^2 - (y - b_2)^2 - (z - c_2)^2) \geq 0,$$

$$f_7 = \left(1 - \frac{(x - a_2)^2}{d_1^2} - \frac{(y - b_2)^2}{d_2^2} - \frac{(z - c_2)^2}{d_3^2} \right) \geq 0, \quad d_1 = 0,25; d_2 = 0,25; d_3 = 1.$$

$$\omega_4 = f_6 \vee_0 f_7 \geq 0.$$

Сложные геометрические фигуры, построенные шаги, используются как геометрические элементы L-системы, то есть $\Omega_1 = J$, $\Omega_2 = K$ принимается. С участием этих элементов J и K были разработаны следующие аксиома и правила.

Аксиома: F J K / + - [] A B h " !

1. Правило: A=J/(45)[+hh-B]/(90)[+hh-B]/(90)[+hh-B]/(90)[+hh-B]

2. Правило: B="J+h-"AFF! " (0.7)K

n - количество повторений.

На рис.8 показан процесс формирования геометрически смоделированного проекта строительства купола после каждой итерации с использованием комбинации методов R-функции и L-систем.

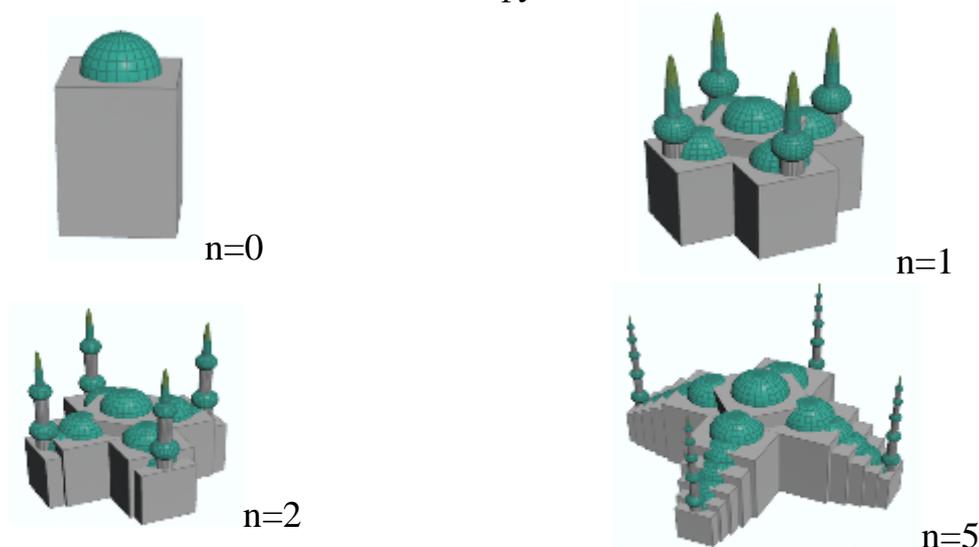


Рис. 8. Проект купольного здания, геометрически смоделированный с использованием комбинации методов R-функции и L-систем

В четвертой главе диссертации «Программный инструмент геометрического моделирования сложных фрактальных структур» разработан программный инструмент на основе существующих алгоритмов, предложенных и разработанных в предыдущих главах и направленный на решение практических задач, а также на основной интерфейс и функциональные возможности программного средства, а также алгоритмы визуализации сложных фрактальных фигур.

Общая структура программного средства, создающего фрактальные структуры на основе R-функций, L-систем и IFS-алгоритмов, представлена на рис.9.

