

TEXNIK SIRTЛАRNI GEOMETRIK VA KOMPYUTER MODELLASHTIRISHNING NAZARIY ASOSLARI: MUAMMO QO'YILISHI

Jiyenbayeva N.A. National Research University "TIAME", Tayanch doktorant (PhD)

Annotatsiya: Ushbu maqolada murakkab texnik sirtlarni geometrik va kompyuter modellashtirishning nazariy asoslari keng yoritiladi. Uch o'lchamli geometrik modellashtirish turlari (wireframe, sirt, qattiq jism), NURBS, Bezier va B-splayn metodlarining matematik asoslari, BRep va CSG topologik yondashuvlar, kinematik va interpolatsion usullar, shuningdek, chizma geometriya apparatida kriminant, diskriminant va envelope tushunchalari tahlil qilinadi. Aylanish, silindrik, konik, sferik va erkin shaklli sirtlarning proyeksion va metrik xossalari ko'rib chiqiladi. Mavjud modellashtirish usullarining asosiy cheklovlari aniqlangan va dissertatsiya tadqiqotining ilmiy muammosi asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: *geometrik modellashtirish, NURBS, BRep, CSG, texnik sirtlar, 3D CAD, splayn sirtlar, kriminant, diskriminant, envelope, muhandislik geometriyasi, kinematik usul.*

1. Kirish

Zamonaviy mashinasozlik, qurilish, qishloq xo'jaligi texnikasi va transport sohalarida detallar va konstruksiyalarni loyihalash jarayoni geometrik modellashtirish nazariyasiga tobora ko'proq tayanmoqda. Geometrik model real texnik ob'ektdagi shakl, o'lchamlar va topologik bog'lanishlarni rasmiylashtirilgan fazoviy tuzilma ko'rinishida ifodalab, bu tuzilmani keyinchalik hisoblash, optimallashtirish, tahlil va ishlab chiqarish rejalashtirish bosqichlariga uzatadi.

Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi sohasida geometrik modellashtirish nazariyasining rivojlanishi bir necha asosiy yo'nalishda: CAD tizimlarida parametrik va cheklov asosidagi modellashtirish, NURBS va splayn metodlari, qattiq jism topologiyasi (BRep, CSG), shuningdek, muhandislik sirtlarini kinematik va interpolatsion usullar bilan ifodalash yo'nalishlarida kechmoqda. Biroq murakkab erkin shaklli sirtlar – moldbord sirtlari, kemalar bort sirtlari, aerodinamik qobiqlar, arxitektura konstruksiyalari – uchun mavjud usullar hisoblash murakkabligi, aniqlik va uzluksizlik talablari jihatidan qator cheklovlarga ega.

Ushbu maqolaning maqsadi – yuqorida keltirilgan nazariy yondashuvlarni, ularning imkoniyatlari va cheklovlarini adabiyotlar tahlili asosida keng yoritish hamda tadqiqot mavzusining ilmiy muammosini shakllantirish.

