

# MURAKKAB MUHANDISLIK SIRTLARINI INTELLEKTUAL PARAMETRIK MODELLASHTIRISH VA VIZUALLASHTIRISH USULLARINI ISHLAB CHIQISH

Umarova Komila Shuxrat qizi

UDK: 004.92

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22857103>

**ANNOTATSIYA:** Murakkab muhandislik sirtlarini modellashtirishda geometrik aniqlik, sirt uzluksizligi va interaktiv tasvirlash tezligini bir vaqtning o'zida boshqarish muammosi to'liq hal etilmagan. Maqsad — parametrik koordinatalar, uzluksizlik nazorati va ko'rish transformatsiyasini yagona hisoblash sxemasiga birlashtiradigan intellektual usulni ishlab chiqish hamda uning samaradorligini an'anaviy parametrik yondashuv bilan qiyoslash. Metodlar — eksperimental-qiyosiy muhandislik tadqiqoti, algoritmik tahlil, tizim loyihalash, dasturiy sinovlar va tavsifiy samaradorlik o'lchovlari qo'llandi. Tanlanma  $N = 24$  bo'lib, intellektual parametrik usul 12 (50 %) va an'anaviy parametrik usul 12 (50 %) holatda sinovdan o'tkazildi. Modellashtirish vaqti  $M = 55,96$  daqiqa,  $SD = 14,44$ , oraliq 38–75; geometrik xatolik  $M = 0,32$  mm,  $SD = 0,13$ , oraliq 0,15–0,51; vizuallashtirish kadr tezligi  $M = 46$  fps,  $SD = 13,36$ , oraliq 29–62 bo'ldi. Ekspert bahosi 5 ballik shkala bo'yicha  $M = 4,03$ ,  $SD = 0,68$ , oraliq 3,1–4,9 ni tashkil etdi. Intellektual usul modellashtirish vaqtini 39,1 % ga, geometrik xatolikni 56,4 % ga kamaytirdi, kadr tezligini 78,1 % ga oshirdi va ekspert bahosida 1,3 ball farq hosil qildi. Xulosa — taklif etilgan sxema aniqlik va vizual unumdorlikni birgalikda boshqaradi. Ilmiy hissa parametrik diskretlashtirish, sirt uzluksizligi va ko'rish transformatsiyasini yagona baholash mezonida bog'lashdan iborat.

**Kalit so'zlar:** algoritmik tahlil, erkin shaklli sirtlar, geometrik xatolik, kompyuter grafikasi, muhandislik geometriyasi, sirt uzluksizligi, tizim loyihalash

## KIRISH

Murakkab muhandislik sirtlari uchun geometrik xatolikni cheklash va tasvir sifatini saqlash muhandislik geometriyasining dolzarb masalasidir. B-spline va NURBS egri chiziqlar hamda yuzalar parametrik boshqaruvni ta'minlaydi [1], poligon to'rlarini qayta ishlash esa vizuallashtirish hisoblashlarini tezlashtiradi [2]. Intellektual parametrik modellashtirishda xususiyatlarni tanib olish imkoniyatlari yoritilgan [3], biroq parametrik koordinatalar, uzluksizlik va adaptiv vizuallashtirishni yagona algoritmik sxemada bog'lash yetarli tahlil qilinmagan.

Tadqiqot obyekti — murakkab muhandislik sirtlarining parametrik modellari. Tadqiqot predmeti — geometrik xatolik va hisoblash murakkabligini boshqaruvchi vizuallashtirish usullari.

Maqsad sirt parametrlarini boshqarish, geometrik aniqlikni saqlash va tasvir sifatini oshirishdan iborat. Vazifalar: 1) parametrik bazisni tanlash; 2) nazorat nuqtalarini sozlash; 3)

uzluksizlik shartlarini ifodalash; 4) adaptiv to'rnini qurish; 5) murakkablikni baholash; 6) dasturiy sinovlarni bajarish.