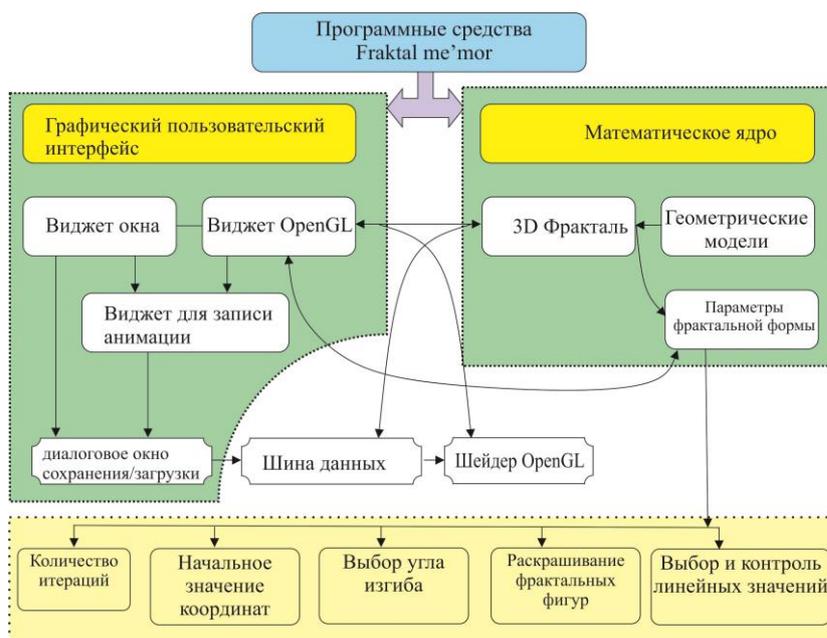


Рис. 9. Общая структура программного средства

Для визуализации сложных фракталов используется алгоритм, основанный на комбинации R-функций и L-систем (рис. 10).

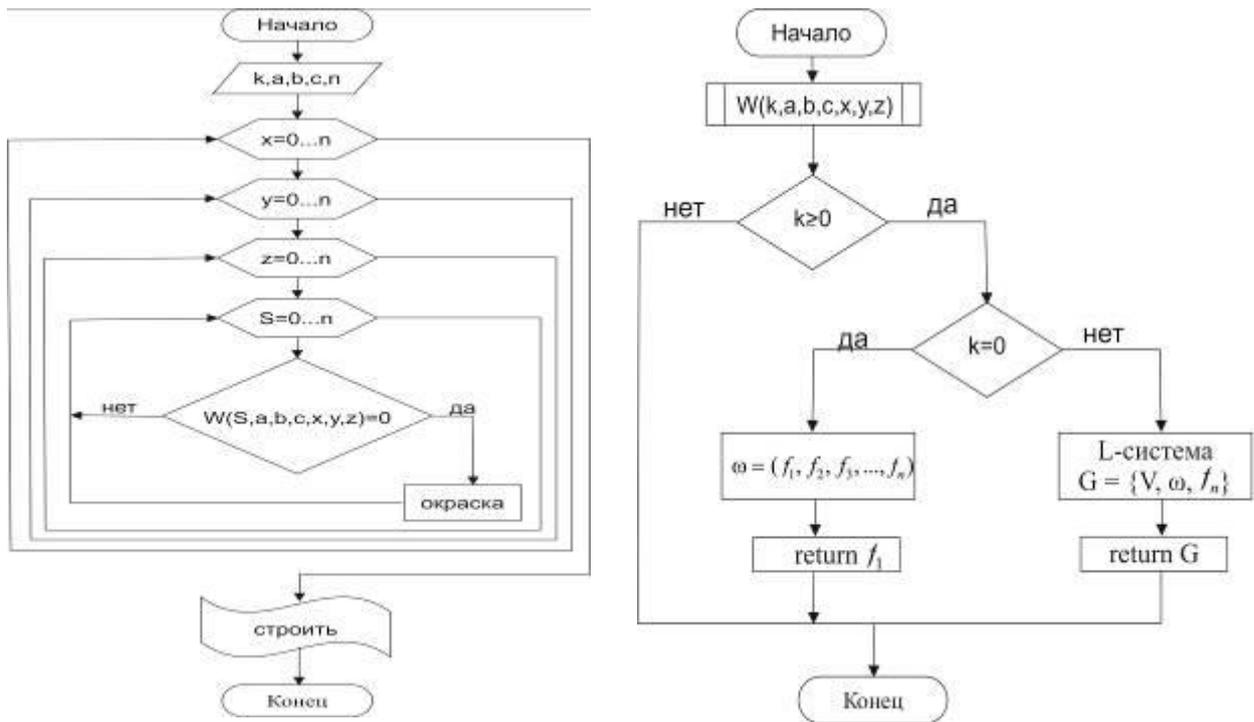


Рис. 10. Блок-схема алгоритмов визуализации сложных фракталов на основе комбинации R-функций и L-систем.