2. 3d geometrik modellashtirish nazariyasi

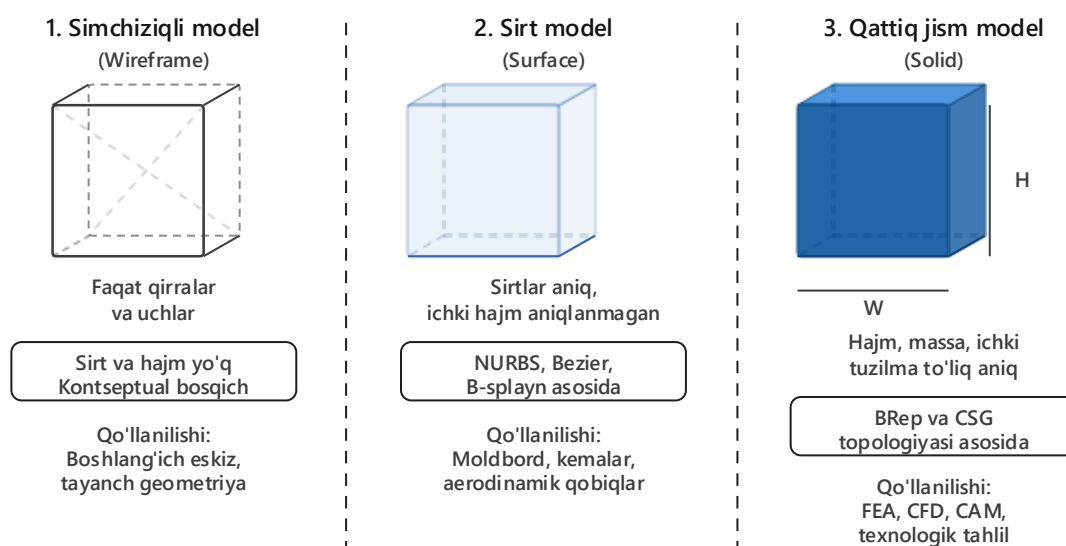
2.1. Geometrik modellar sinflari

Uch o'lchamli geometrik modellar, odatda, uchta asosiy sinfga bo'linadi: simchiziqli (wireframe) modellar, sirt (surface) modellar va qattiq jism (solid) modellar [1, 2].

Simchiziqli model faqat fazodagi konturlar va skelet chiziqlari orqali detallar tuzilishini beradi. Bu modeldagi sirtlarning ichki sohasi va jismlar hajmi aniqlanmagan bo'lgani uchun u faqat dastlabki kontseptual bosqichdagina yoki tayanch geometriya tahlilida qo'llaniladi. Bunday modelning afzalligi, yaratish va tahrirlashning soddaligi, kamchiligi esa, hajmiy tahlil va ishlab chiqarish rejalashtirish uchun yetarli ma'lumot bermasligi.

Sirt modellari ob'ektni parametrik yoki analitik tenglamalar bilan berilgan sirtlar majmuasi sifatida ko'radi. Bu yondashuv vintli, konveks-koveks aerodinamik shakllar,

arxitektura qobiqlari va moldbord sirlari kabi murakkab texnik yuzalarni yetarli aniqlik va silliqlik bilan ifodalash imkonini beradi. Sirt modellari CAD tizimlarida asosiy o'rinlardan birini egallaydi, chunki ko'plab texnologik va vizuallashtirish vazifalari uchun jism ichki tuzilishi emas, balki sirt geometriyasi hal qiluvchi ahamiyatga ega.



Qiyosiy tahlil

Xususiyat	Wireframe	Sirt	Qattiq jism
Qirralar	✓ Ha	✓ Ha	✓ Ha
Sirtlar	– Yo'q	✓ Ha	✓ Ha
Hajm (volume)	– Yo'q	– Yo'q	✓ Ha
FEA/CAM tahlil	– Yo'q	– Qisman	✓ To'liq
Hisoblash yuki	Yengil	O'rtacha	Og'ir
CAD tizimlari	AutoCAD 2D	CATIA, Rhino	SolidWorks, NX

Manba: Mortenson M.E. Geometric Modeling, 1985; Hoffmann C.M. Geometric and Solid Modeling, 1989

Qattiq jism modellashtirishda ob'ekt to'liq hajmiy geometrik jism sifatida ta'riflanib, uning ichki va tashqi sohalari hamda chegaralovchi sirlari to'liq aniqlanadi. Bu turdagi modellar kuchlanish va deformatsiya tahlili (FEA), oqimlar va issiqlik almashinuvi (CFD), shuningdek, dastgoh yo'llarini avtomatik generatsiya qilish (CAM) kabi muhandislik vazifalarining asosini tashkil qiladi [1].

2.2. Parametrik egri va sirlarning matematik asoslari

Amaliy CAD tizimlarida sirt va jismlarning matematik ifodasi ko'pincha parametrik egri va sirlarga tayangan holda quriladi. Bezier egri chiziqlari boshqaruv nuqtalari asosida Bernstein ko'phad asosi orqali quriladi va geometrik intuitivlik bilan ajralib turadi; bu usulni Pierre Bezier 1960-yillarda Renault kompaniyasida avtomobil korpuslarini loyihalash uchun ishlab chiqqan [3].

