

Murakkab Konstruktiv Shakldagi 3d Ob'ektlarni R-Funksiya Yordamida Modellashtirish

Nuraliyev Faxriddin Murodillayevich

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Televizion va media texnologiyalar kafedra mudiri, t.f.d., professor

Safarov Shohruh Sharofovich

"Alfraganus University" nodavlat oliy ta'lim tashkilotining Raqamli texnologiyalar kafedrasida dotsent v.b., t.f.f.d., (PhD)

Norboyeva Nurjahon Mamasoat qizi

Alfraganus universitetining 2-kurs magistratura talabasi
2110143@newuu.uz

Annotatsiya: Ushbu maqolada murakkab konstruktiv shakldagi uch o'lchamli (3D) ob'ektlarni R-funksiyalar yordami bilan modellashtirish usullari batafsil o'rganiladi. 3D modellashtirish zamonaviy sanoat, qurilish, aerokosmik injiniring, tibbiy vizualizatsiya va kompyuter grafikasi sohalarida keng qo'llanilib, har bir ob'ektning geometriyaviy murakkabligi va aniqligini ta'minlash zaruriyati ortib bormoqda. Murakkab shakl va strukturali ob'ektlarning aniq matematik modellarini yaratish uchun R-funksiyalar o'zining mantiqiy moslashuvchanligi, bo'lakli aniqlash imkoniyati va kompleks geometrik operatsiyalarni sodda shaklda ifodalash xususiyatlari bilan ajralib turadi. Maqolada R-funksiyalar nazariyasining asosiy prinsiplari bayon etilib, ular yordamida 3D ob'ektlarni konstruktiv-geometrik shakllantirish (Constructive Solid Geometry, CSG) metodologiyasi bilan birlashtirilgan yondashuv taklif etiladi. Har xil oddiy shakllarning (kub, sfera, silindr va boshqalar) boolean operatsiyalari orqali birlashtirilishi natijasida hosil bo'lgan murakkab geometrik obyektlar R-funksiyalar asosida ifodalanadi va bu orqali ob'ekt yuzalarining uzluksizligi va farqliligi ta'minlanadi. Maqolada, shuningdek, R-funksiyalar yordamida hosil qilingan modellarni kompyuter grafikasi vositalarida samarali tasvirlash va tahlil qilish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Yuzalar va hajm elementlari aniqligi, topologik izchillik va geometriyaviy silliqlik kabi sifat ko'rsatkichlari ko'rib chiqiladi. R-funksiyalar yordamida modellashtirishning an'anaviy poligon modellashtirish va splayn asosidagi metodlardan ustun jihatlari — ya'ni analitik aniqlik, parametrik moslashuvchanlik va soddalashtirilgan boolean operatsiyalar bajarilishi — chuqur tahlil qilinadi. Natijada, maqola 3D murakkab konstruksiyalarning analitik modelini yaratish, ularni raqamli formatda ifodalash va keyinchalik mexanik tahlil yoki grafik vizualizatsiyada qo'llash imkonini beruvchi samarali metodikani taklif qiladi. R-funksiyalarga asoslangan yondashuv, ayniqsa, avtomatlashtirilgan dizayn tizimlari (CAD), raqamli egizaklar (Digital Twins) va kompyuter yordamida ishlab chiqish (CAE) jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari, amaliy modellashtirish loyihalarida murakkab shaklli obyektlarning sifatli va samarali ifodalanishi uchun R-funksiyalar metodologiyasining istiqbolli yondashuv sifatida qo'llanilishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: 3D modellashtirish, R-funksiyalar, murakkab konstruktiv shakllar, geometrik modellashtirish, bo'linmas struktura, parametrik tasvirlash, hisoblash geometriyasi, ob'ektlarning integratsiyalashuvi.

KIRISH.

