

**RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKTNI  
RIVOJLANTIRISH ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.13/30.12.2021.T.142.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKTNI  
RIVOJLANTIRISH ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

**TASTANOVA SAIDA ALDIYAROVNA**

**FRAKTAL TASVIRLARNI SINTEZ QILISH ALGORITMLARI**

01.05.02 - Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024 yil

**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**

**Tastanova Saida Aldiyarovna**

Fraktal tasvirlarni sintez qilish algoritmlari..... 3

**Тастанова Саида Алдияровна**

Алгоритмы синтеза фрактальных изображений..... 21

**Tastanova Saida Aldiyarovna**

Fractal image synthesis algorithms.....41

**E'lon qilingan ishlar ro'uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works .....44

**RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKTNI  
RIVOJLANTIRISH ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.13/30.12.2021.T.142.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKTNI  
RIVOJLANTIRISH ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

**TASTANOVA SAIDA ALDIYAROVNA**

**FRAKTAL TASVIRLARNI SINTEZ QILISH ALGORITMLARI**

01.05.02 - Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2024 yil**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/T4345 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)). Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.airi.uz](http://www.airi.uz)) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Nuraliyev Faxriddin Murodillayevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Aloyev Raxmatillo Djurayevich**  
fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Nurmamatov Mexriddin Qahramonovich**  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Yetakchi tashkilot:**

**Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent  
axborot texnologiyalari universiteti Nukus filiali**

Dissertatsiya himoyasi Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti huzuridagi DSc.13/30.12.2021.T.142.01 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil "20" dekabr soat 16<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100125, Toshkent sh., Mirzo Ulug'bek tumani, Bo'z-2 daha, 17A-uy. tel.: (99871 263-41-98, e-mail: [info@airi.uz](mailto:info@airi.uz)).

Dissertatsiya bilan Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (49 raqam bilan royxatga olingan ). (Manzil: 100125, Toshkent sh., Mirzo Ulug'bek tumani, Bo'z-2 daha, 17A-uy. (99871 263-41-98).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "08" dekabr kuni tarqatildi. (2024-yil "03" dekabr dagi 18 -raqamli reestr bayonnomasi)



*Scyph*

**N. Ravshanov**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi,  
texnika fanlari doktori, professor

**Z.R. Rahmonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash ilmiy kotibi,  
fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

**L.F. Sulyukova**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)**

**Dissertasiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Dunyoda fraktallar nazariyasining nazariy va amaliy jihatlarini, shuningdek fraktallar nazariyasi g'oyalardan foydalangan holda tabiiy jarayonlar va hodisalarni tavsiflash usullarini o'rganishga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu ilmiy yo'nalishga qiziqish asosan engil sanoat va badiiy ijod sohasi ehtiyojlari uchun oddiy o'ziga o'xshash to'plamlar va murakkab fraktal tuzilmalar asosida kompyuter grafikasining yuqori amaliy ahamiyati bilan bog'liq. Fraktal tasvirlarni sintez qilish va ularning parametrlarini turli mezonlarga muvofiq optimallashtirishning rivojlangan matematik apparatlaridan foydalanishga asoslangan innovatsion dizayn usullari, xususan, to'qimachilik sanoatida tobora ommalashib bormoqda.

Dunyo bo'ylab deterministik, stoxastik va evristik usullar asosida fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish muammolarini hal qilish algoritmlarini ishlab chiqish bo'yicha maqsadli tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu tadqiqotlar natijalari fraktallar nazariyasini rivojlantirishga, shuningdek, rang va geometrik dizayn muammolarini, shu jumladan neyron tarmoqlarining imkoniyatlarini keng qo'llash orqali avtomatlashtirishga imkon beradigan kompyuter grafikasi texnologiyalarini takomillashtirishga qaratilgan.

O'zbekiston Respublikasida, shuningdek, naqsh shakllarining murakkabligi bilan ajralib turadigan fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish muammolarini o'rganish bilan bog'liq ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu bilan birga, ushbu sohada yanada keng ko'lamlil ilmiy-tadqiqot ishlarini qo'llab-quvvatlashga qaratilgan sa'y-harakatlar susaymayapti.

Yangi O'zbekistonning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan rivojlanish strategiyasida bir qator vazifalar qayd etildi, xususan «...qurilish materiallari ishlab chiqarish hajmini ikki baravar oshirish, to'qimachilik sanoati mahsulotlarini ishlab chiqarish hajmini ikki baravar oshirish, sanoat tarmoqlarida mehnat unumdorligini oshirish dasturlarini keng joriy etish...». Ushbu vazifalarning muvaffaqiyatli bajarilishi to'qimachilik va qurilish sanoatida, shuningdek san'at sohasida amaliy muammolarni hal qilishni avtomatlashtirishga qaratilgan fraktal tasvir parametrlarini sintez qilish va optimallashtirish uchun matematik modellar, hisoblash algoritmlari va dasturiy ta'minotni yanada rivojlantirishga bo'lgan talabni belgilaydi.

Ushbu dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi «yangi O'zbekistonning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan rivojlanish strategiyasi to'g'risida» gi PF - 60 - son, 2021 yil 8 iyundagi «ishchi kasblar bo'yicha kadrlar tayyorlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi PF-5140-son Farmonlarida nazarda tutilgan vazifalarni bajarishga xizmat qiladi. Va O'zbekiston Respublikasining 2017 - yil 7-fevraldagi «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish harakatlari strategiyasi to'g'risida» gi PF-4947-son - 2018 yil 19 fevraldagi «axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi 5349-son va ushbu sohada qabul qilingan boshqa normativ-huquqiy hujjatlar.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yoʻnalishiga mosligi.** Mazkur tadqiqot Oʻzbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yoʻnalishiga muvofiq amalga oshirildi. «Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish».

**Muammoning oʻrganilganlik darajasi.** Jahonda matematik modellashtirish metodologiyasini rivojlantirish, shuningdek fraktal tasvirlarning rang parametrlarini avtomatik optimallashtirish masalalariga A.A.Androsov, A.N.Tkachev, A.I.Novikov, A.Yu.Soldatov, I.L.Akulich, D.Rutkovskaya, M.Pilinskiy, L.Rutkovskiy, A.V.Kuznetsov, V.A.Sakovich, N.I.Xolod, D.E.Goldberg. Ushbu mualliflar hozirgi kunga qadar nazariy va amaliy xarakterdagi muhim natijalarga erishdilar, xususan: qurilish sanoati uchun tashqi va ichki dizayndagi fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish usuli ishlab chiqilgan, genetik algoritmlardan foydalangan holda fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish metodologiyasi ishlab chiqilgan, chuqur oʻrganish texnologiyalari va evristik usullar asosida murakkab fraktal tuzilmalarni sintez qilishda rang va geometrik parametrlarni optimallashtirish uchun modellar va algoritmlar ishlab chiqildi.

Oʻzbekistonda fraktallar nazariyasi, matematik dasturlash muammolari va ularni yechishning raqamli usullarini oʻrganish, shuningdek, optimal boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish yoʻnalishlariga katta ilmiy hissa qoʻshgan B.A.Bondarenko, M.M.Kamilov, T.F.Bekmuratov, F.B.Abotaliyev, X.Z.Egamberdiyev, O.M.Nabiyev, E.M.Aliyev, Sh.X.Fazilov, M.A.Ismoilov, R.X.Hamdamiyov, D.T.Muhammadiyeva, O.K.Xatamov, O.J.Babomurodov, B.Moʻminov, N.S.Mamatov va boshqalar ushbu sohalar rivojlanishiga oʻz hissalarini qoʻshib kelishmoqda.

Koʻplab ilmiy ishlarni tahlil qilishdan xulosa qilishimiz mumkinki, murakkab fraktal tuzilishga ega boʻlgan tasvir ranglarini optimallashtirish va tasniflash uchun matematik modellar va algoritmlarni ishlab chiqish, shuningdek fraktal tasvirlarni sintez qilish, shu bilan birga fraktal tasvirlarning badiiy va estetik sifati oʻrtasidagi muvozanatni saqlashdan iborat. Ulardan foydalangan holda tayyorlangan tayyor mahsulotlarning pul qiymati, boshqa tomondan hali ham yaxshi oʻrganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bogʻliqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining IL-4721071198 «3D-texnologiyalar asosida milliy virtual universitet axborot texnologiyalari tizimini yaratish» (2021-2023) loyihasi doirasida ilmiy-tadqiqot ishlari rejalariga muvofiq amalga oshirildi.

**Tadqiqotning maqsadi** toʻqimachilik sanoatida qoʻllash uchun rang parametrlarini optimallashtirish bilan fraktal tasvirlarni sintez qilish algoritmlarini ishlab chiqish.

**Tadqiqotning vazifalari:**

boʻyoqlarni ishlab chiqarishda boʻyoqlarning konsentratsiyasi (toʻyinganligi) oʻzgarishi dinamikasining matematik modelini ishlab chiqish;

simpleks usuli asosida murakkab fraktal tasvirlarning rangini optimallashtirish algoritmini ishlab chiqish;

optimallashtirish natijalarini baholash mezonlarini ishlab chiqish va simpleksi usul asosida fraktal tasvirlarning rang parametrlarini sintez qilish algoritmi;

simpleks usul va genetik algoritm kombinatsiyasi asosida fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish uchun gibril algoritmini ishlab chiqish;

o'ramli neyrotarmoq arxitekturasidan foydalangan holda fraktal tuzilmalarni rang parametrlari bo'yicha tasniflash uchun chuqur o'rganish modelini ishlab chiqish;

to'qimachilik va gilam mahsulotlarini ishlab chiqarishda rang va xarajat jihatidan optimallashtirilgan murakkab fraktal tasvirlarni sintez qilish algoritmlarini amalga oshirish uchun dasturiy ta'minotni ishlab chiqish.

**Tadqiqotning obyekti** to'qimachilik va gilam mahsulotlarini ishlab chiqarishda murakkab fraktal tuzilishga ega bo'lgan rangli ikki o'lchovli tasvirlarni yaratish jarayonidir.

**Tadqiqotning predmeti** fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish usullari, modellari va algoritmlari bo'lib, bunda maqbullik mezoni iqtisodiy baholash (estetik qiymat, ishlab chiqarish tannarxi) shaklida ifodalanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot davomida matematik dasturlash usullari, optimallashtirish muammolarini hal qilish usullari, simpleks usuli, evristik usullar, mashinali o'qitish usullari, shuningdek dasturiy mahsulotlarni ishlab chiqish uchun obyektga yo'naltirilgan dasturlash texnologiyalari qo'llanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

to'qimachilik bo'yoqlarini ishlab chiqarishda ranglarning konsentratsiyasi (to'yinganligi) dinamikasining matematik modeli ishlab chiqilgan;

simpleks usuli asosida fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish va sintez qilish natijalarini baholash algoritmlari ishlab chiqilgan;

simpleks usul va genetik algoritm kombinatsiyasi asosida fraktal tasvirlarning rang va qiymat parametrlarini optimallashtirish uchun gibril algoritmi ishlab chiqilgan;

o'ramli neyrotarmoq arxitekturasi asosida chuqur o'rganish modeli va fraktal tasvirlarni Itten rang nazariyasi yordamida tasniflash algoritmi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:**

to'qimachilik va gilam mahsulotlarini ishlab chiqarishda rang va narx jihatidan optimallashtirilgan murakkab fraktal tasvirlarni sintez qilish vazifalarini avtomatlashtirish uchun dasturiy mahsulot ishlab chiqilgan;

ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot kompleksi yordamida gilam mahsulotlarini ishlab chiqarish sifati, estetik ko'rinishi va narxini muvozanatlash uchun joriy etish obyektlarida hisob-kitoblar amalga oshirildi.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi hisoblash tajribalari natijasida olingan natijalarni qurilish sanoati, to'qimachilik sanoati va gilam ishlab chiqarish obyektlarining haqiqiy ma'lumotlari bilan, shuningdek fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish muammolari

bo'yicha boshqa mualliflarning ishlarida olingan natijalar bilan taqqoslash orqali asoslanadi.

### **Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ularning matematik model va usullarini rivojlantirishga, xususan, fraktal tasvirlarning rang parametrlarini tasniflash va optimallashtirishga, shuningdek murakkab tuzilishga ega fraktal tasvirlarni sintez qilishga ma'lum hissa qo'shishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan matematik va dasturiy ta'minotni qurilish sanoati va to'qimachilik sanoati obyektlarining tashqi va ichki dizayni va ishlab chiqarish jarayonlarida ma'lum iqtisodiy samaraga erishish bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Fraktal tasvirlarni sintez qilishni avtomatlashtirish uchun ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy majmuasi yordamida olingan ilmiy yangiliklar asosida:

fraktal tasvirlar sintezini avtomatlashtirish hisoblash algoritmi va dasturiy kompleksi «BI Group» MCHJ faoliyatida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 20-maydagi № 33 - 8 / 3297 ma'lumotnomasi). Natijada bino va inshootlarning me'moriy dizayni jarayonida dekorativ elementlar va jabhalar yaratishda fraktal tasvirlarning parametrlarini optimallashtirish imkonini bergan;

fraktal tasvirlar sintezini avtomatlashtirish va hisoblash algoritmi va dasturiy kompleksi «UCHDAVR» MCHJ faoliyatida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 20-maydagi № 33 - 8 / 3297 ma'lumotnomasi). Natijada, milliy virtual universitet tizimining uch o'lchovli muhitining tashqi va ichki elementlarini yaratishda yaratilgan fraktal tasvirlarni rang parametrlari bo'yicha optimallashtirish, shuningdek o'quv jarayonida ta'lim mazmunini idrok etishni yaxshilash imkonini bergan.

O'ramli neyrotarmoq arxitekturasi asosida fraktal tasvirlarni Itten rang nazariyasi bo'yicha tasniflash chuqur o'rganish modeli va algoritmi yordamida yaratilgan «Ko'p qatlamli fraktal tuzilmalardan foydalangan holda gilamlarni loyihalashda rang parametrlarini optimallashtirish» dasturiy ta'minoti «SAM HOME TEX» MCHJ ishlab chiqarish jarayonida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 20-maydagi №33-8/3297 ma'lumotnomasi). Natijada, fraktal naqshlarning turli xil variantlarini qayta-qayta ishlab chiqarish bilan ishlash 10 % ga oshdi va grafik dizaynerlarning mehnat zichligi pasayib estetik idrok mezonlari, to'qimachilik va gilam mahsulotlarini ishlab chiqarish tannarxi bo'yicha optimallashtirilgan fraktal tasvirlarni sintez qilish muammosini avtomatlashtirish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Ushbu tadqiqot natijalari 7 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy konferensiyalarida muhokama qilindi.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusida 22 ta ilmiy ish chop etilgan, shundan 10 tasi O'zbekiston Respublikasi oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini nashr etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda, shu jumladan 4 tasi xorijiy va 6 tasi

respublika jurnallarida chop etilgan, shuningdek, kompyuter uchun dasturni rasmiy ro'yxatdan o'tkazish to'g'risida 2 ta guvohnoma olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 103 tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **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 vazifalar belgilab olingan hamda tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan va nazariy hamda amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalari amaliyotga joriy etilganligi, chop etilgan ishlar va dissertatsiya ishining tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirib o'tilgan.