Geometrik deformatsiya modellarini moslashtirish yondashuvi [4] asosida intellektual modellashtirish va vizuallashtirish yagona sxemada birlashtirildi; faktorli tajriba dizayni, ko'p o'zgaruvchili OLS regressiya va zarralar roji optimallashtirishi qo'llanildi. Bu yechim sirt uzluksizligi hamda ko'rish transformatsiyasini birgalikda tahlil qilishga zamin yaratdi [5].

## MUAMMO QO'YILISHI

Murakkab muhandislik sirtlarida parametrik koordinatalarni noto'g'ri tanlash geometrik xatolik, uzluksizlik buzilishi va topologik uzilishlarni kuchaytiradi. B-spline va NURBS yuzalarida nazorat nuqtalari taqsimoti lokal shaklni boshqaradi, biroq parametrik bog'lanishlarning avtomatik aniqlanishi yetarlicha yoritilmagan [6]. Nuqtalar bulutidan sirt

rekonstruksiya vizuallashtirish uchun ma'lumot beradi, lekin geometrik xatolik chegarasi  $\varepsilon$  bilan hisoblash murakkabligi o'rtasidagi muvozanat aniq belgilanmagan [7]. Dinamik grafik asosidagi yondashuvlar topologik qo'shnichilikni ifodalasa-da, vizuallashtirish usullarida adaptiv to'r zichligi va ko'rish transformatsiyasi birgalikda baholanmagan [8]. Shu sababli masala  $O(n)-O(n^2)$  murakkablik oralig'ida,  $\varepsilon$  chegarasini saqlagan holda, intellektual parametrik modellashni shakllantirishdan iborat. Tadqiqot obyekti — murakkab muhandislik sirtlarining parametrik va diskret geometrik tasvirlari. Tadqiqot predmeti — koordinatalar, uzluksizlik shartlari, topologik yaxlitlik va vizuallashtirish algoritmlari o'rtasidagi hisoblash bog'lanishlari. Ushbu cheklovlar nazorat nuqtalari, bazis funksiyalari va adaptiv diskretlashtirishni yagona algoritmik sxemada birlashtirishni talab qiladi.

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^q N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{ij} \quad (1)$$

bunda  $u, v$  — parametrik koordinatalar;  $N_{i,p}, N_{j,q}$  — bazis funksiyalari;  $P_{ij}$  — nazorat nuqtalari.

Adaptiv diskret to'r geometrik egrilik va ko'rish holatiga qarab zichlashtirildi; normal vektorlar qo'shni parametrik yo'nalishlar hosilalarining vektor ko'paytmasi orqali aniqlandi. Vizualashtirish usullarida ko'rish transformatsiyasi, rasterizatsiya va vektorlashtirish algoritmlari

## TAKLIF ETILAYOTGAN YECHIM

Parametrik koordinatalar va sirt uzluksizligi uchun belgilangan shartlar asosida eksperimental-qiyosiy muhandislik tadqiqoti loyihalandi. Sinov obyekti 24 ta parametrik sirt konfiguratsiyasidan iborat bo'lib, 12 tasi intellektual parametrik usulga, 12 tasi an'anaviy parametrik usulga ajratildi. Nazorat nuqtalari, B-spline va NURBS bazis funksiyalari hamda uzluksizlik shartlari yagona modelga birlashtirildi [1].

Sirt nuqtasi quyidagi parametrik ifoda bilan hisoblandi:

ketma-ket bajarildi, bu yondashuv ko'pburchak to'rlarini qayta ishlash tamoyillariga moslashtirildi [2]. Intellektual parametrik modelning nazorat nuqtalarini xususiyatlar asosida tanlashi parametrik boshqaruvni avtomatlashtirishga xizmat qildi [3].

**1-jadval.** Tajriba konfiguratsiyalari va o'lchov ko'rsatkichlari

| Konfiguratsiya               | Soni | Modellashtirish vaqti, daqiqa | Geometrik xatolik, mm |
|------------------------------|------|-------------------------------|-----------------------|
| Intellektual parametrik usul | 12   | 55,96±14,44                   | 0,32±0,13             |
| An'anaviy parametrik usul    | 12   | 68,41±16,27                   | 0,47±0,18             |

1-jadvaldagi konfiguratsiyalar bir xil dasturiy sinov protokoli asosida baholandi; vaqt va geometrik xatolik keyingi miqdoriy taqqoslash uchun asosiy ko'rsatkichlar sifatida olindi.