Hozirgi zamon ilm-fan va texnologiyalari rivojlanishida uch o'lchamli (3D) obyektlarning aniq va samarali modellashtirilishi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Muhandislik, arxitektura, tibbiyot, aerokosmik sanoat, geoinformatika kabi sohalarda real obyektlarning murakkab konstruktiv shaklini kompyuterda ifodalash va uni matematik jihatdan tahlil qilish ehtiyoji kundan-kunga ortib bormoqda. Bunday talablarni qondirish uchun yangi modellashtirish metodlari va zamonaviy matematik yondashuvlarga ehtiyoj sezilmoqda. An'anaviy modellashtirish metodlari — masalan, chegara tasviri (boundary representation — B-Rep), katakli modellar (voxel-based models), va konstruktiv qirqish geometriyasi (Constructive Solid Geometry — CSG) — ko'plab hollarda samarali bo'lsa-da, murakkab, ko'p fazali va noaniq shakllarga ega bo'lgan obyektlarni modellashtirishda cheklovlarga duch keladi. Ayniqsa, obyektlar orasida geometrik qirqishlar, birikmalar yoki notekis sathlar mavjud bo'lganda, bu usullar murakkablashadi yoki aniqlik nuqtayi nazaridan yetarli bo'lmaydi. Shu o'rinda, R-funksiyalar nazariyasiga asoslangan metodlar innovatsion yechim sifatida maydonga chiqadi. R-funksiyalar yordamida murakkab 3D obyektlarni modellashtirish imkoni mavjud bo'lib, bu yondashuv obyektlarning geometrik va topologik xususiyatlarini yagona analitik ifoda bilan ifodalash imkonini beradi. R-funksiyalar nazariyasi birinchi marta 1960-yillarda akademik V. L. Rvachev tomonidan ilgari surilgan bo'lib, u murakkab shakldagi sohalarni oddiy geometrik obyektlar va ular ustidagi mantiqiy operatsiyalar orqali tasvirlashni osonlashtirishga qaratilgan. R-funksiyalar yordamida modellashtirishning asosiy ustunliklari shundaki, ular yordamida har qanday murakkab konstruktiv obyektning bir butun matematik formulaga keltirish mumkin, bu esa differensial tahlil, optimallashtirish va kompyuter grafikasi sohasida juda muhim rol o'ynaydi. Xususan, murakkab chegaralar, bo'linmalar va obyektlarning ichki-strukturaviy tafvutlarini aniq ifodalash imkoniyati yuzaga keladi. Shu bilan birga, R-funksiyalar yordamida hosil qilingan modellar kompyuter tizimlari uchun ham oson ishlov beriladigan va ko'p funksiyali ilovalarga mos bo'lgan ko'rinishga ega bo'ladi. So'nggi yillarda sun'iy intellekt, raqamli tvins (digital twins) va aditiv ishlab chiqarish (3D-printing) kabi sohalarning rivojlanishi R-funksiyalar asosida modellashtirish metodlariga qiziqishni yanada oshirdi. Chunki bunday metodlar nafaqat aniq matematik tavsif berishi, balki obyektlarning ichki fizikaviy xossalarini ham modellashtirish imkonini beradi. Shuningdek, raqamli dizayn jarayonlarini avtomatlashtirish va optimallashtirishda R-funksiyalar asosida qurilgan modellar katta imkoniyatlar yaratmoqda. Mazkur maqolada murakkab konstruktiv shakldagi 3D obyektlarni R-funksiyalar yordamida modellashtirishning nazariy asoslari, amaliy yondashuvlari va uning afzalliklari tahlil qilinadi. Shuningdek, modellashtirish jarayonida duch kelinadigan asosiy muammolar va ularning yechimlari ham batafsil ko'rib chiqiladi. Maqola natijalari ilmiy va amaliy jihatdan yuqori samaradorlikka ega bo'lgan yangi avlod 3D modellashtirish tizimlarini yaratish uchun zarur bo'lgan bilimlarni shakllantirishga xizmat qiladi.

METODOLOGIYA.

Ushbu tadqiqotda murakkab konstruktiv shakldagi uch o'lchamli (3D) ob'ektlarni modellashtirish uchun R-funksiyalar nazariyasi asosida yondashuv ishlab chiqildi. Metodologiya asosan uch bosqichga asoslanadi: 1) murakkab ob'ektning elementar shakllarga dekompozitsiyasi; 2) elementar shakllarning analitik ifodalarini R-funksiyalar yordamida qurish; 3) umumiy 3D modelni hosil qilish uchun ushbu ifodalarni mantiqiy operatsiyalar orqali birlashtirish.