Dissertatsiyaning «**Fraktal tasvirlarni sintez qilish kontekstida optimallashtirish masalalarini yechish usullarini ishlab chiqish muammolarining holati**» deb nomlangan birinchi bobida rang parametrlarini optimallashtirishning mavjud usullarini, shu jumladan chiziqli va chiziqli bo'lmagan yondashuvlarni batafsil tahlil qilingan. Ranglarning estetik sifati va narxini hisobga oladigan  $F(x)$  maqsad funktsiyaning optimal qiymatini topishdan iborat. Gilam sanoati uchun fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirish masalasini quyidagicha shakllantirilishi mumkin. Rang parametrlari to'plamini optimallashtirish kerak bo'lsin

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\},$$

bunda  $C_i$  palitrada har bir rangdan foydalanishning intensivligi yoki nisbati, masalan, HSV, so'ngra gilam dizaynida ishlatiladigan fraktal naqshlarni sintez qilish maqsadi.

Optimallashtirishning maqsadi ikkita qarama-qarshi talab o'rtasidagi muvozanatni topishdir: 1) ishlatilgan bo'yoqlarning narxini hisobga olgan holda gilam ishlab chiqarish xarajatlarini minimallashtirish va 2) vizual estetika va idrok nuqtai nazaridan fraktal naqshlarning sifatini maksimal darajada oshirish.

Ya'ni, optimallashtirish muammosini ikkita komponentning tortilgan yig'indisi bo'lgan maqsad funktsiyasini minimallashtirish deb ta'riflash mumkin: xarajat funktsiyasi va sifat funktsiyasi.

Keyin, maqsad funktsiyasining ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$J(C) = \lambda F(C) + (1 - \lambda)Q(C), \quad (1)$$

bunda  $J(C)$ -maqsadli optimallashtirish funktsiyasi;  $F(C)$ - ishlatilgan har bir rang uchun materiallarning narxini ifodalovchi xarajatlar funktsiyasi;  $Q(C)$  - rang sxemasiga asoslangan fraktal naqshning vizual jozibadorligini baholaydigan sifat xususiyatlari  $C$ ;  $C$  - rang sxemasi asosida fraktal naqshning vizual jozibadorligini baholaydigan  $Q(C)$  - sifat funktsiyalari;  $\lambda \in [0,1]$  - xarajatlar va sifat o'rtasidagi muvozanatni belgilaydigan koeffitsient.

Ta'kidlash mumkinki, koefitsient  $\lambda$ , xarajatlar va sifat o'rtasidagi muvozanatni belgilaydigan koefitsient optimallashtirish muammosidagi ustuvorliklarni moslashuvchan boshqarish imkonini beradi. Agar koefitsientning qiymati  $0,5 < \lambda < 1$  bo'lsa, unda asosiy e'tibor xarajatlarni minimallashtirishga qaratiladi, bu naqsh sifatini pasaytirsam ham, arzonroq bo'yoqlarni tanlashga olib kelishi mumkin. Agar aksincha,  $0 < \lambda < 0,5$  bo'lsa, ishlab chiqarish xarajatlarini oshirishi mumkin bo'lgan sifatga ko'proq e'tibor beriladi. Agar  $\lambda = 1$  bo'lsa xarajatlarni minimallashtirish asosiy vazifaga aylanadi va naqsh sifati deyarli hisobga olinmaydi va  $\lambda = 0$  bo'lsa asosiy e'tibor rasm sifatiga beriladi, bo'yoqlar va materiallarning narxi hisobga olinmaydi.

Xarajatlar funktsiyasi  $F(C)$  naqshda ishlatiladigan har bir rangning narxini, ya'ni har bir rang uchun to'qimachilik bo'yog'ining birlik narxini va umumiy palitrada berilgan rangdan foydalanish ulushini tavsiflaydi:

$$F(C) = \sum_{i=1}^n p_i C_i,$$

bu yerda  $p_i$  – rang uchun bo'yoq birligi narxi  $i$ ;  $C_i$  – rangdan foydalanish ulushi;  $i$  - fraktal naqshda rangdan foydalanish ulushi;  $n$  - palitrada ranglar soni.

Bunday holda, xarajatlar funktsiyasi juda oddiy, ishlatiladigan bo'yoq miqdori va uning narxiga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir. Qimmatbaho ranglarning ulushi qanchalik katta bo'lsa, ishlab chiqarish xarajatlari shunchalik yuqori bo'ladi. Sifat funktsiyasi tanlangan ranglar va ularning o'zaro ta'siri asosida tasvirning estetik qiymatini baholaydi:

$$Q(C) = \sum_{i=1}^n q_i(C_i) + \sum_{i,j=1, i \neq j}^n r_{ij}(C_i, C_j),$$

va ikki qismdan iborat:  $q_i(C_i)$  –  $i$ -naqshni vizual idrok etishda rangning hissasini tavsiflovchi funktsiya;  $r_{ij}(C_i, C_j)$  –  $i$  va  $j$  - ranglar o'rtasidagi o'zaro ta'sirning qo'shimcha hissasi (fraktal tasvirning vizual uyg'unligi), bu kontrast, uyg'unlik yoki ranglarning mos kelmasligi kabi jihatlarni hisobga olishi mumkin.

Rang parametrlarining  $C_i \geq 0$ ,  $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$  bu shart, salbiy emasligi har bir rang parametrining salbiy qiymatlarni qabul qila olmasligini ta'minlaydigan shartdir. Ya'ni, rang parametrlarini yangilashning har bir iteratsiyasida operatsiyani bajarish kerak  $\max(0, -C_i)$  – salbiy shartni buzganlik uchun jarima.

Shuningdek, ranglardan foydalanish ulushini normallashtirish uchun shart belgilanadi:

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1.$$

Ushbu shart fraktal tasvirlarda ranglardan foydalanishning umumiy muvozanatini nazorat qilish imkonini beradi, bu esa har bir rang yakuniy palitrada hissa qo'shishini ta'minlaydi, ammo ularning umumiy ulushi 100% ni tashkil qiladi.

Bizning holatlarimizda chiziqli cheklovlarni qo'llab-quvvatlaydigan genetik algoritim va simpleks usulidan foydalanish taklif qilinganligi sababli, parametrlarni

yangilashning har bir iteratsiyasida ranglardan foydalanish ulushini normallashtirishga rioya qilish uchun  $C$  shaklining jarima funksiyasidan foydalanish mumkin:

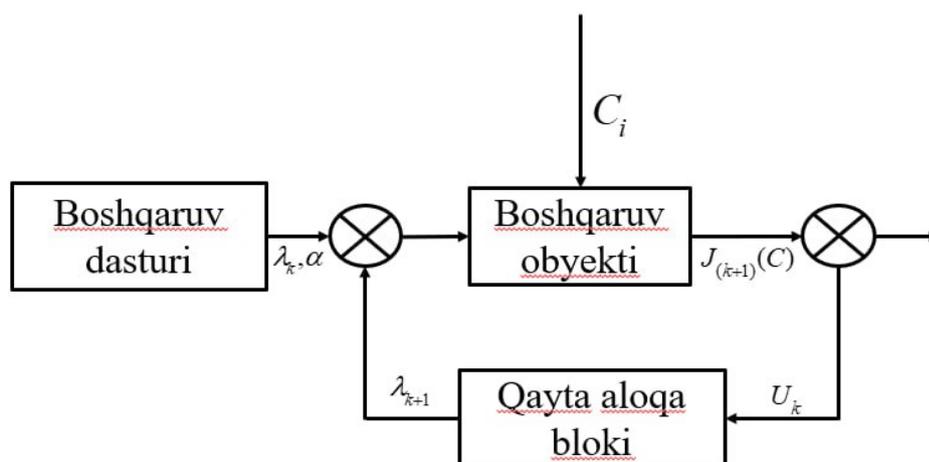
$$J_{k+1}(C) = J_k(C) + \mu_1 \sum_{i=1}^n \max(0, -C_i)^2 + \mu_2 \left( \sum_{i=1}^n C_i - 1 \right)^2,$$

bu yerda  $J_k(C)$  joriy iteratsiyadagi maqsadli funktsiya bunda  $k$ ;  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  - shartlarni buzganlik uchun jarimalar koeffitsientlari.

Koeffitsientlarning qiymatlari  $\mu_1$  va  $\mu_2$  yetarlicha katta bo'lishi kerak, qoida tariqasida, ular vazifaga qarab eksperimental ravishda tanlanadi. Agar salbiy bo'lmagan holat  $\mu_1$  tez-tez buzilsa, parametrlar yig'indisi 1 dan sezilarli darajada farq qilsa, uni  $\mu_2$  ko'paytirish kerak.

Ta'kidlash kerak bo'lgan navbatdagi muhim jihat shundaki, biz foydalanuvchi fikrini hisobga olgan holda fraktal tasvirning rang parametrlarini takroriy tanlash jarayoni sifatida foydalanuvchi fikr-mulohazalari asosida qaror qabul qilish jarayonini rasmiylashtirishni taklif qilamiz.

Foydalanuvchi fikr-mulohazalarini yoqish vazifani (1) dinamik ko'p mezonli qaror qabul qilish vazifasiga aylantiradi, bu yerda foydalanuvchi joriy yechimning sifatini baholashi va keyingi bosqichlarga ta'sir qilishi mumkin.



**1-rasm. Fraktal tasvirlarni sintez qilish uchun rang parametrlarini optimallashtirish jarayonida Foydalanuvchining fikr-mulohazalariga asoslangan qaror qabul qilish jarayonining sxemasi.**

Foydalanuvchining fikr-mulohazalarini maqsad funktsiyaga qo'shimcha omil sifatida kiritish mumkin, bu  $\lambda$  vazn koeffitsientlarini o'zgartiradi va  $(1 - \lambda)$  foydalanuvchining xohishiga qarab. Misol uchun, agar foydalanuvchi tasvir sifatiga ko'proq ahamiyat bersa, vazn  $\lambda$  kamayishi kerak yoki aksincha.

Shunday qilib, birinchi iteratsiyadagi maqsad funktsiyasi  $k$  -quyidagicha bo'ladi:

$$J_k(C) = \lambda_k F(C) + (1 - \lambda_k) Q(C), \quad (2)$$

bunda og'irlik  $\lambda_k$  har bir keyingi iteratsiyadagi og'irlik  $k+1$  foydalanuvchining fikr-mulohazalarini hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$\lambda_{k+1} = \lambda_k + \alpha(U_k - 0,5),$$

bu yerda  $\alpha$  – foydalanuvchining o'rganish koeffitsienti  $U_k$  foydalanuvchi bahosiga qarab  $\lambda$  qanchalik o'zgartirish kerakligini aniqlaydi.

Agar  $U_k > 0,5$  – foydalanuvchi sifatdan mamnun bo'lsa, unda  $\lambda_{k+1}$  kamayadi va tizim sifatga ko'proq e'tibor beradi, xarajatlar qiymatini pasaytiradi. Agar  $U_k < 0,5$  – foydalanuvchi qoniqmasa, unda  $\lambda_{k+1}$  ko'payadi va tizim xarajatlarni kamaytirishga ko'proq e'tibor beradi.

Optimallashtirish masalasini yechishning asosiy g'oyasi (2) genetik algoritmi va simpleks usulining kombinatsiyasidan foydalanishni taklif qilamiz. Bu g'ila ishlab chiqarish xarajatlarini minimallashtirish bilan birga rang parametrlarini sozlashda yuqori aniqlikka erishishga imkon beradi.

Ushbu tahlil shuni ko'rsatdiki, rang parametrlarini optimallashtirish uchun genetik algoritmi bilan ta'minlangan global yechimlarni izlashga simpleks usuli qo'llaniladigan mahalliy joylarda aniqlashtirish kerak.

Dissertatsiyaning ikkinchi bobi «**Rang parametrlarini optimallashtirish va tasniflash uchun rasmlarning fraktal muvofiqligi modellari va algoritmlarini ishlab chiqish**» birinchi bob tahlili natijalariga asoslanib, genetik algoritmi va simpleks usulini birlashtirgan gibrid algoritmi taklif qilindi. Bo'yoq konsentratsiyasi dinamikasini tavsiflash uchun differentsial tenglamalar tizimini joriy etish rang parametrlarini aniq sozlashga yordam beradi. Dinamika modeli tizim tomonidan taqdim etilgan:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = f_i(C_1, C_2, \dots, C_n),$$

bu yerda konsentratsiya  $C_i$  – chi bo'yoq va funktsiya bo'yoqlar orasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olgan holda konsentratsiyadagi o'zgarishlarni tavsiflaydi. Bu yerda  $i$  - boshqa barcha konsentratsiyalar va vaqtni hisobga olgan holda  $f_i(C_1, C_2, \dots, C_n, t)$  – bo'yoq konsentratsiyasining o'zgarishini tavsiflovchi funktsiya;  $t \in [0, T]$  -vaqt.