На рис.11 показан интерфейс программного средства, визуализирующего объекты со сложной фрактальной структурой с использованием аналитических методов.

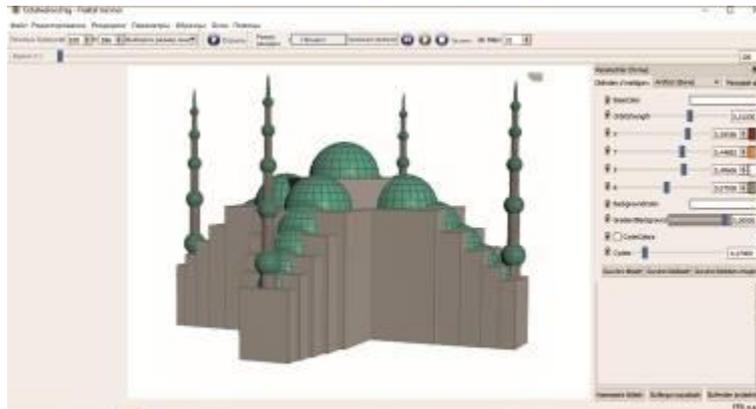


Рис. 11. Главное окно программного средства

Для визуализации сложных фрактальных объектов использовались языки программирования Qt6, C++ и OpenGL. Созданный программный комплекс «Fraktal me'mor» позволяет с помощью быстрой визуализации разрабатывать сложные фракталы. Преимущество этой программы заключается в том, что она не только создает двухмерные фрактальные формы, но и позволяет визуализировать сложные трехмерные фрактальные формы объектов мемориальной архитектуры, а также создавать множество новых форм через геометрические преобразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационной работы на тему «Геометрическое моделирование сложных фрактальных структур строительно-архитектурных объектов» были представлены следующие основные выводы:

1. Были изучены и исследованы основные понятия теории фракталов, происхождение фракталов, их свойства, виды и области применения. В результате установлено, что он используется при разработке конструкций в строительно-архитектурных объектах и в процессе проектирования сложных конструкций экстерьера зданий и имеет экономический эффект.

2. Изучены и исследованы методы построения фракталов, алгоритмы их визуализации, процесс применения, понятие фрактальной размерности и методы расчета фрактальной размерности объектов с фрактальной структурой. Проанализированы теоретические основы и преимущества метода системы итерационных функций (IFS). Построенные на основе этого метода геометрические модели конструкций ферм с фрактальной структурой и расчетные значения фрактальных измерений позволили провести сравнительный анализ прочности ферм.

3. Разработаны геометрические модели и алгоритм построения объектов сложной фрактальной структуры с использованием комбинации методов R-функций и L-систем. На основе этого гибридного метода и разработанного алгоритма были визуализированы архитектурные проекты спиральных и купольных зданий со сложной фрактальной структурой. Разработанный алгоритм служит для построения сложных геометрических фигур с большим разнообразием трехмерных фрактальных структур.

4. Разработан алгоритм визуализации сложных фрактальных форм с использованием метода системы итерационных функций (IFS). Этот метод и алгоритм позволили визуализировать новые формы в режиме реального времени, изменяя значения параметров фрактальной формы губки Менгера.

5. На основе разработанных геометрических моделей и алгоритмов разработан программный средства, автоматизирующий визуализацию 2D и 3D объектов со сложной фрактальной структурой в строительстве и архитектуре. Использование этого программного средства служит для разработки самых разнообразных проектов хозяйственных построек, используемых в строительной архитектуре, для определения уровня прочности, а также для визуализации внешних видов классических и современных зданий.