Murakkab shakllarni elementar ob'ektlarga ajratish

Murakkab geometrik shakllar odatda bir necha oddiyroq (elementar) geometrik tanalardan — masalan, sfera, silindr, konus, kub, prizma kabi figuralardan tashkil topgan bo'ladi. Tadqiqotda birinchi qadam sifatida murakkab 3D ob'ektlar tahlil qilinadi va ular tarkibidagi asosiy elementar komponentlar aniqlanadi. Har bir komponent o'zining fazoviy koordinatalari (x, y, z) orqali ifodalanadi va geometrik parametrlar (radius, balandlik, uzunlik, va h.k.) bilan tavsiflanadi.

Ajratilgan har bir elementar shakl mustaqil tarzda R-funksiyalarning qurilishiga tayyorlanadi. Ushbu jarayon murakkab shaklni boshqariladigan soddalashtirish va parametrik modellashtirish imkonini beradi.

Elementar shakllarning R-funksiyalari orqali analitik ifodalari

R-funksiyalar nazariyasi har qanday geometrik shaklning chegarasini va ichki sohasini mantiqiy formulalar yordamida aniq ifodalash imkonini beradi. Asosan quyidagi mantiqiy operatsiyalar uchun asosiy R-funksiyalar ishlatiladi:

- **AND (kesishish)** – ikki yoki undan ortiq shakllarning umumiy qismini aniqlash,
- **OR (birlashtirish)** – shakllarning birikmasini yaratish,
- **NOT (inkor qilish)** – shaklning tashqi hududini aniqlash.

Agar $f_1(x, y, z)$ va $f_2(x, y, z)$ mos ravishda ikki elementar shaklni ifodalaydigan funksiyalar bo'lsa, u holda:

- **AND:** $f_{AND}(x, y, z) = R_{AND}(f_1, f_2)$
- **OR:** $f_{OR}(x, y, z) = R_{OR}(f_1, f_2)$
- **NOT:** $f_{NOT}(x, y, z) = R_{NOT}(f_1)$

Bu yerda R_{AND} , R_{OR} , va R_{NOT} maxsus formulalar orqali aniqlanadi va ular differensiallanuvchi va silliq funksiya ko'rinishida bo'ladi.

Masalan, ikki shaklning kesishmasi uchun quyidagi R-funksiyadan foydalaniladi:

$$R_{AND}(f_1, f_2) = f_1 + f_2 - \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$$

Bu formulalar yordamida har bir elementar shakl o'zining matematik modeli sifatida ifodalanadi.

3. Kompleks 3D modellarni yig'ish

Ajratilgan va R-funksiyalar yordamida ifodalangan elementar shakllar o'zaro mantiqiy operatsiyalar orqali birlashtiriladi. Bu jarayon quyidagicha amalga oshiriladi:

- Agar ob'ekt bir nechta elementlarning birlashmasidan iborat bo'lsa, ularning R-funksiyalari OR operatori yordamida birlashtiriladi.
- Agar ob'ekt ichida bo'shliqlar (teshiklar) bo'lsa, NOT operatori yordamida tegishli soha olib tashlanadi.
- Agar faqat umumiy qismlar kerak bo'lsa, AND operatori yordamida kesishmalar olinadi.

Modellashtirishda har bir elementar shakl uchun parametrlar (masalan, radius, markaz koordinatalari, balandlik) aniq belgilanadi va ular umumiy tizimga moslashtiriladi. Bu usul nafaqat statik modellarni, balki parametrik (o'zgaruvchan) 3D modellarni ham yaratishga imkon beradi.

Raqamli hisoblash va vizualizatsiya

Yaratilgan R-funksional model discret panjara ustida raqamli tarzda hisoblanadi. Har bir panjara tugunida (x_i, y_j, z_k) koordinatalar uchun umumiy R-funksiyaning qiymati aniqlanadi. Shu asosda:

- ✓ Ob'ektning qattiq jismi (solid body) ko'rinishi,
- ✓ Uning chegarasi (boundary surface),
- ✓ Ichki bo'shliqlari (voids) aniq tasvirlanadi.

Vizualizatsiya uchun MATLAB, ANSYS, COMSOL kabi zamonaviy grafik paketlardan yoki o'zlashtirilgan Python/SciPy kutubxonalaridan foydalaniladi. R-funksiyalar asosidagi

modellashtirishning asosiy afzalligi — modelning yuqori aniqlikda silliq va differensiallanuvchi ko'rinishga ega bo'lishidir, bu esa keyingi fizikaviy hisob-kitoblar (masalan, deformatsiya, issiqlik taqsimoti) uchun juda qulaylik yaratadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Ushbu tadqiqotda murakkab konstruktiv shakldagi 3D obyektlarni modellashtirishda R-funksiyalarni qo'llash samaradorligi va amaliy ahamiyati tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, R-funksiyalar asosida qurilgan modellashtirish yondashuvi murakkab geometriyali va topologiyali obyektlarning matematik ifodalanishini ancha soddalashtiradi hamda ularning analitik uzluksizligini ta'minlaydi.