Ushbu tizim 4-darajali Runge-Kutta usuli bilan hal qilinadi, bu esa echimlarning yuqori aniqligi va barqarorligini ta'minlaydi. Optimal konsentratsiyalarni hisoblab chiqqandan so'ng, gibrid algoritmi yordamida yanada optimallashtirish amalga oshiriladi. Algoritmi bosqichlariga quyidagilar kiradi:

Qadam 1. keyingi avlod uchun eng yaxshi rang parametrlarini tanlash,

Qadam 2. krossover (chatishtirish) va yangi rang kombinatsiyalarini olish uchun mutatsiya,

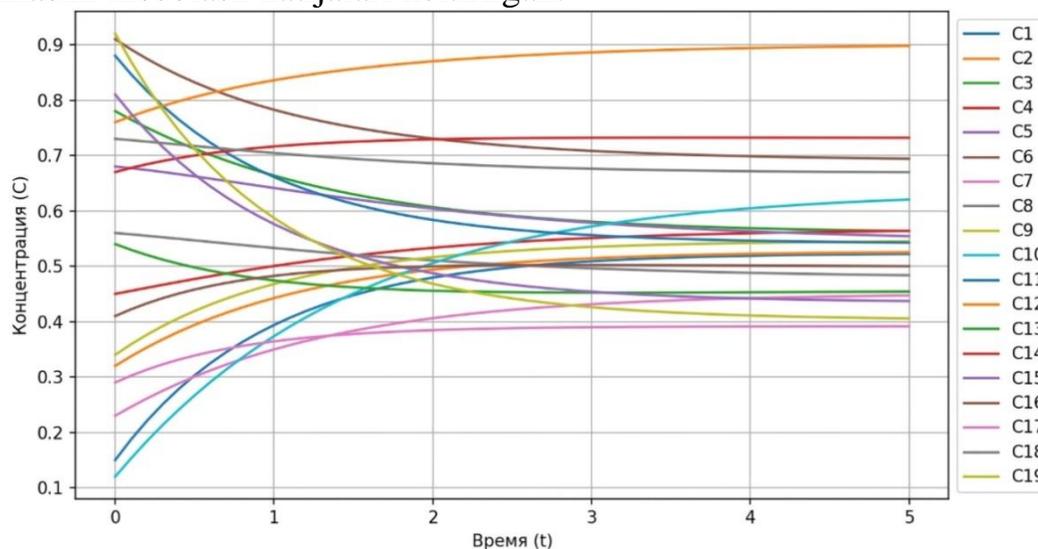
Qadam 3. tanlangan hududda maqsadli funktsiyani aniqlashtirish uchun genetik algoritmdan keyin amalga oshiriladigan mahalliy optimallashtirish uchun.

Gibrid optimallashtirishning yakuniy vazifasi quyidagicha shakllantiriladi:

$$\min_x F(x) \text{ sharoitlarda } \sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0, \forall_i.$$

Ushbu cheklovlar barcha ranglarning ijobiy konsentratsiya qiymatlarini saqlashini va ularning umumiy qiymati ruxsat etilgan chegaradan oshmasligini ta'minlaydi.

2-rasmda 19 ta tabiiy bo'yoq uchun ranglar konsentratsiyasining o'zgarishi dinamikasini hisoblash natijalari keltirilgan.



**2-rasm.  $t = 5$  vaqt bo'yicha ranglar konsentratsiyasining o'zgarishi.**

2-rasmda keltirilgan hisoblash natijalari 2-rasmga aniqliq uchun 1-jadvalda ham aks ettirilgan.

**1-jadval**

**0 dan 1 gacha bo'lgan tasodifiy sonlar bilan dastlabki konsentratsiyalar**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
t=0	0,15	0,96	0,95	0,19	0,81	0,98	0,51	0,13	0,87
t=1	0,03	0,71	0,75	0,03	0,78	0,24	0,12	0,15	0,52
t=2	0,20	0,38	0,66	0,79	0,55	0,31	0,92	0,77	0,4
t=3	0,10	0,44	0,43	0,94	0,32	0,75	0,42	0,45	0,28
t=4	0,46	0,55	0,14	0,21	0,26	0,28	0,9	0,98	0,87
t=5	0,34	0,11	0,37	0,14	0,66	0,18	0,68	0,35	0,97

	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
t=0	0,48	0,61	0,48	0,89	0,53	0,11	0,14	0,43	0,38	0,86
t=1	0,14	0,42	0,93	0,97	0,71	0,25	0,52	0,13	0,86	0,14
t=2	0,43	0,38	0,47	0,54	0,95	0,20	0,10	0,83	0,22	0,88
t=3	0,84	0,54	0,91	0,17	0,27	0,72	0,53	0,05	0,73	0,13
t=4	0,83	0,26	0,74	0,27	0,10	0,70	0,29	0,07	0,08	0,59
t=5	1,00	0,97	0,12	0,06	0,77	0,04	0,16	0,90	0,37	0,36

Shu tarzda olingan turli xil rang intensivligiga ega rang palitralari keyinchalik fraktal tasvirlarni sintez qilishda rang parametrlarini optimallashtirish vazifasi uchun kirish parametrlari sifatida ishlatilishi mumkin.

Dissertatsiyaning uchinchi bobi «**Fraktal tuzilmalarning rang parametrlarini optimallashtirish va tasniflashda rang parametrlarini moslashtirishni hal qilish uchun hisoblash algoritmi**». Fraktal tasvirlarni tasniflash uchun neyron tarmoqlarni qo'llash fraktal tasvirlarni rang parametrlari bo'yicha tasniflashni avtomatlashtirish uchun konvolyutsion neyron tarmoq (CNN) ishlab chiqilgan  $L(y, \hat{y})$ , bo'lib, u yo'qotish funksiyasini quyidagicha minimallashtiradi:

$$L(y, \hat{y}) = -\sum_i y_i \log(\hat{y}_i),$$

bu yerda  $y$  haqiqiy sinflar (issiq, sovuq, qarama — qarshi ranglar) va  $\hat{y}$  -har bir sinf uchun taxmin qilingan ehtimolliklar. CNN bizga iyerarxik xususiyatlarni ajratib ko'rsatishga imkon beradi, buning natijasida tasvir rang turiga qarab tasniflanadi, bu esa uyg'un palitralarni yanada tanlash uchun muhimdir. Tarmoqni o'qitish tarmoqning og'irligini optimallashtiradigan xatolarni teskari tarqatish (backpropagation) usuli bilan amalga oshiriladi. Shundan kelib chiqib, CNN algoritmi gibril usul bilan optimallashtirilgan rang parametrlarini tasniflash orqali 2-bob natijalarini birlashtiradi.

Genetik algoritim va simpleks usulini o'z ichiga olgan gibril optimallashtirish algoritmi asosida qaror qabul qilish algoritmini yaratish uchun quyidagi qadamlar qo'llaniladi:

Dissertatsiyaning uchinchi bobiga asoslanib, qaror qabul qilish vazifasini berilgan cheklovlarni hisobga olgan holda (bo'yoq narxi, mijozning afzalliklari, gilam o'lchami va boshqalar) xarajatlarni minimallashtirish va vizual xususiyatlarni maksimal darajada oshirish uchun fraktal tasvirlarning optimal rang parametrlarini tanlash jarayoni sifatida tavsiflash mumkin.

Qadam 1. Ushbu bosqichda maqsadli funktsiya parametrlari  $\lambda$ , shu jumladan  $F(C)$  harajat va  $Q(C)$  sifat og'irlik koeffitsientlari o'rnatiladi. Og'irliklar uchun boshlang'ich qiymatlar ham belgilanadi.

Qadam 2. Maqsadli funktsiya foydalanuvchi afzalliklarini hisobga olgan holda sozlanishi:

$$J(C) = \lambda F(C) + (1 - \lambda)Q(C)$$

bu yerda:

$F(C)$  - harajat funktsiya,

$Q(C)$  - sifat funktsiya,

Qadam 3. Har bir iteratsiyadan so'ng foydalanuvchi natijani baholashi mumkin va algoritim teskari aloqani hisobga olgan holda koeffitsientlarni yangilaydi.

Qadam 4. Yangilangan maqsad funktsiyasi va fikr-mulohazalarni hisobga olgan holda, foydalanuvchi afzalliklari fraktal tasvirlar uchun optimal qiymatlarni

avtomatik ravishda tanlash imkonini beruvchi rang parametrlarining yakuniy tanlovining bir qismiga aylanadi.

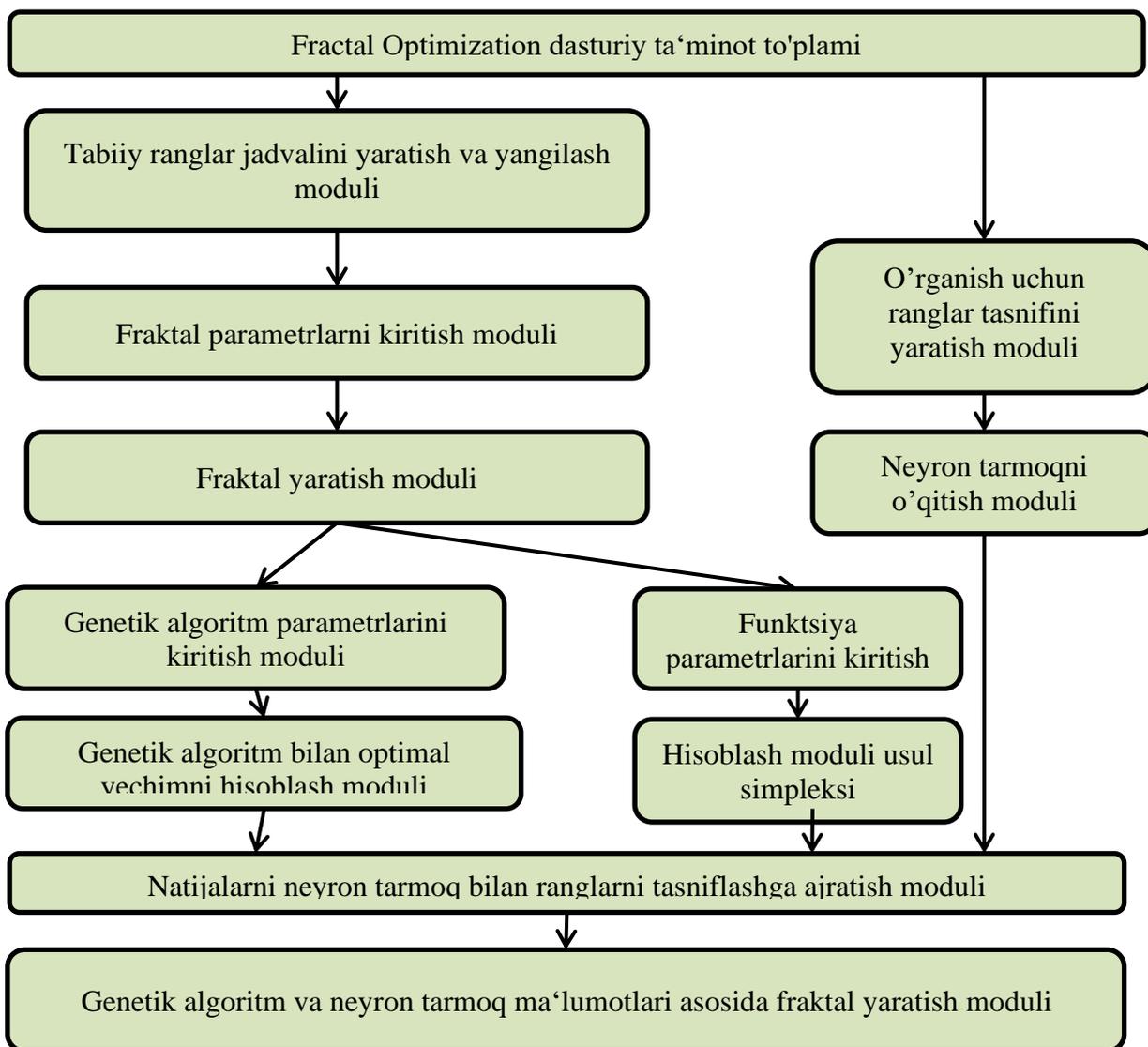
Qadam 5. Maxsus imtiyozlarga asoslangan maqsadli funktsiya og'irliklarini moslashtirish.

Qadam 6. Yangilangan parametrlarni hisobga olgan holda yakuniy qaror qabul qilish.

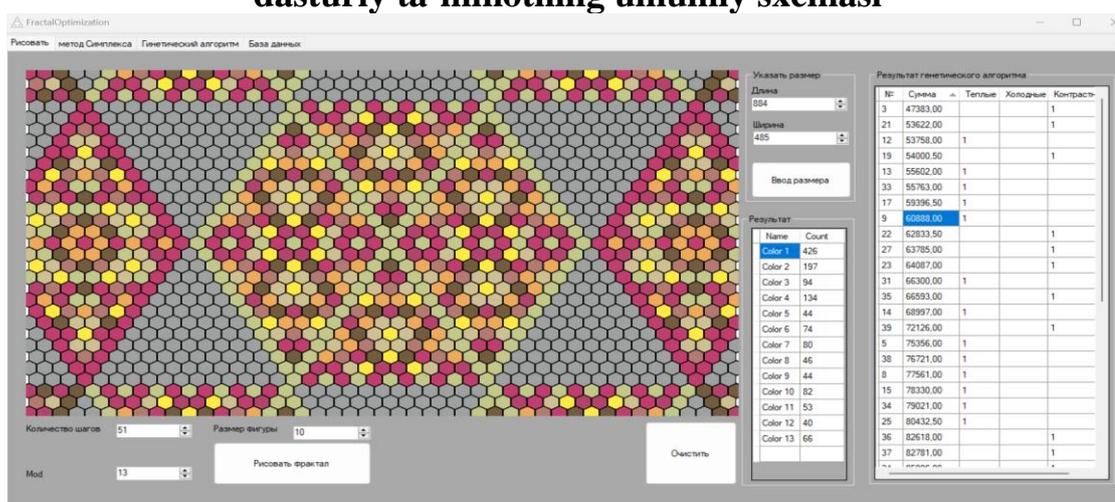
To'rtinchi bob «**Fraktal tuzilishning murakkab obyektlarining rang parametrlari va vizualizatsiyasi bo'yicha avtomatlashtirilgan optimallashtirish tizimi**» gibril optimallashtirish algoritmi va tasniflash usuli birlashtirilgan avtomatlashtirilgan dasturiy ta'minot to'plamini ishlab chiqishga bag'ishlangan. Tizim foydalanuvchi afzalliklarini hisobga olgan holda rang parametrlarini avtomatik tanlash imkoniyatini beradi. Rang parametrlarini tanlash algoritmi endi fikr-mulohazalarni hisobga oladi va foydalanuvchidan yangi kirishlarni kuzatib, sozlashni amalga oshiradi.

Fraktal tasvirlarning rang parametrlarini avtomatlashtirilgan qayta ishlash uchun mo'ljallangan dasturiy ta'minot to'plami tasvirlangan. Rang parametrlarini tasniflash va optimallashtirish tizimining eksperimental natijalari keltirilgan.