B-splayn (B-spline) egri va sirlari Bezier usulini umumlashtiradi: lokal boshqarish xususiyatiga ega bo'lib, bitta boshqaruv nuqtasining o'zgarishi faqat yaqin atrofdagi sirtni o'zgartiradi. NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) – B-splaynning ratsional shakli bo'lib, og'irlik koeffitsientlari yordamida konik kesmalar (doira, ellips, parabola, giperbola) va boshqa

analitik sirtlarni to'liq aniq ifodalash imkonini beradi [4]. NURBS ning bu xususiyati uni zamonaviy CAD tizimlarining standart matematik asosiga aylantirgan.

Sirtlar uchun uzluksizlik shartlari alohida ahamiyat kasb etadi: G0 – pozitsion uzluksizlik (sirtlar birlashadi), G1 – yo'nalish uzluksizligi (birlashish nuqtasida urinma tekisliklar mos keladi), G2 – egilish uzluksizligi (egrilik radiuslari birlashish nuqtasida bir xil). Yuqori sifatli sirt modellashtirish uchun odatda kamida G1, sanoat standarti uchun esa G2 uzluksizligi talab etiladi [4].

Subdivision sirtlari ham tobora keng qo'llanilmoqda: qo'pol ko'pburchak to'ridan boshlab iteratsion ravishda qayta taqsimlash orqali silliq sirt hosil qilinadi. Catmull-Clark va Loop sxemalari eng mashhuri bo'lib, animatsiya va industrial dizaynda keng qo'llaniladi. Bu usulning afzalligi: murakkab topolik sirtlarni oson ifodalash imkoniyati; kamchiligi: aniq parametrik ta'rifning yo'qligi.

2.3. BRep va CSG – qattiq jism topologiyasi

3D CAD tizimlarining ichki ishlash prinsipi geometriya (nuqta, egri, sirt, jism) va topologiyani (intsidensiya, qo'shnichilik, chegaralar) yagona ma'lumot modeli sifatida saqlashga asoslanadi. Qattiq jismlar ta'rifida ikki asosiy konsepsiya – BRep va CSG – keng tarqalgan [5].

BRep (Boundary Representation) da jismning chegarasi sirt yamalari (face), qirralar (edge) va uchlarning (vertex) murakkab grafigi ko'rinishida saqlanib, har bir sirtning parametrik sohasiga mos topologik struktura biriktiriladi. Bu yondashuv jismning shakliga nozik nazorat qilish va lokal o'zgartirishlarda juda qulay. BRep modeli Euler-Poincare formulasiga bo'ysunishi shart: $V - E + F = 2$ (oddiy yopiq jism uchun), bu formula modelning topologik to'g'riligini tekshirishda ishlatiladi [5].

CSG (Constructive Solid Geometry) da jism elementar primitivlar (prizma, silindr, konus, torus, sfera va hokazo) ustida mantiqiy to'plam operatsiyalari birlashtirish (union), kesishma (intersection) va ayirma (difference) orqali hosil qilinadi. CSG yondashuvi konstruktiv tarixni ikkilik daraxt ko'rinishida saqlab, parametrik o'zgartirishlarni algoritmik avtomatlashtirish imkonini beradi. Zamonaviy CAD tizimlarining aksariyati (SolidWorks, CATIA, NX) BRep va CSG ni birgalikda qo'llaydi: CSG tarix daraxtini saqlaydi, BRep esa hisoblash natijalarini ifodalaydi [5, 6].

Parametrik va cheklov asosidagi modellashtirish (constraint-based modeling) zamonaviy CAD tizimlarida muhim o'rin egallaydi. Modeldagi o'lchamlar, burchaklar, parallelizm va perpendikulyarlik kabi cheklovlar parametrlar ko'rinishida aniqlanib, ular o'zgarganda butun geometrik model avtomatik ravishda qayta hisoblanadi. Bu konseptual, muhandislik va texnologik loyihalash bosqichlari o'rtasida to'liq izchillikni ta'minlaydi [6].