6. Разработанные геометрические модели, алгоритмы и программные средства внедрены в ООО «IBRAGIMOV DESIGN STUDIO», ООО «NURLAN-PROJECT» и ООО «ART DECO DESIGN». В результате за счет автоматизации проектирования строительно-архитектурных объектов можно увеличить объем производства на 8–11 %, повысить рыночный спрос на продукт в 1,1–1,2 раза за счет расширения качества продукции и видов проектов, требуемых заказчиком, а также сократить общее время, необходимое для проектирования строительно-архитектурных сооружений, в среднем на 10%.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

BERDIEV GOLIB RASHIDOVICH

**GEOMETRIC MODELING OF COMPLEX FRACTAL STRUCTURES OF
BUILDING AND ARCHITECTURAL OBJECTS**

05.01.01 – Engineering geometry and computer graphics.
Audio and videotechnologies

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

Tashkent – 2023

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 B2022.2.PHD/T2821

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

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: **Sadullaeva Shakhlo Azimbaevna**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, docent

Official opponents: **Hamdamov Utkir Rakhmatillaevich**
Doctor of Technical Sciences, docent

Nuraliev Farkhod Abduganievich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, docent

Leading organization: **Samarkand state university named after Sharof Rashidov**

The defense of dissertation will take place «26» May 2023 at 14⁰⁰ at the meeting of Scientific Council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+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. D/274). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-70, e-mail: iktuit@tuit.uz).

Abstract of the dissertation sent out on «11» May 2023 y.
(mailing report No. 13 on «20» April 2023 y.).



M.M.Musaev
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

N.O.Rakhimov
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent

Sh.A. Anarova
Chairman of the academic
seminar under the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop geometric models and algorithms for 2D and 3D objects with a complex fractal structure in construction and architecture.

The object of the research work is two- and three-dimensional objects with a complex fractal structure in the design of building architectural projects.

The scientific novelty of the research work is as follows:

geometric models and an algorithm for constructing trusses with a fractal structure in building architecture objects based on IFS and geometric transformations have been developed;

a geometric model and an algorithm for three-dimensional objects of complex structure were developed using the method of R-functions;

developed a hybrid method and algorithm for visualization of 3D objects with a complex fractal structure related to construction and architecture, using R-functions and L-systems;

a functional-schematic structure of a software tool has been developed that automates the visualization of 2D and 3D objects with a complex fractal structure encountered in the architecture of buildings using the IFS, R-function and L-system methods.

Implementation of the research results. As part of the dissertation, based on algorithms and software developed based on the results of research on the geometric modeling of fractal structure objects using analytical methods:

a software tool developed on the basis of the iterative function system (IFS) and geometric replacements of computer graphics, algorithms for geometric modeling of objects with a complex fractal structure, implemented in IBRAGIMOV DESIGN STUDIO LLC (reference № 33-8/7615 dated November 14 2022 of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications). As a result, it was possible to increase automation and production of complex fractal structures for architectural design processes by 8-11% and reduce costs by 5-9% due to the reduction of manual labor;

a software tool developed on the basis of methods and algorithms for geometric modeling of images of fractal structures using geometric transformations of computer graphics, implemented in the state of emergency NURLAN-PROJECT (reference № 33-8/7615 dated November 14 2022 of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications). As a result, it was possible to increase the market demand for the product by 1.1-1.2 times by changing the quality of the product and the color of the pattern shape at the request of the client;

a software tool based on a set of algorithms for modifying the geometric modeling of objects in a fractal structure, integrating the analytical constructive method of R-functions (RFM) and the L-systems method, implemented in ART DECO DESIGN LLC (reference № 33-8/7615 dated November 14 2022 of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications). As a result, it was possible to reduce the time required to create interior and

exterior decorative forms used in the decoration and decoration of buildings and structures by an average of 10%.

The structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, references and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim(I часть; part I)

1. Анарова Ш. А., Бердиев Ғ.Р., Саидкулов Э.А., Абдурахмонов А.А. Ўзбекистон республикаси чегараси узунлигининг фрактал ўлчови // ТАТУ хабарлари журнали. № 1 (57). Тошкент 2021. -Б. 88-100. (05.00.00; №31)

2. Садуллаева Ш.А., Бердиев Ғ.Р., Саидкулов Э.А. Меъморий фрактал шаклларнинг таҳлили ва истиқболдаги ўрни // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. № 2(16). Toshkent 2021. -B. 142-148. (05.00.00; №10)

3. Anarova Sh.A., Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'R. Murakkab fraktal tuzilishli me'moriy obyektlarni R-funksiya va L-tizimlari usullari asosida geometrik modelashtirish // TAQI Arxitektura, qurilish va dizayn ilmiy-amaliy jurnali. № 2(16). Toshkent 2021. -B. 93-97. (05.00.00; №4).