Dastur interfeysi 4 qismga bo'lingan. Eksperimental tadqiqotlar ishlab chiqilgan yondashuvlar, modellar va parametrlarni optimallashtirish algoritmlari va fraktal tasvir sintezlari asosida o'tkazildi. Genetik algoritim noyob dekorativ elementlar va bino jabhalarini yaratish uchun mo'ljallangan tasvirlarni optimallashtirdi. Usul nafaqat rang parametrlari bilan cheklanib qolmasdan, fraktal naqshlar va tuzilmalarni yaratishga imkon beradi. Obyektlar jabhalar, to'siqlar, vitrajlar va boshqalar kabi turli xil me'moriy elementlar bo'lishi mumkin.



**3-rasm. Genetik algoritmlar yordamida fraktal tasvirlarni sintez qilish uchun dasturiy ta'minotning umumiy sxemasi**



**4-rasm. Fraktal tasvirlarni sintez qilish uchun dasturiy ta'minotning umumiy**

Dastur interfeysini 4 qismga ajratdik.

Birinchi yorliqda fraktal tasvirlarni chizish uchun asosiy komponentlar mavjud. (3-rasm). Pastki uchta maydon asosiy parametrlarni kiritish uchun

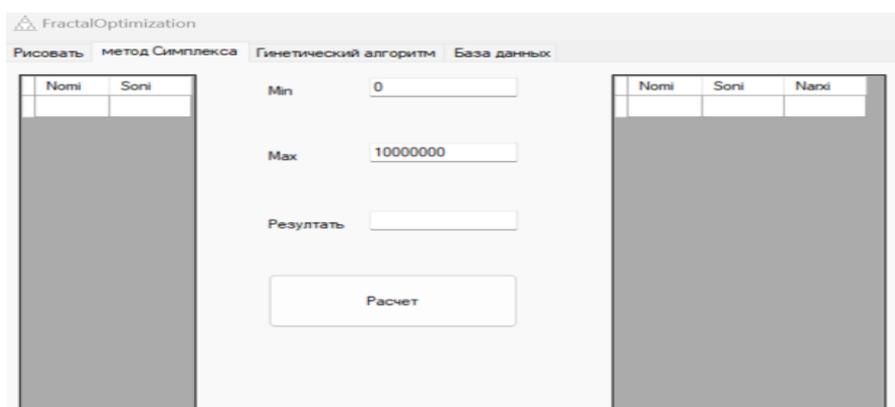
mo'ljallangan: qadamlar soni, shakl hajmi va fraktal tasvirni chizish uchun ranglar soni. O'ng oynada siz gilamning o'lchamini, hisoblangan raqamlarning natijasini ko'rsatishingiz mumkin. Derazadan genetik algoritmnining natijasi istalgan satrni bosish orqali asosiy oynada fraktal rasmning rasmini olish mumkin. Shuningdek, siz narx yoki ranglarni tasniflash bo'yicha saralashingiz mumkin.

Ikkinchi yorliqda biz simplex usulini joylashtirdik. (4-rasm). Uchun simplex usuli boshqarish uchun 2 ta qo'shimcha parametr qo'shildi, maksimal va minimal. Ushbu yorliqdan faqat birinchi yorliqda fraktal tasvirni chizganimizdan va hisoblash uchun ma'lumotlarni olganimizdan keyin foydalanish mumkin. Ushbu optimallashtirish muammosini hal qilish uchun simplex usulidan foydalanib, biz quyidagi natijalarga erishamiz:

$$x_1 = 85.00; \quad x_2 = 78; \quad x_3 = 11.00;$$

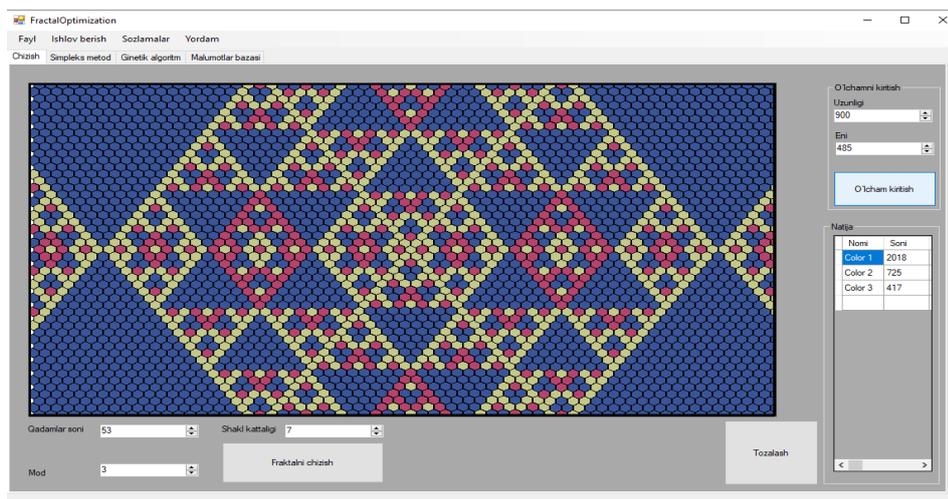
$$F(x_1, x_2, x_3) = 22,695.$$

Gilam uchun ishlatgan bo'yoqlarning narxi, agar u  $x_1 = 85.00y.e.$ ;  $x_2 = 78.00y.e.$ ;  $x_3 = 11.00y.e.$ ;  $x_4 = 50.00y.e.$ ;  $x_5 = 40.00y.e.$  teng bo'lsa gilam ishlab chiqarishning umumiy xarajatlari  $F = 65,655.00y.e.$  ga teng.



**5-rasm. Simpleks usuli bilan hisoblash tajribasi**

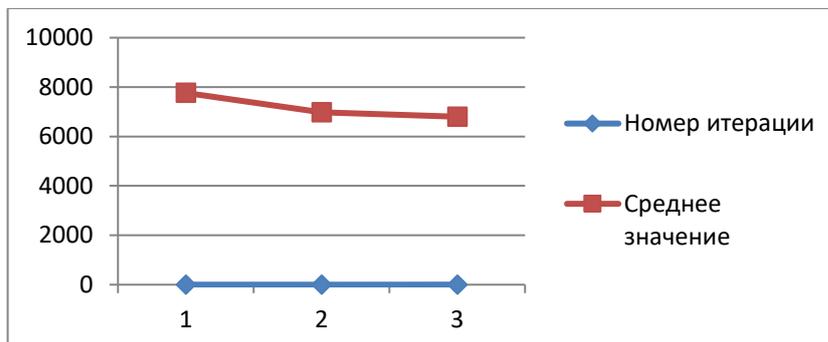
Uchinchi yorliqda biz "genetik algoritm" optimallashtirish usulini joylashtirdik. Biz boshqarish uchun ikkita parametрни joylashtirdik: ma'lumotlar soni, genetik algoritm uchun tsikllar soni. Genetik algoritmni hisoblab chiqqandan so'ng olingan natija o'ng burchakdagi birinchi va uchinchi yorliqda ko'rsatiladi. Shuningdek, ushbu natija oynasida biz sun'iy intellekt natijasini qo'shdik.



**6- rasm. Genetik algoritmni bilan hisoblash tajribasi**

Iteratsiya nomeri	O'rtacha qiymati	$\gamma$
1	7764	0
2	6977,25	786,75
3	6801	176,25

**7- rasm. Fitness funksiyasining o'rtacha qiymatlari soni**

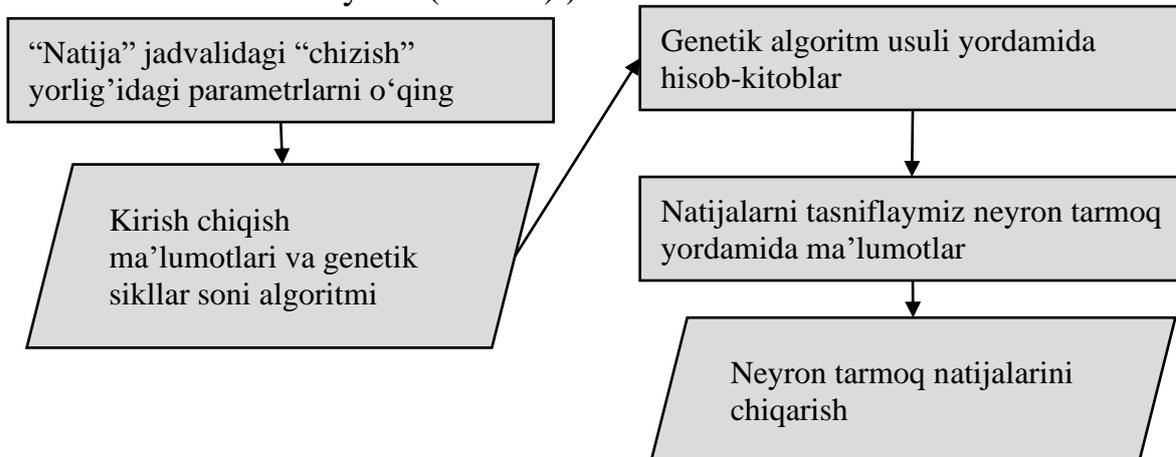


**8-rasm. Funktsiyaning o'rtacha qiymati grafigi**

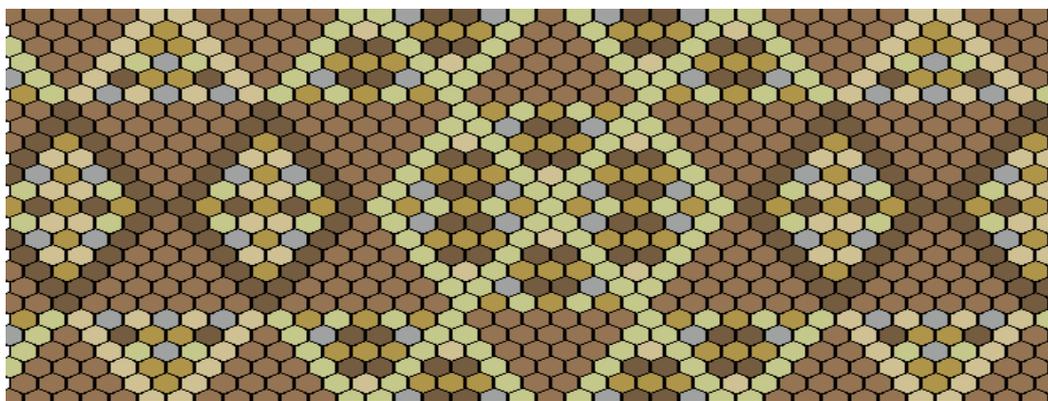
№	Среднее	Теплые	Холодные	Контрастные
1	95445.00			1
3	47383.00			1
6	127910.00			1
7	93298.00			1
11	90564.00			1
18	98623.00			1
19	54000.50			1
21	83622.00			1
22	62833.50			1
23	64087.00			1
24	85006.00			1
27	63795.00			1
30	116662.50			1
32	86233.00			1
35	66593.00			1
36	82618.00			1
37	82781.00			1
39	72126.00			1
40	102289.00			1
2	97243.00	1		
4	94026.00	1		
5	79286.00	1		
8	77961.00	1		
9	60888.00	1		

**9- rasm. Genetik algoritmni qo'llash bilan hisoblash tajribasi**

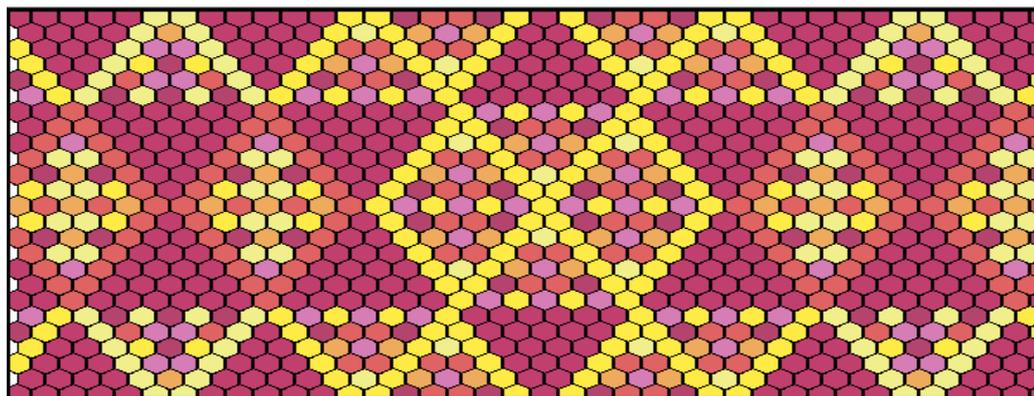
“Hisoblash” tugmachasini bosish bilan hisoblash algoritmi paydo bo‘ladi va biz birinchi yorliqdagi ma’lumotlarga ko‘ra neyron tarmoq yordamida olingan ma’lumotlarni tasniflaymiz (9-rasm.):



**10-rasm. Algoritm genetik algoritm yorlig’i**



**11 -rasm. Paskal uchburchagining sovuq ranglari kombinatsiyasi**



**12-rasm. Paskal uchburchagining issiq ranglari kombinatsiyasi**

Fraktal tuzilmalarning rang parametrlarini optimallashtirish va sintez qilish imkonini beradigan bir nechta hisoblash tajribalari o‘tkazildi. Buning uchun fraktal tasvirdagi (Paskal uchburchagi) ranglarning kombinatsiyasidan bir nechta variant tanlangan. Shuning uchun, ma’lum o‘lchamdagi gilam mahsulotlarini ishlab chiqarishda eng kam xarajat va maksimal foyda bilan amalga oshirilishi mumkin

bo'lgan bo'yoqlarning maqbul to'plamini tanlash uchun matematik dasturlash usullaridan foydalanish tavsiya etiladi.

## XULOSA

**«Fraktal tasvirlarni sintez qilish algoritmlari» mavzusidagi dissertatsiya tadqiqotlari natijalariga ko'ra** mavzusidagi dissertatsiya ishi doirasida quyidagi asosiy natijalar olindi:

1. Fraktal tasvir sintezining optimallashtirish masalalarini, xususan, fraktal tasvirlarning rang parametrlarini tasniflash va optimallashtirish usullarini va algoritmlarini tahlil qilish natijasida optimallashtirish masalasini maqsad funksiyasini minimallashtirish sifatida tavsiflash mumkinligi aniqlandi. Bu ikki komponentning vaznli yig'indisi: xarajat funksiyasi va sifat funksiyasi.

2. Joriy yechim sifatini baholash va tavsiyalarni shakllantirish uchun foydalanuvchi fikrini hisobga olgan holda fraktal tasvirning rang parametrlarini takroriy tanlash jarayoni sifatida foydalanuvchining fikr-mulohazalari asosida qaror qabul qilishni rasmiylashtirishga yondashuv taklif etildi.