Tajriba natijalari shuni tasdiqladiki, R-funksiyalardan foydalangan holda:

- Murakkab shakllarni modellashtirishda oddiy CSG (Constructive Solid Geometry) asosidagi boolean operatsiyalar bilan bog'liq muammolar samarali yechildi.
- Obyektlarning fazoviy strukturasi aniq va izchil tarzda tavsiflovchi analitik ifodalar olish imkoniyati yaratildi.
- Shakllarning kesishishi, birikishi va ayirilishi kabi amallar uzluksiz funksiya yordamida amalga oshirildi, bu esa natijada 3D obyektlarning matematik tasvirlarini yanada barqaror va kompyuter grafikasi uchun qulay shaklga keltirdi.

R-funksiyalar yordamida modellashtirish, ayniqsa, mashinasozlik, aviatsiya va arxitektura sohalaridagi murakkab komponentlarni yaratishda katta afzalliklarga ega ekanligi aniqladi. Misol tariqasida, turli radiusli sferalar, konuslar va silindrlarning kesishgan shakllari modellashtirilib, ularning yuzasi va hajmiy ko'rsatkichlari aniq hisoblab chiqildi. Shuningdek, R-funksiyalar yordamida yaratilgan modellar differensiallanuvchi xossaga ega bo'lgani sababli, ularni keyingi bosqichlarda (masalan, sonli simulyatsiya, aerodinamik tahlil va optimallashtirish) oson ishlatish imkoniyati mavjudligi ko'rsatildi.

- Muhokama davomida aniqlanganki, R-funksiyalar yondashuvi ba'zi cheklovlarga ham ega. Masalan:
- Juda murakkab shakllarda hosil bo'ladigan analitik ifodalar hajmi keskin ortishi mumkin, bu esa hisoblash resurslariga qo'yiladigan talabni oshiradi.
- Obyektlarni juda yuqori aniqlikda modellashtirishda R-funksiyalarning murakkabligi tufayli ifodalarni soddalashtirish yoki optimallashtirish talab etiladi.

Shunga qaramasdan, bu cheklovlar ko'p hollarda amaliy vazifalarda muhim ahamiyat kasb etmaydi, chunki zamonaviy kompyuterlar va optimallashtirilgan algoritmlar yordamida katta hajmdagi analitik formulalarni samarali qayta ishlash imkoniyati mavjud.

Ushbu tadqiqot, shuningdek, R-funksiyalar yordamida 3D obyektlarning deformatsiyalangan shakllarini modellashtirish imkoniyatini ham ko'rsatdi. Bu esa, masalan, materiallarning plastik deformatsiyasi yoki strukturaviy o'zgarishlar bo'yicha yanada chuqur tadqiqotlar olib borish imkoniyatini beradi.

Natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

- ✓ R-funksiyalar yordamida murakkab 3D shakllarni modellashtirish matematik izchillik va fizik realizmni ta'minlaydi.
- ✓ Modellashtirish jarayoni analitik asoslanganligi tufayli natijaviy modellarni boshqa ilmiy va muhandislik sohalarida integratsiyalash osonlashadi.

Ushbu yondashuv yordamida qurilgan modellar sonli usullar, masalan, oxirgi elementlar usuli (FEM) asosida aniqlik va barqarorlik jihatidan afzallik beradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda esa R-funksiyalar asosida avtomatlashtirilgan modellashtirish algoritmlarini yaratish va katta o'lchamli obyektlar uchun optimallashtirish usullarini rivojlantirish zarurligi ta'kidlab o'tildi.

XULOSA.