3. Texnik yuzalarning chizma geometriya nuqtai nazaridan tasnifi va proyeksion tavsifi

Texnik yuzalar mashinasozlik, qurilish, transport va qishloq xo'jaligi texnikasida detallar shakllanishining asosiy geometrik ob'ektlari bo'lib, ularni chizma geometriya nuqtai nazaridan to'g'ri tasniflash va proyeksion tavsiflash 3D modellashtirish va CAD parametrik ta'rifining nazariy bazasini tashkil etadi [7]. Zamonaviy texnik buyumlar sirtlari, odatda, elementar va erkin shaklli sirtlarning ma'lum tartibda birlashtirilgan kompozitsiyasi sifatida qaraladi.

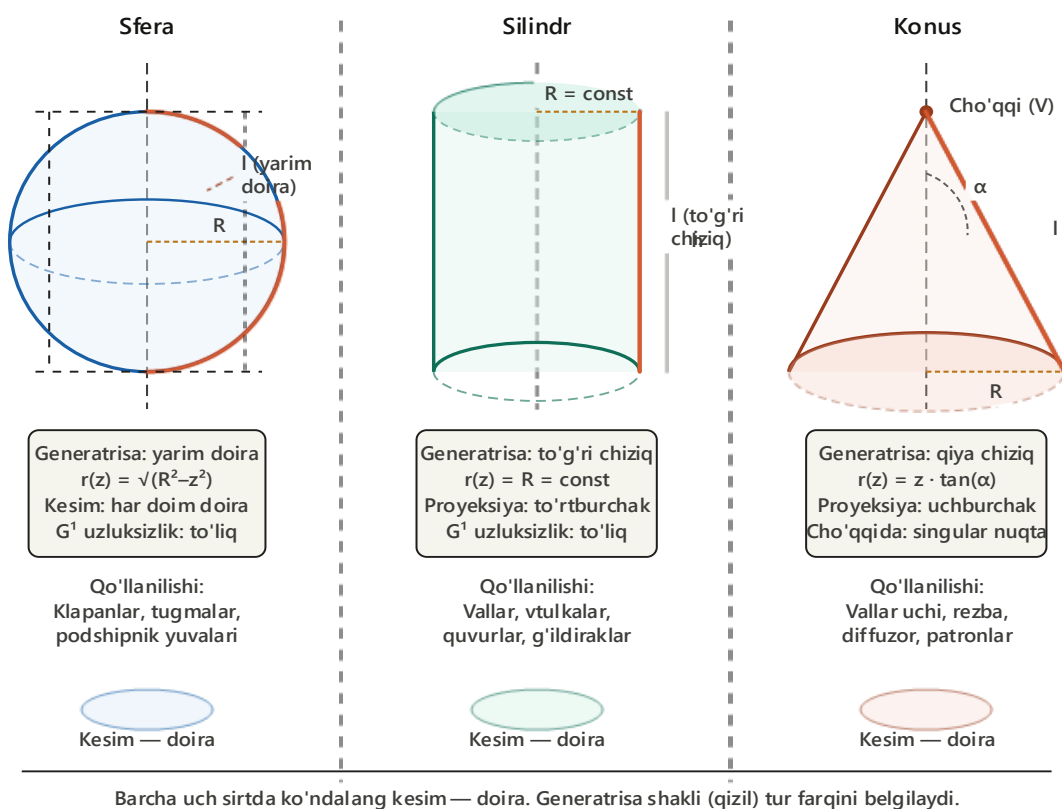
3.1. Asosiy texnik yuzalar sinflari

Chizma geometriyada texnik yuzalarning asosiy sinflari quyidagicha ajratiladi:

- Aylanish sirtlari (sfera, silindr, konus) – generatrisa egri chiziqlarning aylanish o'qi atrofida harakatidan hosil bo'ladi. Ularning proyeksion xossalari aylanish o'qiga

perpendikulyar va parallel tekisliklardagi kesimlar orqali tahlil qilinadi. Bu sirtlar mashinasozlikdagi val, vtulka, guldasta kabi detallar asosini tashkil qiladi.