3. To'qimachilik bo'yoqlari ishlab chiqarishda ranglarning konsentratsiyasi (to'yinganligi) dinamikasining matematik modeli ishlab chiqilgan bo'lib, uning raqamli yechimi Runge-Kutta usuli yordamida kerakli ranglarning optimal qiymatlari va ularning konsentratsiyasi aniqlangan. olingan.

4. Kompyuter grafikasi fazosida ikki o'lchovli geometrik o'zgartirishlar yordamida fraktal strukturaning murakkab tasvirlarini optimallashtirishning simpleks usuli asosida gilam mahsulotlari uchun fraktal shakldagi zamonaviy naqshlarni shakllantirishni avtomatlashtirish imkonini beruvchi algoritmi ishlab chiqilgan.

5. Simpleks usuli va genetik algoritmi kombinatsiyasi asosida fraktal tasvirlarning rang parametrlarini optimallashtirishning gibridd algoritmi ishlab chiqildi, algoritmni amalga oshirish natijalari ishlab chiqarishni ko'paytirish va mehnat xarajatlarini 10 -15% ga kamaytirish imkonini berdi;

6. O'ramli neyrotarmoqarxitekturasi asosida gilam sifati, dekorativligi va mijozlar ehtiyojini qondirish darajasini oshirish uchun chuqur o'rganish modeli va Ittenning rang nazariyasi bo'yicha fraktal tasvirlarni tasniflash algoritmi ishlab chiqilgan.

7. Ishlab chiqilgan algoritmlar asosida fraktal-strukturaviy obyektlarni vizualizatsiya qilish uchun dasturiy vosita yaratildi, bu binolarni qurish, ichki va tashqi bezatish, xonalarni bezash va loyihalashda mahsulotlarning rangi va naqshini tanlashni avtomatlashtirish, gilam mahsulotlari naqshlarining dizaynini yaratishga imkon beradi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2021.Т.142.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ  
ИНСТИТУТЕ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

---

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

**ТАСТАНОВА САИДА АЛДИЯРОВНА**

**АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА ФРАКТАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

05.01.02-Системный анализ, управление и обработка информации

**ДОКТОР ФИЛОСОФИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ (PhD)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**

**Ташкент – 2024**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрировано в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером В2023.4.PhD/Т4345.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Автореферат диссертации на трех языках (на узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.airi.uz](http://www.airi.uz)) и на Информационно-образовательном портале "ZiyoNet" ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) размещены.

**Научный руководитель:**

**Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Алоев Рахматилло Джураевич**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Нурмаматов Мехриддин Кахрамонович**  
доктор философии по техническим наукам (PhD)

**Ведущая организация:**

**Нукусский филиал Ташкентского университета  
информационных технологий имени Мухаммада  
аль-Хорезми**

Защита диссертации состоится «20» декабря 2024 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.13/30.12.2021.T.142.01 при Научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта (Адрес: 100125, г.Ташкент, М. Улугбекский район, Буз-2, дом 17А. Тел.: (99871) 263-41-98, e-mail: [info@airi.uz](mailto:info@airi.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и искусственного интеллекта (регистрационный номер № 49). ((Адрес: 100125, г.Ташкент, М. Улугбекский район, Буз-2, дом 17 А. Тел.: (99871) 263-41-98).

Автореферат диссертации разослан «08» декабря 2024 года.  
(протокол рассылки № 18 от «03» декабря г.)



**Н. Равшанов**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

**З.Р. Рахронов**  
ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
доктор физико-математических наук, доцент

**Л.Ф. Сулюкова**  
Председатель научного совета при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, старший научный  
сотрудник

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире уделяется значительное внимание исследованию теоретических и прикладных аспектов теории фракталов, а также методов описания природных процессов и явлений с использованием идей теории фракталов. Интерес к данному научному направлению во многом обуславливается высокой практической значимостью компьютерной графики на основе простых самоподобных множеств и сложных фрактальных структур для нужд легкой промышленности и сферы художественного творчества. Инновационные методы дизайна, основанные на применении развитого математического аппарата синтеза фрактальных изображений и оптимизации их параметров по различным критериям, в частности становятся все более популярными в текстильной индустрии.

Во всём мире проводятся целевые исследования по разработке алгоритмов решения задач оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений на основе детерминированных, стохастических и эвристических методов. Результаты этих исследований направлены как на развитие теории фракталов, так и на усовершенствование технологий компьютерной графики, позволяющих автоматизировать решение задач цветового и геометрического дизайна, в том числе путем широкого применения возможностей нейронных сетей.

В Республике Узбекистан также осуществляются научные изыскания, связанные с изучением проблем оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений, отличающихся сложностью форм узоров. При этом, не ослабевают усилия, направленные на поддержку дальнейших широкомасштабных научно-исследовательских работ в этой области. Так, в Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отмечен ряд задач, в частности «...увеличение объемов производства строительных материалов в два раза, увеличение объемов производства продукции текстильной промышленности в два раза, широкое внедрение программ повышения производительности труда в отраслях промышленности...<sup>1</sup>». Успешное выполнение указанных задач определяет востребованность дальнейшего развития математических моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для синтеза и оптимизации параметров фрактальных изображений, направленных на автоматизацию решения практических задач в текстильной и строительной промышленности, а также в сфере искусства.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан № УП - 60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № УП - 5140 от 8 июня 2021 года «О мерах

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

по дальнейшему совершенствованию системы подготовки кадров по рабочим профессиям», Постановлениями Президента Республики Узбекистан № ПФ - 4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии Действий дальнейшего развития Республики Узбекистан» и № ПФ - 5349 от 19 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Вопросам развития методологии математического моделирования, а также автоматической оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений посвящены работы таких зарубежных ученых как А.А. Андросов, А.Н. Ткачев, А.И. Новиков, А.Ю. Солдатов, И.Л. Акулич, Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский, А.В. Кузнецов, В.А. Сакович, Н.И. Холод, Д.Е. Голдберг. Указанными авторами к настоящему времени уже получены значительные результаты теоретического и прикладного характера, в частности: разработан метод оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений в экстерьерном и интерьерном дизайне для стройиндустрии, разработана методика оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений с использованием генетических алгоритмов, разработаны модели и алгоритмы оптимизации цветовой и геометрических параметров при синтезе сложных фрактальных структур на основе технологий глубокого обучения и эвристических методов.

В Узбекистане огромный научный вклад в направлениях теории фракталов, исследования задач математического программирования и численных методов их решения, а также разработки систем оптимального управления, внесли такие выдающиеся ученые как Б.А. Бондаренко, М.М. Камилов, Т.Ф. Бекмуратов, Ф.Б. Абуталиев, Х.З. Игамбердиев, О.М. Набиев, Э.М. Алиев, Ш.Х. Фазылов, М.А. Исмаилов, Р.Х. Хамдамов, Д.Т. Мухаммадиева, О.К. Хатамов, О.Ж. Бабомуродов, Б. Муминов, Н.С. Маматов и других отечественные исследователи.

Из анализа многочисленных научных работ можно сделать вывод о том, что актуальные проблемы разработки математических моделей и алгоритмов оптимизации и классификации цветов изображений со сложной фрактальной структурой, а также синтеза фрактальных изображений при сохранении баланса между художественным и эстетическим качеством фрактальных изображений с одной стороны и денежной стоимостью готовой продукции, изготовленной с их использованием, с другой стороны, все еще недостаточно изучены.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проекта: П-4721071198 «Создание национальной виртуальной университетской системы информационных технологий на основе 3D-технологий» (2021-2023).

**Целью исследования является** разработка алгоритмов синтеза фрактальных изображений с оптимизацией цветовых параметров для применения в текстильной промышленности.

**Задачи исследования:**

разработка математической модели динамики изменения концентраций (насыщенности) красок при производстве красителей;

разработка алгоритма оптимизации по цвету сложных фрактальных структур на основе симплекс-метода;

разработка критериев оценки результатов оптимизации и алгоритм синтеза цветовых параметров фрактальных изображений на базе симплекс метода;

разработка гибридного алгоритма оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений на основе комбинации симплекс-метода и генетического алгоритма;

разработка модели глубокого обучения для классификации фрактальных структур по цветовым признакам с использованием архитектуры сверточной нейронной сети;

разработка программного обеспечения для реализации алгоритмов синтеза сложных фрактальных изображений, оптимизированных по цвету и стоимости при производстве текстиля и ковровых изделий.

**Объектом исследования является** процесс генерации цветных двумерных изображений со сложной фрактальной структурой при производстве текстиля и ковровой продукции.

**Предметом исследования являются** методы, модели и алгоритмы оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений, когда критерий оптимальности выражается в виде экономической оценки (эстетическая ценность, себестоимость продукции).

**Методы исследования.** В ходе исследования применялись методы математического программирования, методы решения задач оптимизации, симплекс-метод, эвристические методы, методы машинного обучения, а также технологии объектно-ориентированного программирования для разработки программных продуктов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана математическая модель динамики концентрации (насыщенности) цветов при изготовлении текстильных красок;

разработаны алгоритмы оценки результатов оптимизации и синтеза цветковых параметров фрактальных изображений на базе симплекс метода;

разработан гибридный алгоритм оптимизации цветковых и стоимостных параметров фрактальных изображений на основе комбинации симплекс-метода и генетического алгоритма;

разработаны модель глубокого обучения и алгоритм классификации фрактальных изображений с использованием теории цвета Иттена на основе архитектуры сверточной нейронной сети.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработан программный продукт для автоматизации задач синтеза сложных фрактальных изображений, оптимизированных по цвету и стоимости при производстве текстиля и ковровых изделий;

с помощью разработанного программного комплекса на объектах внедрения были проведены расчеты, позволяющие сбалансировать качество, эстетический вид и стоимость производства ковровых изделий.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается путем сопоставления результатов, полученных в ходе вычислительных экспериментов с реальными данными объектов строительной индустрии, текстильной промышленности и коврового производства, а также с результатами, полученными в работах других авторов по задачам оптимизации цветковых параметров фрактальных изображений.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что они вносят определенный вклад в развитие методов математического программирования, и в частности, классификации и оптимизации цветковых параметров фрактальных изображений, а также синтеза фрактальных изображений со сложной структурой.

Практическая значимость результатов исследования объясняется применением разработанного математического и программного обеспечения в экстерьерном и интерьерном дизайне и производственных процессах объектов стройиндустрии и текстильной промышленности с достижением определенного экономического эффекта.

**Внедрение результатов исследования.** На основе применения математического обеспечения и программного комплекса для автоматизации синтеза фрактальных изображений:

алгоритм расчета и программный комплекс для автоматизации синтеза фрактальных изображений внедрены в деятельности ООО «VI Group» (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33 - 8 / 3297 от 20 мая 2024 года). В результате обеспечена возможность оптимизации параметров фрактальных изображений при создании декоративных элементов и фасадов в ходе архитектурного проектирования зданий и сооружений;

алгоритм расчета и программный комплекс для автоматизации синтеза фрактальных изображений внедрены в деятельности ООО «УЧДАВР»

(Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33 - 8 / 3297 от 20 мая 2024 года). В результате обеспечена возможность оптимизации генерируемых фрактальных изображений по цветовым параметрам при создании элементов экстерьера и интерьера трехмерного окружения системы Национального виртуального университета, а также улучшения восприятия образовательного контента в процессе обучения.

на основе архитектуры сверточной нейронной сети была создана классификация фрактальных изображений согласно теории цвета Иттена с использованием модели и алгоритма глубокого обучения «Оптимизация цветовых параметров при проектировании ковров с использованием многослойных фрактальных структур» внедрено в производственном процессе ООО «SAM HOME TEX» (Справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 33 - 8 / 3297 от 20 мая 2024 года). В результате обеспечена возможность автоматизации решения задачи синтеза фрактальных изображений, оптимизированных по критериям эстетического восприятия и себестоимости производства текстиля и ковровой продукции. Тем самым достигнуто увеличение производительность на 10% и снижение трудоемкости работы графических дизайнеров при многократной генерации различных вариантов фрактальных узоров.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 7 международных и 3 республиканских научных конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 22 научных работ, из которых 10 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 4 в зарубежных и 6 в республиканских журналах, а также получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 103 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Определены цели и задачи исследования, а также указаны объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Состояние проблем развития методов решения оптимизационных задач в контексте синтеза фрактальных изображений**» проведен детальный анализ существующих методов

оптимизации цветовых параметров, включая линейные и нелинейные подходы. Целью является нахождение оптимального значения целевой функции  $F(x)$ , которая учитывает эстетическое качество и себестоимость красок. Задачу оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений для ковровой промышленности можно сформулировать следующим образом. Пусть необходимо оптимизировать набор цветовых параметров

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\},$$

где  $C_i$  – интенсивность или доля использования каждого цвета в палитре, например HSV, с последующей целью синтеза фрактальных узоров, которые будут использоваться в дизайне ковров.

Цель оптимизации заключается в нахождении баланса между двумя противоречивыми требованиями: 1) минимизация затрат на производство ковров с учётом стоимости используемых красок и 2) максимизация качества фрактальных узоров с точки зрения визуальной эстетики и восприятия.

То есть, задачу оптимизации можно описать как минимизацию целевой функции, являющейся взвешенной суммой двух компонент: функции затрат и функции качества.

Тогда, выражение целевой функции имеет следующий вид:

$$J(C) = \lambda F(C) + (1 - \lambda)Q(C), \quad (1)$$

где  $J(C)$  – целевая функция оптимизации;  $F(C)$  – функции затрат, представляющая собой стоимость материалов для каждого используемого цвета;  $Q(C)$  – функции качества, оценивающая визуальную привлекательность фрактального узора на основе цветовой схемы  $C$ ;  $\lambda \in [0, 1]$  – коэффициент, определяющий баланс между затратами и качеством.

Отметим, что коэффициент  $\lambda$ , определяющий баланс между затратами и качеством позволяет гибко управлять приоритетами в задаче оптимизации. Так, если значение коэффициента  $0,5 < \lambda < 1$ , то основной акцент делается на минимизацию затрат, что может привести к выбору более дешёвых красок, даже если это ухудшит качество узора. Напротив, когда  $0 < \lambda < 0,5$ , большее внимание уделяется качеству, что может увеличить затраты на производство. При  $\lambda = 1$  – минимизация затрат становится приоритетом, а качество узора практически не учитывается, а при  $\lambda = 0$  – основной приоритет отдается качеству изображения, при этом стоимость красок и материалов не учитывается.

Функция затрат  $F(C)$  описывает стоимость каждого цвета, который используется в узоре, то есть цену за единицу текстильной краски для каждого цвета и долю использования данного цвета в общей палитре:

$$F(C) = \sum_{i=1}^n p_i C_i,$$

где  $p_i$  – цена за единицу краски для цвета  $i$ ;  $C_i$  – доля использования цвета  $i$  во фрактальном узоре;  $n$  – количество цветов в палитре.

В данном случае, функция затрат является довольно простой, прямо пропорциональной количеству используемой краски и её стоимости. Чем больше доля дорогих цветов, тем выше затраты на производство. Функция качества оценивает эстетическую ценность изображения на основе выбранных цветов и их взаимодействий:

$$Q(C) = \sum_{i=1}^n q_i(C_i) + \sum_{i,j=1,i \neq j}^n r_{ij}(C_i, C_j),$$

и состоит из двух частей:  $q_i(C_i)$  – функция, описывающая вклад  $i$ -го цвета в визуальное восприятие узора;  $r_{ij}(C_i, C_j)$  – дополнительный вклад от взаимодействия между  $i$ -м и  $j$ -м цветами (визуальная гармония фрактального изображения), который может учитывать такие аспекты, как контрастность, гармония или несовместимость цветов.

Неотрицательность параметров цвета  $C_i \geq 0, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$  является условием, гарантирующим, что каждый параметр цвета не может принимать отрицательные значения. То есть на каждой итерации обновления цветковых параметров необходимо выполнять операцию  $\max(0, -C_i)$  – штраф за нарушение условия неотрицательности.

Также задается условие для нормализации долей использования цветов:

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1.$$

Это условие позволяет контролировать общий баланс использования цветов во фрактальных изображениях, обеспечивая то, что каждый цвет вносит свой вклад в итоговую палитру, но их суммарная доля составляет 100%.

Так как в нашем случае предлагается использование генетического алгоритма и симплекс-метода, поддерживающих линейные ограничения, то для соблюдения нормализации долей использования цветов на каждой итерации обновления параметров  $C$  можно применить штрафную функцию вида:

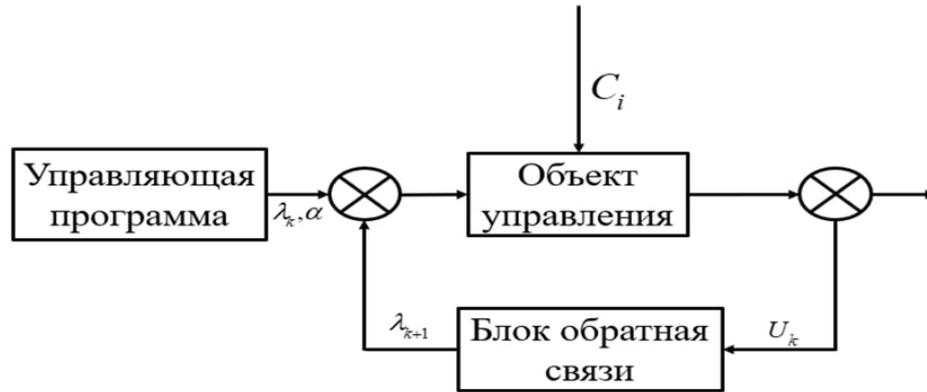
$$J_{k+1}(C) = J_k(C) + \mu_1 \sum_{i=1}^n \max(0, -C_i)^2 + \mu_2 \left( \sum_{i=1}^n C_i - 1 \right)^2,$$

где  $J_k(C)$  – целевая функция на текущей итерации  $k$ ;  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты штрафов за нарушение условий.

Значения коэффициентов  $\mu_1$  и  $\mu_2$  должны быть достаточно большими, как правило, они подбираются экспериментально в зависимости от задачи. Если условие неотрицательности нарушается часто, можно увеличить  $\mu_1$ , если сумма параметров существенно отличается от 1, стоит увеличить  $\mu_2$ .

Следующий важный момент, который следует отметить это то, что нами предлагается формализовать процесс принятия решений на основе обратной связи от пользователя как процесс итеративного подбора цветковых параметров фрактального изображения с учётом мнения пользователя.

Включение обратной связи от пользователя превращает задачу (1) в динамическую многокритериальную задачу принятия решений, где пользователь может оценивать качество текущего решения и влиять на следующие шаги (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема процесса принятия решений на основе обратной связи от пользователя в ходе оптимизации цветовых параметров для синтеза фрактальных изображений.**

Обратная связь от пользователя может быть введена как дополнительный фактор в целевую функцию, который будет изменять весовые коэффициенты  $\lambda$  и  $(1-\lambda)$  в зависимости от предпочтений пользователя. Например, если пользователь придаёт большее значение качеству изображения, вес  $\lambda$  должен уменьшаться, и наоборот.

Таким образом, целевая функция на  $k$ -й итерации будет иметь вид:

$$J_k(C) = \lambda_k F(C) + (1 - \lambda_k) Q(C), \quad (2)$$

где вес  $\lambda_k$  на каждой последующей итерации  $k+1$  определяется с учётом обратной связи пользователя:

$$\lambda_{k+1} = \lambda_k + \alpha(U_k - 0,5),$$

где  $\alpha$  – коэффициент обучения, который определяет, насколько сильно нужно изменять  $\lambda$  в зависимости от оценки пользователя  $U_k$ .

Когда  $U_k > 0,5$  – пользователь доволен качеством, то  $\lambda_{k+1}$  уменьшается, и система будет больше уделять внимания качеству, уменьшая значение затрат. Если же  $U_k < 0,5$  – пользователь неудовлетворён, тогда  $\lambda_{k+1}$  увеличивается, и система больше внимания уделяет снижению затрат.

Основная идея для решения задачи оптимизации (2) состоит в том, что нами предлагается использовать комбинацию генетического алгоритма и симплекс-метода. Что потенциально позволяет достичь высокой точности в настройке цветовых параметров, одновременно минимизируя затраты на ковровое производство.

Этот анализ показал, что оптимизация цветовых параметров требует поиска глобальных решений, которые обеспечиваются генетический алгоритм, и уточнения на локальных участках, для чего используется симплекс-метод.

Вторая глава диссертации «**Разработка моделей и алгоритмов фрактального соответствия изображений для оптимизации и классификации цветовых параметров**» опираясь на результаты анализа первой главы, предложен гибридный алгоритм, комбинирующий генетический алгоритм и симплекс-метод. Введение системы дифференциальных уравнений для описания динамики концентрации красок помогает достичь точной настройки цветовых параметров. Модель динамики представлена системой:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = f_i(C_1, C_2, \dots, C_n),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -й краски, а функция  $f_i$  описывает изменения концентрации с учетом взаимодействия между красителями. где  $f_i(C_1, C_2, \dots, C_n, t)$  – функция, описывающая изменение концентрации  $i$ -ой краски с учётом всех остальных концентраций и времени;  $t \in [0, T]$  – время.

Эта система решается методом Рунге-Кутты 4-го порядка, что обеспечивает высокую точность и устойчивость решений. После вычисления оптимальных концентраций проводится дальнейшая оптимизация с использованием гибридного алгоритма. Этапы алгоритма включают:

Шаг 1. отбор лучших цветовых параметров для следующего поколения,

Шаг 2. кроссовер (скрещивание) и мутацию для получения новых комбинаций цветов,

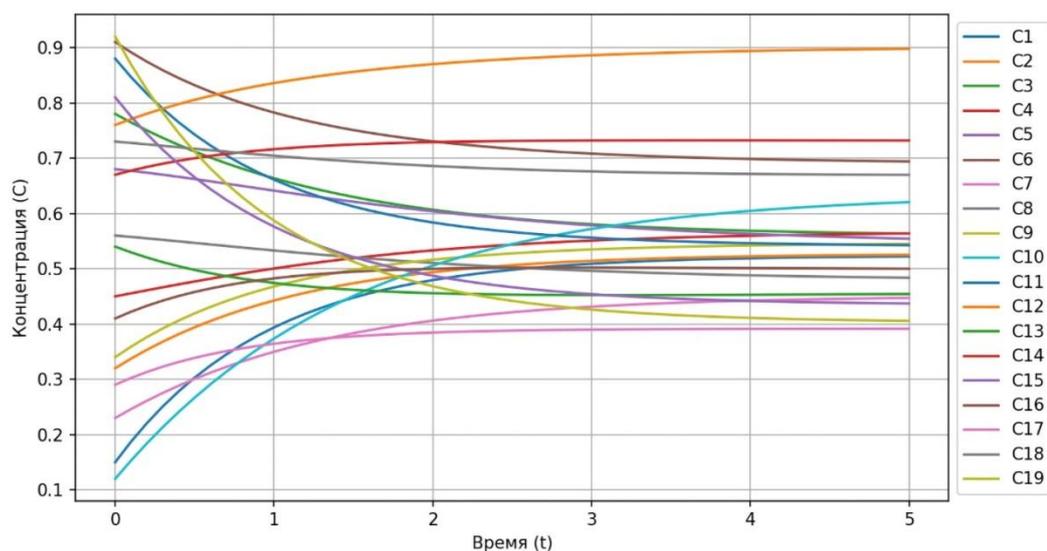
Шаг 3. для локальной оптимизации, которая выполняется после генетического алгоритма для уточнения целевой функции на выбранном участке.

Итоговая задача гибридной оптимизации формулируется следующим образом:

$$\min_x F(x) \text{ при условиях } \sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0, \forall_i.$$

Эти ограничения гарантируют, что все цвета сохраняют положительные значения концентраций и их суммарное значение не превышает допустимый предел.

На рисунке 2 приведены результаты расчета динамики изменения концентрации цветов для 19 натуральных красок.



**Рисунок 2. Изменение концентрации цветов по времени при  $t = 5$ .**

Результаты расчета, приведенные на рис. 1 для наглядности также отражены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Начальные концентрации случайными числами в диапазоне от 0 до 1.**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
t=0	0,15	0,96	0,95	0,19	0,81	0,98	0,51	0,13	0,87
t=1	0,03	0,71	0,75	0,03	0,78	0,24	0,12	0,15	0,52
t=2	0,20	0,38	0,66	0,79	0,55	0,31	0,92	0,77	0,4
t=3	0,10	0,44	0,43	0,94	0,32	0,75	0,42	0,45	0,28
t=4	0,46	0,55	0,14	0,21	0,26	0,28	0,9	0,98	0,87
t=5	0,34	0,11	0,37	0,14	0,66	0,18	0,68	0,35	0,97

	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
t=0	0,48	0,61	0,48	0,89	0,53	0,11	0,14	0,43	0,38	0,86
t=1	0,14	0,42	0,93	0,97	0,71	0,25	0,52	0,13	0,86	0,14
t=2	0,43	0,38	0,47	0,54	0,95	0,20	0,10	0,83	0,22	0,88
t=3	0,84	0,54	0,91	0,17	0,27	0,72	0,53	0,05	0,73	0,13
t=4	0,83	0,26	0,74	0,27	0,10	0,70	0,29	0,07	0,08	0,59
t=5	1,00	0,97	0,12	0,06	0,77	0,04	0,16	0,90	0,37	0,36

Полученные таким образом цветовые палитры с различными интенсивностями цветов в дальнейшем можно использовать в качестве входных параметров для поставленной задачи оптимизации цветовых параметров при синтезе фрактальных изображений.

Третья глава диссертации «Алгоритм вычисления для решения согласования цветовых параметров при оптимизации и классификации цветовых параметров фрактальных структур». Применение нейронных сетей для классификации фрактальных изображений для автоматизации классификации фрактальных изображений по цветовым параметрам

разработана свёрточная нейронная сеть (CNN), которая минимизирует функцию потерь  $L(y, \hat{y})$ , определенную следующим образом:

$$L(y, \hat{y}) = -\sum_i y_i \log(\hat{y}_i),$$

где  $y$  — истинные классы (теплые, холодные, контрастные цвета), а  $\hat{y}$  — предсказанные вероятности для каждого класса. CNN позволяет выделить иерархические признаки, благодаря чему изображение классифицируется по цветовому типу, что важно для дальнейшего подбора гармоничных палитр. Обучение сети происходит методом обратного распространения ошибки (backpropagation), что оптимизирует веса сети. Таким образом, алгоритм CNN интегрирует результаты из главы 2, классифицируя цветовые параметры, оптимизированные гибридным методом.

Для создания алгоритма принятия решений на основе гибридного алгоритма оптимизации, который включает генетический алгоритм и симплекс-метод, использованы следующие шаги:

На основе третьей главы диссертации можно описать задачу принятия решений как процесс выбора оптимальных цветовых параметров фрактальных изображений для минимизации стоимости и максимизации визуальных характеристик, с учётом заданных ограничений (стоимость краски, предпочтения клиента, размер ковра и т.д.).

На основе разработанного гибридного алгоритма оптимизации, создания алгоритма принятия решений

Шаг 1. На этом этапе задаются параметры целевой функции, включая весовой коэффициент  $\lambda$  для функций стоимости  $F(C)$ , качества  $Q(C)$  и пользовательских предпочтений. Также задаются начальные значения для весов и их скорость обучения.

Шаг 2. Целевая функция настраивается с учётом пользовательских предпочтений:

$$J(C) = \lambda F(C) + (1 - \lambda)Q(C)$$

где:

$F(C)$  - функция стоимости,

$Q(C)$  - функция качества,

$\lambda$  - пользовательские предпочтения, отражающие требования по цвету, насыщенности или контрастности.

Шаг 3. На этом этапе гибридный алгоритм использует генетический алгоритм для глобального поиска и симплекс-метод для локального уточнения. Случайное создание начальной популяции цветовых параметров. Операции селекции, кроссовера, мутации для поиска оптимальных решений. Симплекс-метод используется для уточнения решений, найденных генетическим алгоритмом, с целью локальной оптимизации.

Шаг 4. После каждой итерации пользователь может оценить результат, и алгоритм обновляет коэффициенты с учётом обратной связи.

Шаг 5. На основе обновлённой целевой функции и с учётом обратной связи пользовательские предпочтения становятся частью окончательного выбора цветовых параметров, что позволяет автоматически выбирать оптимальные значения для фрактальных изображений.