4. Berdiyev G'R. Me'morchilikda fraktal shakllarni kompyuter modellashtirish texnologiyasini ishlab chiqish // TAQI Arxitektura, qurilish va dizayn ilmiy-amaliy jurnali. № 3(16). Toshkent 2021. -B. 39-46. (05.00.00; №4).

5. Anarova Sh., Sadullaeva Sh., and Berdiev G. Calculation of building dimensions in the method of composition fractal analysis // in 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Nov. 2021, Tashkent. -P. 01–04, doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670390. (05.00.00; ОАК раёсат қарори 30.10.2021. №525– сон).

6. Berdiev G., Djurayeva M. Designing fractal buildings using iterative function systems // Web of Scientist: International Scientific Research Journal. ISSN: 2776-0979, Volume 3, Issue 5 of May, 2022. Indonesia. -P. 983-992. (№23; Scientific Journal Impact Factor; IF=5.949).

7. Anarova Sh.A., Berdiyev G'R., Sodiqov V.S. Optimal oltin geometrik fraktal shakllarni ishlab chiqish va me'morchilikda qo'llash // TAQI Arxitektura, qurilish va dizayn ilmiy-amaliy jurnali. № 2(17). Toshkent – 2022.-B. 35-42. (05.00.00; №4).

II bo'lim(II часть; part II)

8. Anarova Sh., Ibromkhimova Z., Berdiev G. An Algorithm for Constructing Equations of Geometry Fractals Based on Theories of R-functions. // Published in: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). Oct. 2020, Istanbul. INSPEC Accession number: 20116939 DOI: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9254635. -P. 192-196.

9. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'R. L-tizimlar usulida fraktal tuzilishdagi obyektlarni 3D modellashtirish // Raqamli технологиялар: соҳаларда амалий жорий этишнинг ечимлари ва муаммолари Республика илмий-техник анжумани. Тошкент 28-29 апрел 2021 йил. – Б. 39-43.

10. Anarova Sh.A., Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'.R. Fraktal tuzilishli me'moriy obyektlarni L-tizim algoritmlari asosida «Houdini 3d» modellashtirish // International scientific conference «Information technologies, networks and telecommunications» ITN&T-2021 Urgench, 2021 y May 25-26. – B. 118-121.

11. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'.R. Kompyuter modellashtirishni qo'llash bilan tabiiy va me'moriy fraktal shakllarni tahlil qilish // «Iqtisodiyot tarmoqlarining innovasion rivojlanishida axborot-kommunikasiya texnologiyalarining ahamiyati» mavzusiga bag'ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani, TATU, Toshkent, 4-5 mart, 2021 y. – B. 437-440.

12. Berdiyev G'.R., Saidkulov E.A. O'zbekiston respublikasining chegarasi uzunligi hamda fraktal o'lchovini masshtablangan xarita yordamida Richardson effekti usulida aniqlash // «Axborot kommunikasiya texnologiyalari va dasturiy ta'minot yaratishda innovasion g'oyalar» mavzusiga bag'ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani, TATUSF, Samarqand, 17-18 May, 2021 y. – B. 9-12.

13. Anarova Sh.A., Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'.R. Shakllarning fraktal o'lchovni aniqlashda qoplama hamda prizma usullarini tahlil qilish // «Innovasion g'oyalar, ishlanmalar amaliyotga: muammolar, tadqiqotlar va yechimlar» mavzusida onlayn Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman, Zahiriddin Muhammad Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti, Andijon, 21 aprel, 2021 y. – B. 64-67.

14. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G'.R., Saidkulov E.A. Me'morchilikda kompozision fraktal tahlil usulini qo'llash // 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, 6-7 сентября 2021 г. – С. 84-91.