- Silindrik sirtlar – to'g'ri yoki egri generatrisa chiziqli ma'lum yo'naltiruvchi egri bo'ylab parallel ko'chishi natijasida paydo bo'ladi. Generatrisa proyeksiyalarining yo'nalishi o'zgaras bo'lgani bu sirtning proyeksion va metrik xossalarini sezilarli darajada soddalashtiradi.
- Konus sirtlari – generatrisa chiziqlar bitta cho'qqi nuqtaga tutashadi. Bu sirtlarning kesimlari, ayniqsa cho'qqi atrofida, proyeksion va metrik tahlilda maxsus singular nuqtalar, kesishish, infleksiya va o'tish chiziqlarini keltirib chiqaradi.
- Sferik va toroidal sirtlar – podshipnik yo'llari, sfera-klapanlar, diffuzorlar va arxitektura qobiqlarida keng uchraydi. Ularning proyeksion tasvirlarida doiraviy konturlar va ko'rinish/ko'rinmaslik chiziqlari aniq ajratilishi talab etiladi.
- Vintli sirtlar – ko'pincha murvat rezbali detallar, quvur armaturalari va reduktorlarda ishlatiladi. Bu sirtlarning proyeksion tasviri o'ziga xos bo'lib, generatrisa harakatini kinematik usul bilan ifodalash eng maqsadga muvofiq.
- Erkin shaklli sirtlar (NURBS, splayn-profil, Bezier) – kemalar bortlari, samolyot qanotlari, moldbord sirtlari, binolar qobiqlari kabi murakkab texnik shakllar uchun ishlatiladi. Bu sirtlarning projektsion tavsifi standart kesimlar va ko'rinishlar bilan to'liq ifodalanmaydi; qo'shimcha yordamchi kesimlar va parametrik ta'rif talab qilinadi [7].



3.2. Metrik va pozitsion xossalar

Texnik yuzalarning metrik xossalari masofa, burchak, egri chiziqli uzunligi, sirt maydoni, egrilik va egilish kabi kattaliklar, chizma geometriyada, odatda, mos proyeksion tekisliklarda kesimlar va yordamchi ko'rinishlar yordamida aniqlanadi. Masalan, aylanish sirti kesimining haqiqiy shaklini olish uchun kesuvchi tekislikni proyeksion o'q atrofida aylantirish (revolve)

usuli qo'llaniladi; bu usul keyinchalik CAD muhitidagi 3D o'lchov va tahlil amallariga bevosita mos tushadi [7].

Pozitsion xossalarga esa sirtlar o'zaro joylashuvi parallel, perpendikulyar, kesishuvchi, tangensial tutashuvchi hamda kesishish chiziqlarining haqiqiy va xayoliy qismlari kiradi. Bu ma'lumotlar chizmada ko'rinishlarni to'liq va izchil qurish, shuningdek, CAD modelida topologiyani to'g'ri shakllantirish uchun zarur.

3.3. Sirtlar kesishish chiziqlari va ularni aniqlash usullari

Murakkab texnik sirtlarning muhim xususiyati ularning o'zaro kesishish chiziqlari bo'lib, detallar shaklini aniqlashda, chizmada ko'rinishlarni qurishda va 3D modeldagi chegaralovchi qirralarni aniqlashda markaziy rol o'ynaydi. Panchuk va hammualliflar [8] ko'rsatganidek, ikki sirtning E3 fazodagi kesishuvi to'plamlar nazariyasi nuqtai nazaridan odatda bir o'lchamli to'plam, ya'ni bitta yoki bir nechta fazoviy egri chiziqlar majmuasi sifatida qaraladi.

Klassik chizma geometriyada sirtlar kesishish chiziqlarini qurishda ikki asosiy usul keng qo'llaniladi: sferalar usuli va yordamchi tekisliklar usuli. Sferalar usulida bir sirt sferalar oilasiga ekvivalent qilib olinadi, ikkinchi sirt esa ushbu oilaga nisbatan kesimlar orqali tahlil qilinadi; bu usul ayniqsa sfera, ellipsoid va gipervalloid kabi sirtlar uchun to'liq va aniq tasvir beradi. Yordamchi tekisliklar usuli esa sirtlarni ketmaket parallel tekisliklar bilan kesish va har bir kesimda hosil bo'lgan egri chiziqlar juftlari kesishish nuqtalarini topish asosida ishlaydi; bu usul umumiy holatdagi sirtlar uchun universal bo'lib, CAD muhitida samarali amalga oshirilishi mumkin [7, 8].