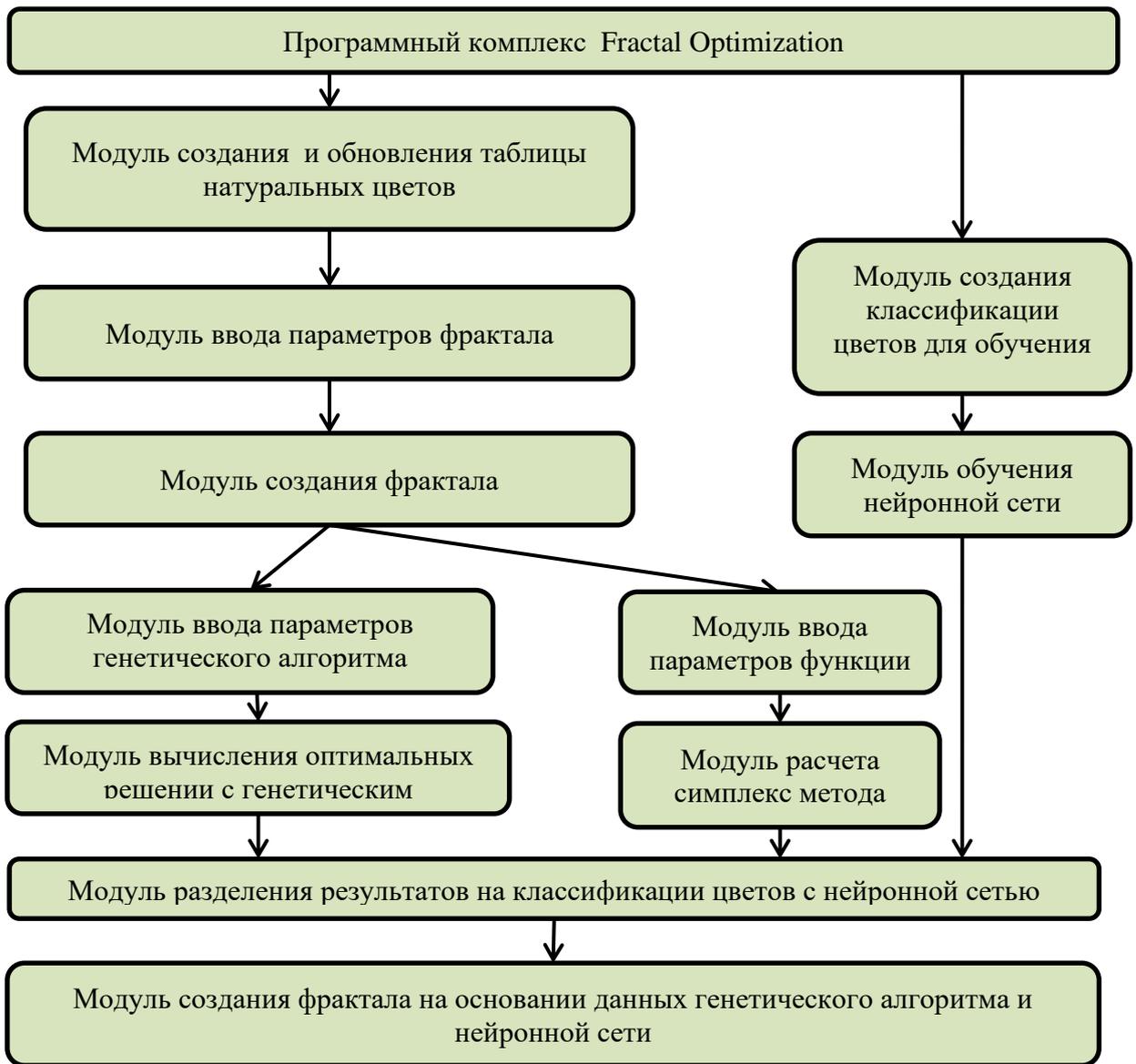
Шаг 6. Адаптация весов целевой функции на основе пользовательских предпочтений.

Шаг 7. Принятие окончательного решения с учётом обновленных параметров.

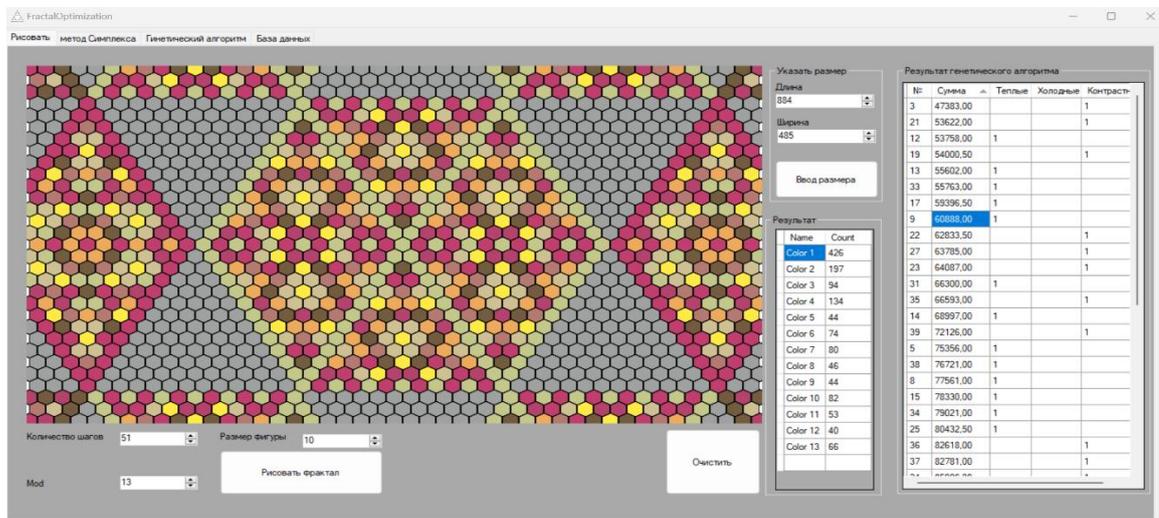
Четвертая глава **«Автоматизированная система оптимизации по параметрам цвета и визуализации сложных объектов фрактальной структуры»** посвящена разработке автоматизированного программного комплекса, в который интегрированы гибридный алгоритм оптимизации и метод классификации. Система обеспечивает возможность автоматического подбора цветовых параметров с учётом предпочтений пользователя. Алгоритм выбора цветовых параметров теперь учитывает обратную связь и выполняет настройку, следуя новым входным данным от пользователя.

Описывается программный комплекс, предназначенный для автоматизированной обработки цветовых параметров фрактальных изображений. Представлены экспериментальные результаты системы классификации и оптимизации цветовых параметров.

Программный интерфейс разделен на 4 раздела. Экспериментальные исследования проведены на основе разработанных подходов, моделей и алгоритмов оптимизации параметров и синтез фрактальных изображений. Генетический алгоритм оптимизировал изображения, предназначенный для создания уникальных декоративных элементов и фасадов зданий. Метод позволяет генерировать фрактальные узоры и структуры, а не только ограничиваться цветовыми параметрами. Объектами могут быть различные архитектурные элементы, такие как фасады, ограждения, витражи и другие.



**Рисунок 3. Общая схема программного комплекса синтеза фрактальных изображений методами генетических алгоритмов**



**Рисунок 4. Общая схема программного обеспечения для синтеза фрактальных изображений**

Программный интерфейс разделён на 4 раздела.

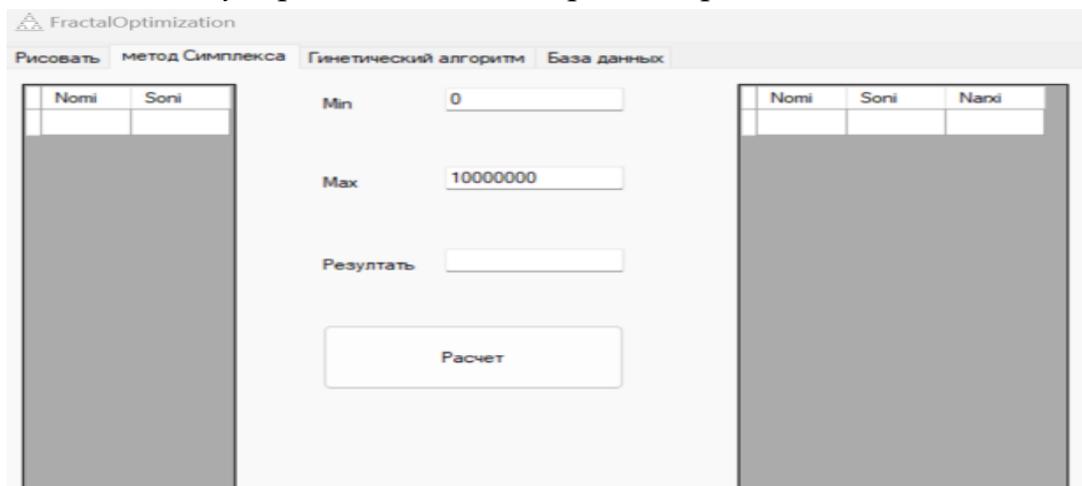
Первая вкладка в себе содержит основные компоненты для рисования фрактальных изображений. (Рисунок 4). Нижний три поля предназначены для ввода основных параметров: количество шагов, размер фигуры и количество цветов для рисования фрактального изображения. В правом окне можно указать размер ковра, результат посчитанных фигур. Из окна результат генетического алгоритма можно нажатием на любую строку можно получить рисунок фрактальных изображений в основном окне. Также можно сделать сортировку по цене либо по классификации цветов.

Во второй вкладке мы разместили метод Симплекса. (Рисунок 4). Для Симплекс метода добавлено 2 дополнительных параметра для управления, максимум и минимум. Этой вкладкой можно пользоваться только после того, как мы на первой вкладке нарисуем фрактальное изображение и получим данные для расчета. Используя симплекс-метод для решения этой оптимизационной задачи, мы получаем следующие результаты:

$$x_1 = 85.00; \quad x_2 = 78; \quad x_3 = 11.00;$$

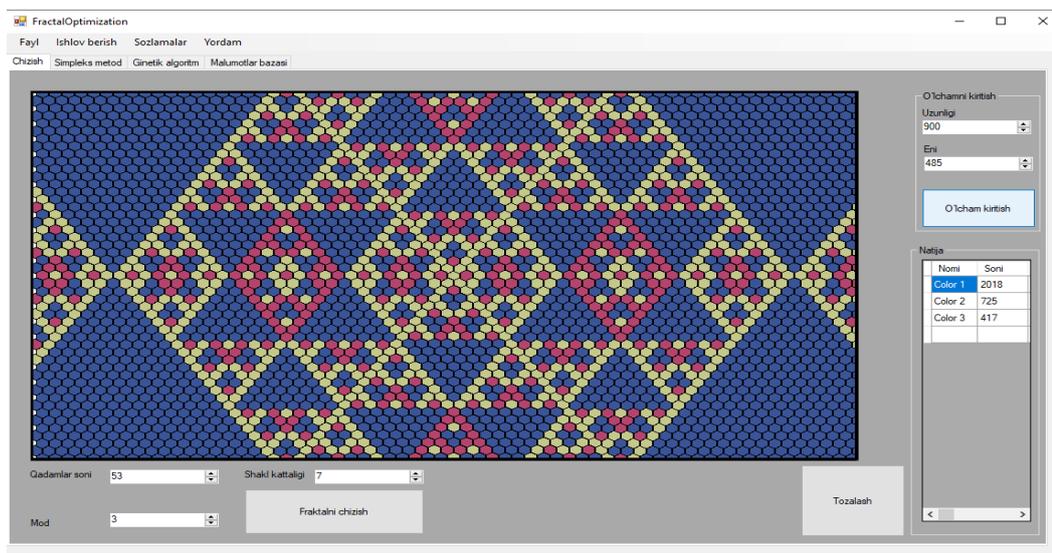
$$F(x_1, x_2, x_3) = 22,695.$$

Итак, стоимость красок, которые мы использовали для ковра, если она равна  $x_1 = 85.00 \text{ y.e.}$ ;  $x_2 = 78.00 \text{ y.e.}$ ;  $x_3 = 11.00 \text{ y.e.}$ ;  $x_4 = 50.00 \text{ y.e.}$ ;  $x_5 = 40.00 \text{ y.e.}$  ковер  $F = 65,655.00 \text{ y.e.}$  равна общим издержкам производства.



**Рисунок 5. Вычислительный эксперимент с применением симплекс метод**

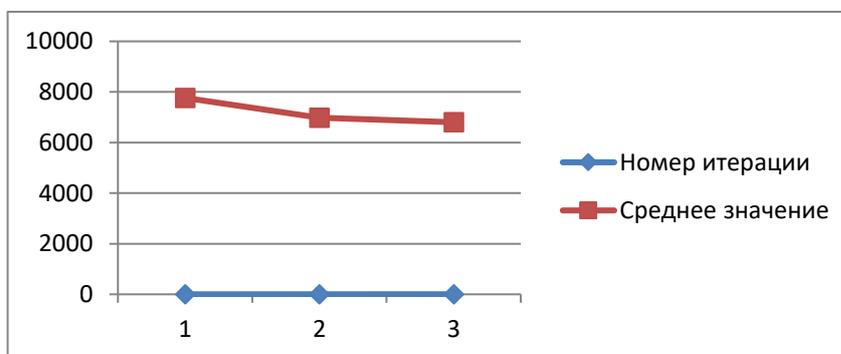
Во третьем вкладке мы разместили метод оптимизации «Генетический алгоритм». Мы разместили два параметра для управления: Количество данных, Количество циклов для генетического алгоритма. Результат, полученный после расчета генетического алгоритма, отобразим во первом и третьем вкладке в правом углу. Так же в этом окне результата мы добавили результат искусственного интеллекта.