Murakkab konstruktiv shakldagi 3D ob'ektlarni modellashtirish zamonaviy ilm-fan va sanoatning eng dolzarb yo'nalishlaridan biridir. Ushbu maqolada 3D ob'ektlarni R-funksiyalar yordamida modellashtirishning nazariy asoslari va amaliy imkoniyatlari batafsil o'rganildi. R-funksiyalar asosida geometriya va mantiqiy munosabatlarni yagona matematik modelga birlashtirish imkoniyati mavjud bo'lib, bu yondashuv murakkab shakllarni yaratishda yuqori aniqlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi. An'anaviy usullardan farqli o'laroq, R-funksiyalar ob'ektlarning silliq chegaralarini saqlagan holda ularni matematik tarzda ifodalash imkonini beradi, bu esa tahlil, optimallashtirish va raqamli hisoblash jarayonlarini sezilarli darajada soddalashtiradi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, R-funksiyalar yordamida 3D ob'ektlarni modellashtirish nafaqat konstruktiv-geometrik algoritmlarni, balki analitik va raqamli hisoblash usullarini ham optimallashtirishga imkon yaratadi. Ayniqsa, ko'p komponentli, o'zaro bog'langan va murakkab topologiyaga ega tuzilmalarni ifodalashda R-funksiyalar asosidagi yondashuv o'zining afzalliklarini namoyon etdi. Bu esa yirik sanoat sohaslarida, masalan, aerokosmik, mashinasozlik, biotibbiyot muhandisligi va qurilishda, murakkab tizimlar va strukturalarning aniq va ishonchli modellarini yaratish imkoniyatlarini kengaytiradi. Bundan tashqari, R-funksiyalarning asosiy xossalardan biri bo'lgan ularning bo'linmasligi va silliqli natijasida modellashtirilgan ob'ektlarning sifat darajasi ortadi, bu esa keyingi bosqichlarda, xususan, differensial tenglamalarni yechishda va kompyuter grafikasi sohasida sezilarli afzalliklar beradi. Tadqiqotda ishlab chiqilgan uslublar va algoritmlar esa nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy dasturlarni yaratishda ham qo'llash imkoniyatini ko'rsatdi. Yakun sifatida ta'kidlash joizki, R-funksiyalar yordamida murakkab konstruktiv shakldagi 3D ob'ektlarni modellashtirish texnologiyasi hozirgi vaqtda ilmiy va sanoat ehtiyojlarini qondirish uchun yuqori salohiyatga ega. Kelajakda ushbu yondashuvni yanada rivojlantirish va u asosida avtomatlashtirilgan modellashtirish platformalarini yaratish istiqbollari mavjud. Shu bilan birga, sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish usullari bilan integratsiya qilish orqali R-funksiyalar asosidagi modellashtirish jarayonlari samaradorligini oshirish va yangi avlod raqamli dizayn texnologiyalarini yaratish imkoniyatlari ochilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Karimov, A. A. (2018). Kompyuter grafikasi va vizualizatsiya asoslari. Toshkent: Fan va texnologiya nashriyoti.
2. Yo'ldoshev, B. B. (2017). Raqamli modellashtirish va uning amaliyotda qo'llanilishi. Toshkent: Iqtisod-Moliya.
3. Toshpo'latov, A. T., & Murodov, S. S. (2019). Geometrik modellashtirish va uning dasturiy ta'minoti. Toshkent: O'zbekiston Milliy universiteti nashriyoti.
4. Rajabov, M. R. (2020). 3D ob'ektlarni yaratishda zamonaviy yondashuvlar. Innovatsion texnologiyalar jurnali, 6(2), 45–52.
5. Abdullayev, X. A. (2016). Kompyuter grafikasi va uning sanoatdagi qo'llanilishi. Axborot texnologiyalari va kompyuter muhandisligi, 4(1), 12–18.
6. Abdurahmonov, D. I. (2021). R-funksiyalar asosida murakkab shakllarni modellashtirish texnologiyalari. Matematika va informatika, 7(3), 28–34.
7. Axmedov, I. I. (2015). Informatika va axborot texnologiyalari asoslari. Toshkent: O'zbekiston nashriyoti.
8. Islomov, Q. M. (2022). 3D modellashtirishda algoritmlarning samaradorligini oshirish. Muhandislik va texnologiyalar, 5(1), 61–68.
9. Nurmatov, S. Sh., & Juraev, B. B. (2018). R-funksiyalardan foydalangan holda fazoviy ob'ektlarni tasvirlash. Texnika fanlari, 2(4), 75–81.
10. Soliyev, A. A. (2020). 3D model yaratishda matematik metodlar va dasturlash. Axborot texnologiyalari va tizimlari, 8(2), 49–55.