4. Kriminant, diskriminant va envelope nazariyasi

Murakkab texnik sirtlarni geometrik modellashtirish jarayonida kriminant, diskriminant va envelope tushunchalari alohida metodologik ahamiyatga ega [9].

Sirtning kriminant chizig'i – bu sirtning proyeksion konturini hosil qiluvchi maxsus nuqtalar yig'indisi bo'lib, u yerda sirtga urinma tekislik proyeksiya yo'nalishiga parallel bo'ladi. Bu nuqtalar sirtning proyeksiyada ko'rinish va ko'rinmaslik chegaralarini belgilaydi va chizma geometriyada ko'rinishlarni to'g'ri qurish uchun zarur. Kriminant chizig'ini to'g'ri aniqlash, ayniqsa murakkab erkin shaklli sirtlar uchun, tahlilning markaziy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Diskriminant esa sirtning proyeksion tekislikda hosil qilgan konturi bo'lib, u ko'pincha sirtni tasvirluvchi sirtlar oilasining envelope chizig'i sifatida talqin qilinadi. Lyashkov va hammualliflar [9] tomonidan implicit tenglama bilan berilgan sirtlar uchun diskriminantni Lagrange ko'paytmachilar usuli yordamida shartli ekstremum nuqtalarini topish orqali aniqlash metodikasi taklif etilgan.

Envelope sirt – asbob va zagotovka nisbiy harakati natijasida hosil bo'ladigan, shakllantiriladigan sirtlar oilasining matematik chegarasi bo'lib, nazariy jihatdan ideal geometrik model sifatida qaraladi. Real envelope esa haqiqiy ishlov berish sharoitidagi alohida o'tish egri chiziqlari, kesishmalardagi "undercut" sohalari va radiusli yumaloqlashlarni hisobga olgan holda hosil bo'ladigan haqiqiy detal sirtining modelidir. Lyashkov va hammualliflar [9] envelope va real envelope ni umumiy diskriminant sirtlar nazariyasi orqali birlashtiruvchi metodologiyani ishlab chiqqan; bunda ikki va uch o'lchamli sirtlarning ortogonal proyeksiyasi, kriminant va diskriminant tushunchalari asosiy o'rin tutadi.

Kesib olinadigan qatlamlar (removed layers) modeli zagotovkadan olib tashlanadigan material hajmlarining fazoviy modeli bo'lib, kesish kuchlarini baholash, issiqlik ajralishini tahlil qilish va optimal texnologik rejimlarni tanlashda muhim rol o'ynaydi. Bu modelning to'g'ri qurilishi to'g'ridan-to'g'ri envelope va sirt geometriyasining aniqligiga bog'liq [9].

5. KINEMATIK VA DISKRET MODELLASHTIRISH USULLARI

5.1. Kinematik usul

Kinematik usulda sirt chiziq yoki egri generatrissa harakatining fazoviy traektoriyasi sifatida ko'riladi: masalan, ikkinchi tartibli egri (ellips, parabola, giperbola) yo'naltiruvchi egri bo'ylab sirpanib borib, butun sirt karkasini hosil qiladi. Bu usul aerodinamik qobiqlar, kemalar bort sirtlari, moldbord sirtlari va kinematik sirtlar bilan bog'liq mexanik detallar shakllanishida samarali qo'llaniladi [9, 10].

Kinematik usulning asosiy afzalligi bu konstruktiv aniqlik: sirt doimo generatrissa va yo'naltiruvchi egri chiziqlar orasidagi munosabat orqali to'liq aniqlanadi. Bu parametrik ta'rif uchun ham qulay, chunki generatrissa yoki yo'naltiruvchini o'zgartirish avtomatik ravishda butun sirtni yangilaydi. Panchuk va hammualliflar [8] kinematik sirtlar uchun kesishish chizig'ini kinematik sinflarni proyeksiya tekisligiga akslatirish va diskret nuqtalarni interpolatsiya qilish orqali aniqlash algoritmini taklif etgan.

5.2. Diskret (interpolatsion) usul

Interpolatsion usulda sirt tugun nuqtalar to'plamidan yoki ko'pburchak to'ridan boshlanadi; keyin ikki o'lchamli diskret interpolatsiya yordamida uzluksiz sirtga "tikiladi". Sonli ketmaketliklar va ularning superpozitsiyasi bu jarayonning asosiy matematik apparatini tashkil qiladi [10].

Diskret geometric modeling sirtni diskret tugunlar to'riga bo'lib, interpolatsion funksiyalar (parabola, giperbolik kosinus va boshqalar) orqali uzluksiz sirtga yaqinlashtirish, arxitektura qobiqlari, binolar strukturaviy shakllari va o'ta murakkab erkin sirtlar uchun istiqbolli yo'nalish sifatida qaraladi. Bu yondashuv klassik NURBS apparatini to'ldiradi: NURBS global parametrik ta'rif va CAGD nuqtai nazaridan qulay bo'lsa, diskret usullar tugunli ramkalar va gipergolik interpolatsiya orqali konstruktiv, statik va texnologik talablarni hisobga olgan holda sirt shaklini moslashtirishga imkon beradi [10].

Masalan, qurilish qobiqlarini diskret geometriya asosida modellashtirishda sirtlar ko'pincha tugunlar va elementlar to'ri bilan ifodalanadi, shuning uchun bu diskret to'rga mos interpolatsion funksiyalar biriktiriladi. Juraev va hammualliflar [6] ta'kidlaganidek, PLM muhitida geometrik ma'lumotlarning diskret va parametrik ko'rinishlarini integratsiya qilish zamonaviy muhandislik loyihalashining muhim talabidir.

6. MUAMMO QO'YILISHI: MAVJUD USULLARNING CHEKLOVLARI VA TADQIQOT YO'NALISHI

Adabiyotlarning keng tahlili shuni ko'rsatadiki, murakkab texnik sirtlarni geometrik va kompyuter modellashtirish sohasida bir qator hal etilmagan muammolar mavjud:

- NURBS sirtlari yuqori matematik aniqlik ta'minlashda, global parametrik ta'rif tufayli lokal o'zgartirishlar butun sirt geometriyasini qayta hisoblashni talab qiladi. Bu katta hajmli va murakkab sirtlar uchun hisoblash murakkabligini sezilarli oshiradi [3, 4].

- Diskret (mesh) va subdivision usullar moslashuvchanroq, biroq g'oyoviy sirtlarda G1 va G2 uzluksizlik shartlarini kafolatlash muammosi hali to'liq yechilmagan. Ayniqsa, keskin o'tkir qirralar va singular nuqtalar atrofida uzluksizlikni saqlash qiyinchilik tug'diradi.
- Kinematik usullar murakkab erkin shaklli sirtlar uchun to'liq avtomatik parametrik ta'rifni ta'minlamaydi: generatriza va yo'naltiruvchini har doim ham analitik tarzda aniqlash mumkin emas, bu esa avtomatik model yangilanishini cheklaydi [8, 9].
- Chizma geometriya apparatining asosiy vositalari krininant, diskriminant va envelope nazariyasi – zamonaviy CAD va CAGD tizimlariga yetarlicha integratsiyalanmagan. Bu ikki paradigma o'rtasida to'liq metodologik ko'priq mavjud emas [9].
- Moldbord sirtlari, kemalar bort sirtlari va shunga o'xshash murakkab sirtlar uchun yagona, umumlashtirilgan modellashtirish metodologiyasi, kinematik, interpolatsion va CAD parametrik yondashuvlarni birlashtiruvchi ishlab chiqilmagan.

Yuqoridagi cheklovlarni tahlil qilish asosida ushbu dissertatsiya tadqiqotining ilmiy muammosi quyidagicha shakllantiriladi: murakkab texnik sirtlarni geometrik va kompyuter modellashtirish uchun mavjud usullarning hisoblash murakkabligi, lokal uzluksizlik va parametrik ta'rifning cheklovlarini bartaraf etuvchi yangi yoki takomillashtirilgan usullar va algoritmlarni ishlab chiqish.

Tadqiqotning asosiy ilmiy yangiligi quyidagi yo'nalishlarda kutilmoqda: kinematik va interpolatsion usullarni NURBS parametrik ta'rif bilan birlashtiruvchi giprid algoritmi; chizma geometriya krininant-diskriminant apparatini CAD modellashtirish jarayoniga integratsiyalash metodikasi; murakkab erkin shaklli sirtlar uchun lokal G2 uzluksizlikni kafolatlash usuli.

7. XULOSA

Ushbu maqolada murakkab texnik sirtlarni geometrik va kompyuter modellashtirishning nazariy asoslari keng tahlil qilindi. Quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

- 3D geometrik modellashtirish sinflari, wireframe, sirt va qattiq jism modellari, o'z imkoniyatlari va cheklovlari bilan har xil muhandislik vazifalariga mos keladi. Parametrik, splayn va NURBS sirtlari zamonaviy CAD tizimlarining matematik asosini tashkil qiladi.
- BRep va CSG topologik yondashuvlar bir-birini to'ldiradi: CSG konstruktiv tarixni saqlaydi, BRep esa hisoblash natijasini ifodalaydi. Parametrik va cheklov asosidagi modellashtirish loyihalash bosqichlari o'rtasida izchillikni ta'minlaydi.
- Chizma geometriya apparati, krininant, diskriminant, envelope nazariyasi, murakkab sirtlarni tasvirlash va ularning o'zaro kesishish chiziqlarini aniqlash uchun muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. Bu apparatni zamonaviy CAD bilan integratsiyalash istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.
- Kinematik va diskret interpolatsion usullar NURBS bilan birgalikda murakkab erkin shaklli sirtlarni to'liq va aniq ifodalash imkonini beradi. Biroq ularning giprid integratsiyasi va lokal uzluksizlik kafolati masalasi tadqiqot talab qiladi.

Ushbu tahlil asosida aniqlangan ilmiy muammo – mavjud usullar cheklovlarini bartaraf etuvchi yangi algoritmlar yaratish – ushbu dissertatsiya tadqiqotining asosiy yo'nalishini belgilaydi va muhandislik geometriyasi hamda kompyuter grafikasi sohasiga munosib hissa qo'shadi.

ADABIYOTLAR

1. Mortenson M.E. Geometric Modeling. – New York: Wiley, 1985. – 512 p.
2. Hoffmann C.M. Geometric and Solid Modeling: An Introduction. – Morgan Kaufmann, 1989. – 338 p.
3. Farin G. Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide. – 5th ed. – Academic Press, 2002. – 520 p.
4. Piegl L., Tiller W. The NURBS Book. – 2nd ed. – Springer, 1997. – 646 p.
5. Stroud I. Boundary Representation Modelling Techniques. – Springer, 2006. – 800 p.
6. Juraev T.X., Mamatov A.G. va b. PLM tizimlarida geometrik ma'lumotlarni boshqarish metodologiyasi // Muhandislik grafikasi masalalari. – Toshkent, 2021.
7. Начертательная геометрия и инженерная графика / Под ред. Н.Н. Крылова. – М.: Высшая школа, 2002. – 224 с.
8. Panchuk K.L., Lyashkov A.A. va b. Kinematik sirtlar uchun kesishish chizig'ini aniqlash algoritmi // Geometriya va grafika. – 2020. – T. 8. – № 2. – B. 14–25.
9. Lyashkov A.A. va b. Diskriminant sirtlar nazariyasi va real envelope modellash // CAGD masalalari. – 2019. – B. 44–58.
10. Маньков В.В. Геометрическое и компьютерное моделирование технических поверхностей. – СПб.: Политехника, 2005. – 267 с.