**Рисунок 6. Вычислительный эксперимент с применением генетического алгоритма**

Номер итерации	Среднее значение	$\gamma$
1	7764	0
2	6977,25	786,75
3	6801	176,25

**Рисунок 7. Таблица среднее количество значений фитнес функции**



**Рисунок 8. Среднее значение функции**

FractalOptimization

Рисовать метод Симплекса Генетический алгоритм База данных

Количество данных: 40

Количество циклов генетического алгоритма: 40

Расчет

Результат генетического алгоритма

№	Сумма	Теплые	Холодные	Контрастные
1	96445.00			1
3	47383.00			1
6	127510.00			1
7	92298.00			1
11	90564.00			1
18	98623.00			1
19	54000.50			1
21	63622.00			1
22	62833.50			1
23	64807.00			1
24	85006.00			1
27	63788.00			1
30	118662.50			1
32	96233.00			1
35	66593.00			1
36	80618.00			1
37	82781.00			1
39	72126.00			1
40	102259.00			1
2	97443.00	1		
4	94036.00	1		
5	79356.00	1		
8	77561.00	1		
9	60888.00	1		

**Рисунок 9. Вычислительный эксперимент с применением генетического алгоритма**

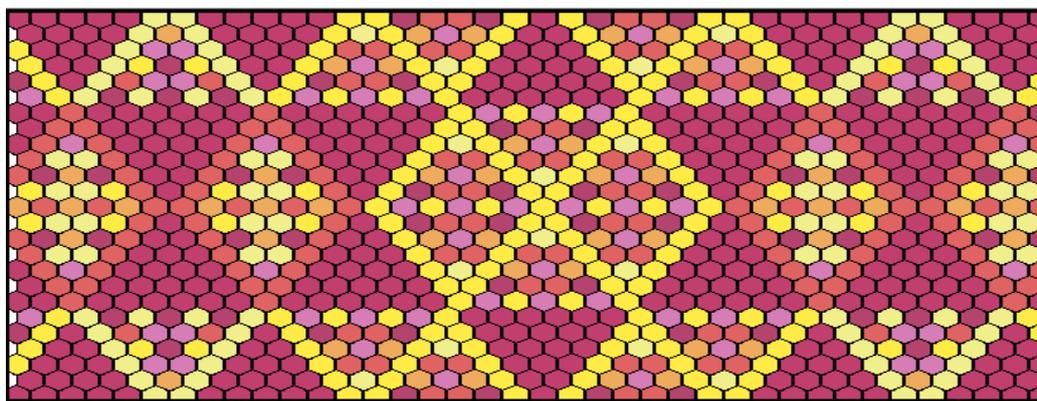
При нажатии на кнопку «Расчет» происходит алгоритм расчета и полученные данные мы классифицируем с помощью нейронной сети по данным с первой вкладки (Рисунок 9.):



**Рисунок 10. Алгоритма вкладка«Генетический алгоритм»**



**Рисунок 11. Комбинация холодные цвета треугольника Паскаля**



**Рисунок 12. Комбинация тёплые цвета треугольника Паскаля**

Проведено несколько вычислительный эксперимент, которое дает возможность оптимизация и синтез цветовые параметры фрактальных структур. Для этого выбраны несколько вариантов из комбинации цветов фрактальных изображении (треугольник Паскаля). Поэтому при производстве ковровых изделий заданного размера целесообразно применять методы математического программирования для подбора оптимального набора красок, что можно сделать с наименьшими затратами и максимальной выгодой.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам проведенных исследований диссертационной работы по теме «**Алгоритмы синтеза фрактальных изображений**» сделаны следующие основные выводы:

1. В результате проведенного анализа методов и алгоритмов решения оптимизационных задач синтеза фрактальных изображений, в частности, классификации и оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений выявлено, что задачу оптимизации можно описать как минимизацию целевой функции, являющейся взвешенной суммой двух компонент: функции затрат и функции качества.

2. Для оценки качества текущего решения и формирования рекомендаций был предложен подход формализации принятия решений на основе обратной связи от пользователя как процесса итеративного подбора цветовых параметров фрактального изображения с учётом мнения пользователя.

3. Разработана математическая модель динамики концентрации (насыщенности) цветов при изготовлении текстильных красителей, численным решением которой методом Рунге-Кутты, получены оптимальные значения необходимых цветов и их концентраций.

4. На основе симплекс метода оптимизации сложных изображений фрактальной структуры с использованием двумерных геометрических преобразований в пространстве компьютерной графики разработан алгоритм,

позволяющий автоматизировать формирование современных узоров во фрактальном виде для коврых изделий.

5. На основе сочетания симплекс метода и генетического алгоритма разработан гибридный алгоритм оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений, результаты реализации алгоритма позволили обеспечить увеличение производства и снижение трудозатрат на 10–15%.

6. На основе архитектуры сверточной нейронной сети разработаны модель глубокого обучения и алгоритм классификации фрактальных изображений по теории цвета Иттена, позволяющие повысить уровень качества ковра, декоративность и степень удовлетворенности клиентов.

7. На основе разработанных алгоритмов создано программное средство визуализации фрактально-структурных объектов, позволяющее автоматизировать выбор цвета и рисунка изделий при строительстве зданий, внутренней и внешней отделке, декорировании и дизайне помещений, создании дизайна узоров ковровых изделий.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2021.T.142.01 AT RESEARCH INSTITUTE FOR  
DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE**

---

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

**TASTANOVA SAIDA ALDIYAROVNA**

**FRACTAL IMAGE SYNTHESIS ALGORITHMS**

05.01.02-System analysis, management and information processing

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

**Tashkent – 2024**

**The theme of the Doctor of Philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2023.4.PhD/T4345.**

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.airi.uz](http://www.airi.uz)) and the website of "ZiyoNET" Information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific adviser:**

**Fakhriddin Nuraliev Murodillaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Aloev Rakhmatillo Djuraevich**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Nurmamatov Mekhriddin Qahramonovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Leading organization:**

**Nukus branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorezmi**

The defense will take place 20 december 2024 at 16<sup>00</sup> the meeting of Scientific council № DSc.13/30.12.2021.T.142.01 at Research Institute of Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence (Address: 100125, Tashkent city, M. Ulugbek district, Buz-2, 17A. Tel.: (71) 263-41-98),  
e-mail: [info@airi.uz](mailto:info@airi.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Research Institute of Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence (is registered under № 49 ). (Address: 100125, Tashkent city, M. Ulugbek district, Buz-2, 17A. Tel.: (+99871) 263-41-98).

Abstract of dissertation sent out on 08 december 2024 y.  
(mailing report № 18 on 03 december 2024 y.)



**N. Ravshanov**  
Chairmen of the Scientific Council Awarding  
Scientific Degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Z.R. Rahmonov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
Awarding Scientific Degrees,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor

*Seymon*

**L.F. Sulyukova**  
Chairmen of the Scientific Under the Scientific  
Council Awarding  
Scientific Degrees, Doctor of Technical Sciences,  
Senior Researcher

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research** development of algorithms for the synthesis of fractal images with optimization of color parameters for use in the textile industry.

**The object of the study** is the process of generating two-dimensional color images with a complex fractal structure in the production of textiles and carpet products.

**The scientific novelty of the research work is as follows:**

a mathematical model of the dynamics of the concentration (saturation) of colors in the manufacture of textile paints has been developed;

algorithms for evaluating the results of optimization and synthesis of color parameters of fractal images based on the simplex method have been developed;

a hybrid algorithm for optimizing the color and cost parameters of fractal images based on a combination of the simplex method and a genetic algorithm has been developed;

A deep learning model and a fractal image classification algorithm based on a convolutional neural network architecture have been developed.

**Implementation of the research results.**

the calculation algorithm and software package for automating the synthesis of fractal images are implemented in the activities of BI Group LLC (Reference of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan no. 33 - 8 / 3297 dated May 20, 2024). As a result, it is possible to optimize the parameters of fractal images when creating decorative elements and facades during the architectural design of buildings and structures;

the calculation algorithm and software package for automating the synthesis of fractal images are implemented in the activities of LLC UCHDAVR (Reference of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan no. 33 - 8 / 3297 dated May 20, 2024). As a result, it is possible to optimize the generated fractal images by color parameters when creating elements of the exterior and interior of the three-dimensional environment of the National Virtual University system, as well as to improve the perception of educational content in the learning process.

the software “Optimization of color parameters in the design of carpets using multilayer fractal structures” is implemented in the production process of SAM HOME TECH LLC (Reference of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan no. 33 - 8 / 3297 dated May 20, 2024). As a result, it is possible to automate the task of synthesizing fractal images optimized according to the criteria of aesthetic perception and the cost of production of textiles and carpet products. This results in a 10% increase in productivity and a reduction in the complexity of graphic designers' work when repeatedly generating various variants of fractal patterns.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 103 pages.

**E‘LON QILINGAN ISHLAR RO‘YHATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo‘lim (I часть; I part)**

1. Nuraliev F., Nazrulloev O., Tastanova S. Optimization of fractal structure pattern colors in carpet design using genetic algorithm // 2022 The 14th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction(IHCI), Tashkent, Uzbekistan, -2022, October, 575-585 p. (DOI:10.1007/978-3-031-27199-1\_59)
2. Nuraliev F., Nazrulloev O., Tastanova S. Computational experience optimization of colors in complex fractal images in carpet design using the simplex method. Journal of Computer Science Research, Volume 04, Issue 04. November, 2022. (DOI:10.30564/jcsr.v4i4.5215)
3. Nuraliev F., Tastanova S., Bulanova T. The use of methods for optimizing the genetic algorithm for the colors of a fractal structure pattern in carpet design. Farabi Journal of Social Sciences. Vol 8, Issue 2, 2022, pp.66-73, Kazakhstan, Almaty. (№5, 23.00.00,)
4. Nuraliev F., Egamberdiyev N., Tastanova S. Optimization of Natural Colors in Fractal Images Using Neural Networks According to Ostwald Theory // Telematique. Volume 22 Issue 1, 2023, pp. 1485 – 1500 (Volume 22 Issue 1, Global impact factor) (ISSN:1856-4194, Web of Science, IF=7.23)
5. Nuraliev F., Nazrulloev O., Tastanova S. Gilam mahsulotlarining murakkab fraktal tasvirlarida ranglarni optimallashtirish // Kimyoviy texnologiya, nazorat va boshqaruv jurnali, Tashkent №2(104)/2022.19-29 bet. (05.00.00; №12)
6. Nuraliev F., Nazrulloev O., Egamberdiyev N., Tastanova S. Genetik algoritm yordamida gilam dizaynida fraktal tuzilishli naqsh ranglarini optimallashtirish // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” jurnali, №3(21)/2022 Tashkent, Uzbekistan, 200-205 bet. (05.00.00; №10)
7. Nuraliev F., Nabiev I.Sh., Tastanova S. Цифровое моделирование фрактальных структурированных объектов на основе систем искусственного интеллекта // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. Tashkent – 2023. № 4(26). pp. 24-30. (05.00.00; №10)
8. Nuraliev F., Tastanova S.A., Оптимизация цветовых параметров с применением генетического алгоритма и метода оптимизации симплекс с управлением // Ilmiy-texnik jurnal «Проблемы информатики и энергетики». ISSN 2010-7242. 2023, 3-19 bet. (05.00.00; №5)
9. Нуралиев Ф.М., Набиев И.Ш, Тастанова С.А., Рахматуллаева М.Ф. Цифровое моделирование фрактальных структурированных объектов на основе систем искусственного интеллекта // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. № 2(28)/2024. Tashkent, Uzbekistan. 160-167 bet. (05.00.00; №10)

10. Нуралиев Ф.М., Тастанова С.А., Буланова Т.М., Нурымбетов Б., Моделирование классификации и оптимизация цветовых параметров фрактальных изображений // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. № 3(29)/2024. Tashkent, Uzbekistan. 291-296 bet. (05.00.00; №10)

## II bo‘lim (II часть; II part)

11. Нуралиев Ф., Назруллоев О., Тастанова С. Об одной задаче оптимизации цветов в сложных фрактальных изображениях ковровых изделий. Scientific Collection Interonf “The Issue Contains: Proceedins of the 5th International Scientific and Practical Conference”. Oslo, Norway, april 26-28, 2022, p. 447-452.
12. Nuraliev F., Egamberdiyev N., Tastanova S. Gilam fraktal tasvirlarining rang parametrlarini optimallashtirish va klassifikatsiya qilish algoritmlarini ishlab chiqish. International scientific and technical conference “Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the spheres”, april 27-28, 2023, 281-285 b.
13. Нуралиев Ф., Эгамбердиев Н., Тастанова С. Улучшение эффективности производства ковров с помощью оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений. Международной научно-практической конференции “Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий”. Нукус 2-3 май, 2023г., стр.134-136.
14. Нуралиев Ф.М., Тастанова С.А., Генетический алгоритм и метод оптимизации симплекс для оптимизации цветовых параметров в фрактальных изображениях, совместно с классификацией цветовых схем с использованием нейронной сети. Международная конференция “Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем” Москва, 23 июня, 2023 г., стр. 180-181.
15. Нуралиев Ф. М., Тастанова С.А., Оптимизация по цвету фрактальных изображений методами искусственного интеллекта, Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Труды XVI Международной научно-технической конференции Суздаль ARMIMP-2023. 9-12 октября, 2023г., стр. 56-60.
16. Буланова Т.М., Камбаш А.А., Тастанова С.А., Синтез фрактальных изображений методами генетических алгоритмов. «Современные тенденции развития математики в эпоху цифровой трансформации» Международная научно-практическая конференция, 14-марта 2024, стр. 97-104
17. Нуралиев Ф. М., Тастанова С.А., Алгоритмы синтеза фрактальных изображений // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Труды XVII Международной научно-технической конференции Суздаль, 23-26 сентября 2024 ARMIMP-2024, стр. 37-39

18. Nuraliev F., Nazrulloev O., Tastanova S. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, "Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati" mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman, Respublikailmiy-texnik anjumani, Toshkent, 10-11-mart, 2022 - yil, 325-328 b.
19. Нуралиев Ф., Тастанова С. Nabiev I.Sh., Tastanova S.A., Конференция "Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования". Автоматизированная система оптимизации цветовых параметров фрактальных изображений с использованием искусственного интеллекта. Respublika ilmiy-texnik anjumani, Toshkent, 14-15 sentyabr 2023 yil, 124-130 b.
20. Нуралиев Ф., Назруллоев О., Тастанова С. Оптимизация цветов в дизайне ковра со сложным фрактальным изображением с использованием симплексного метода. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Nukus filiali, "Matematik modellashtirish, axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining dolzarb masalalari" mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani, 17-18 noyabr, 2022-yil, 17-19 bet.
21. Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич, Тастанова Саида Алдияровна, Тастанов Марат Сейдахметович. Программа для ЭВМ. «Qatlamli fraktal tuzilmalardan foydalangan holda gilamni loyihalashda rang parametrlarini optimallashtirish». Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU 20237943. 02.11.2023 г.
22. Нуралиев Ф. М., Тастанова С. А., Тастанов М. С., Набиев И.Ш.. Программа для ЭВМ. «Фрактал тузилишли мураккаб (2D ва 3D) объектларни визуаллаштириш ва ранг параметрлари буйича оптималлашни автоматлаштирилган тизими». Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU 30377. 17.11.2023 г.



Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.