15. G'.R.Berdiyev., E.Saidkulov. Murakkab fraktal shakllarni kompyuter modellashtirishning ahamiyati // «Yangi O'zbekistonda islohotlarni amalga oshirishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish» mavzusida Xalqaro ilmiy-amaliy konferentsiya. Andijan – 2021. 27-29 October. – B. 597-599.

16. Berdiyev G'.R., Mirbadalova J.S. Fraktal grafikani me'morchilikda qo'llashning ahamiyati va istiqboldagi o'rni // «Yuqori malakali kadrlarni tayyorlashda o'qitishning zamonaviy tizimlari va texnologiyalarini qo'llash masalalari» Respublika ilmiy-uslubiy konferensiyasi Toshkent 2022, 17-18 yanvar. -B. 47-49.

17. Sadullayeva Sh.A., Anarova Sh.A., Berdiyev G'.R. Fraktal geometriyaning matematik xususiyatlari, iteratsion funksiyalar tizimlari // «Iqtisodiyotning tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati» mavzuidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani Toshkent 2022 y, 10-11-Mart. – B. 94-97.

18. Berdiev G. Designing fractal buildings using iterative function systems // Scientific journal central asian journal of education and computer sciences. (CAJECS), ISSN: 2181-3213 VOLUME 1, ISSUE 2, APRIL 2022. Uzbekistan. – P. 22-28.

19. Berdiev G., To‘xtasinov A., Parmonqulov F. Mathematical properties of fractal geometry and iterative function system // Scientific journal central asian journal of education and computer sciences. (CAJECS), ISSN: 2181-3213 VOLUME 1, ISSUE 2, APRIL 2022. Uzbekistan. – P. 35-48.

20. Sadullayeva Sh.A., Berdiyev G‘.R., Farmonkulov F.N. Gipermurakkab fraktallarning 3d shakllarini qurish usullari // Современное состояние и перспективы развития цифровых технологий и искусственного интеллекта Сборник докладов республиканской научно-технической конференции Самарканд, 26-27 октября 2022 г. – С. 98-105.

21. Berdiev G. Methods of constructing 3d shapes of hypercomplex fractals // Harvard Educational and Scientific Review. 0362-8027. Vol.2. Issue 2. United Kingdom. – P. 117-124. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7273973>.

22. Berdiev G.R. The significance of computer modeling of complex fractal shapes // «Interdiscipline innovation and scientific research conference» A collection of scientific works of the International scientific online conference. 15th January, 2023. London. – P. 160-161.

23. Berdiev G.R. «Houdini 3D» Modeling of fractal structured architectural objects based on L-system algorithms. // «Pedagogical sciences and teaching methods» A collection of scientific works of the International scientific online conference. 17th January, 2023 Copenhagen. – P. 89-92.

24. Anarova Sh.A; Narzulloyev O.M; Berdiyev G‘.R; Qayumova G.A; Yorqulov J.Yu. Milliy naqshlardagi fraktal tuzilishli obyektlarni kompyuter grafikasining geometrik almashtirishlari yordamida vizuallashtirishni avtomatlashtirish dasturiy vositasi // O‘zbekiston respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 12557 26.08.2021.

25. Anarova Sh.A; Ibrohimova Z.E; Berdiyev G‘.R; Ismoilov Sh; Samidov M; Saidkulov E. To‘qimachilik dizayni uchun daraxsimon fraktal tuzilishlarni geometrik modellashtirishni avtomatlashtirish // O‘zbekiston respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 12238 16.06.2021.

26. Anarova Sh.A; Ibrohimova Z.E; Berdiyev G‘.R; Ismoilov Sh; Samidov M. Gazlama va gilamlar uchun aylanasimon fraktal tuzilishlarni hosil qiluvchi dasturiy vosita // O‘zbekiston respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 12239 16.06.2021.

27. Berdiyev G‘.R. Qurilish-me‘morchilik obyektlarning murakkab fraktal tuzilishlarini avtomatlashtiruvchi «Fraktal me‘mor» dasturiy vositasi // O‘zbekiston respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 18032 04.08.2022 y.

Avtoreferat «Muhammad al-Xorazmiy avlodlari» ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tqazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi