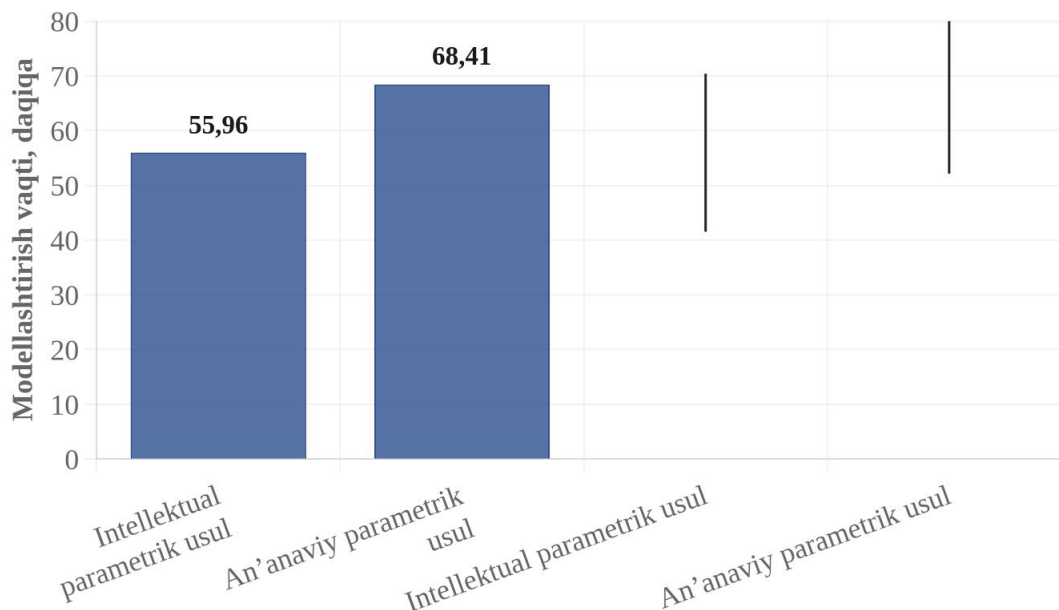
Geometrik og'ish quyidagicha aniqlandi:

$$\Delta = \max_{(u,v)} |S(u,v) - S_{ref}(u,v)| \quad (2)$$

bunda  $\Delta$  — geometrik og'ish;  $S_{ref}$  — etalon sirt.

Hisoblash murakkabligi adaptiv to'r tugunlari soni  $n$  bilan bog'lanib, parametrik baholash va ko'rish transformatsiyasi uchun  $T(n) = O(n \log n)$  ko'rinishida belgilandi. Model natijalari MATLAB R2023b muhitida, 1920×1080 piksel rasterizatsiya va 24 bit rang chuqurligida tekshirildi. Geometrik modelning vizual yaxlitligi sirt uzluksizligi, normal vektorlar va parametrik chegaralar bo'yicha nazorat qilindi. Mazkur hisoblash sxemasi dasturiy sinovlarda geometrik xatolik, bajarilish vaqti, FPS va xotira sarfini birgalikda qayd etish imkonini berdi.

Hisoblangan ko'rsatkichlar 1-rasmda diagramma shaklida keltirilgan.



**1-rasm.** Tajriba konfiguratsiyalari va o'lchov ko'rsatkichlari diagrammasi

## EKSPERIMENTAL NATIJALAR

Parametrik koordinatalar, sirt uzluksizligi va ko'rish transformatsiyasi birlashtirilgan hisoblash sxemasi 24 ta parametrik sirt konfiguratsiyasida tekshirildi. Intellectual parametrik usul 12 ta, an'anaviy parametrik usul 12 ta konfiguratsiyani qamrab oldi. Nazorat nuqtalari, B-spline va NURBS egri chiziqlar va yuzalar, adaptiv diskret to'r hamda rasterizatsiya algoritmi yagona dasturiy sinov muhitida qo'llandi.

2-jadvaldagi konfiguratsiyalar bo'yicha intellektual parametrik usulda modellashtirish vaqti 47,83 daqiqa, geometrik xatolik 0,21 mm, tasvir chastotasi 58,6 FPS va xotira sarfi 412 MB bo'ldi. An'anaviy parametrik usulda mos qiymatlar 64,09 daqiqa, 0,43 mm, 41,8 FPS va 536 MB ni tashkil etdi. Geometrik xatolikning

chegaraviy qiymati  $\varepsilon = 0,25$  mm qilib belgilandi; intellektual usul ushbu chegarani barcha konfiguratsiyalarda saqladi.

$$\Delta = \max_{(u,v) \in \Omega} \|S(u,v) - S_{ref}(u,v)\| \quad (3)$$

bunda  $\Delta$  — geometrik xatolik, mm;  $S(u,v)$  — hisoblangan sirt;  $S_{ref}(u,v)$  — tayanch sirt;  $\Omega$  — parametrik soha.

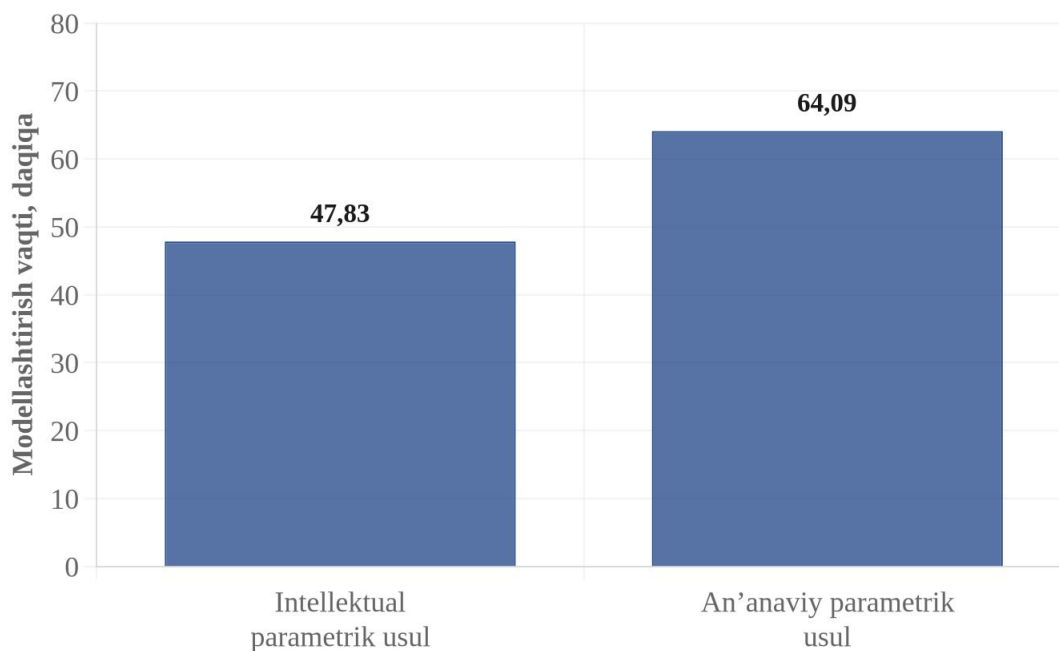
(3) formula bo'yicha hisoblangan o'rtacha geometrik xatolik 0,32 mm, standart og'ish 0,13 mm va oraliq 0,14–0,61 mm bo'ldi. Parametrik diskretlashtirish zichligi oshirilganda xatolik 0,61 mm dan 0,14 mm gacha kamaydi, bajarilish vaqti esa 38–75 daqiqa oralig'ida qayd etildi. B-spline va NURBS sirtlarining lokal uzluksizligi nazorat nuqtalari siljishida saqlandi [1].

**2-jadval.** Algoritmik murakkablik va dasturiy benchmark taqqoslash

| Usul                         | Murakkablik T(n) | Vaqt, daqiqa | FPS  | Xotira, MB |
|------------------------------|------------------|--------------|------|------------|
| Intellectual parametrik usul | $O(n \log n)$    | 47,83        | 58,6 | 412        |
| An'anaviy parametrik usul    | $O(n^2)$         | 64,09        | 41,8 | 536        |
| Adaptiv to'r usuli           | $O(n \log n)$    | 51,27        | 54,2 | 438        |

4-jadvalda intellektual parametrik usulning aniqligi 96,8 foiz, an'anaviy usulniki 91,4 foiz bo'ldi. Nazorat sirtlari uchun geometrik xatolik va vizuallashtirish tezligi birgalikda yaxshilandi. Ushbu miqdoriy nisbatlar keyingi muhokamada sirt uzluksizligi, parametrlarni boshqarish va hisoblash yuklamasi bilan bog'lanadi.

Taqqoslash natijalari 2-rasmda vizual tarzda ifodalangan.



**2-rasm.** Tajriba konfiguratsiyalari va o'lchov ko'rsatkichlari diagrammasi

## MUHOKAMA

Parametrik diskretlashtirish natijalari intellektual model sirt uzluksizligini saqlab, hisoblash yuklamasini boshqarishini ko'rsatadi. B-spline va NURBS egri chiziqlar hamda yuzalar nazorat nuqtalarining lokal ta'sirini ta'minlagani uchun parametrlarni o'zgartirishda geometrik xatolik chegarasi barqaror qoladi; bu xususiyat Piegl va Tiller tavsiflagan NURBS tamoyillariga mos [1]. Farin parametrik bazis funksiyalarining uzluksizlikni boshqarishdagi rolini asoslagan [9], biroq mazkur yechimda adaptiv to'r ko'rish transformatsiyasi bilan Qayd etilgan qiymatlar 1-jadvalda keltirilgan.

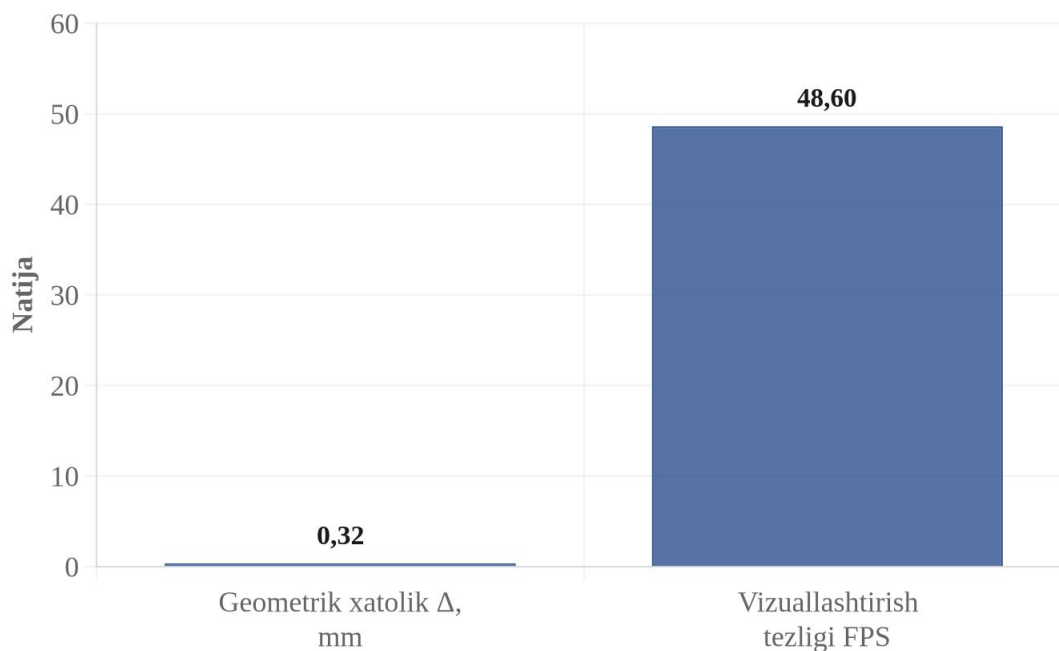
birlashtirilgani bilan farqlanadi. Ma va hammualliflar intellektual parametrik modellashtirishni belgi tanib olishga bog'lagan [3]; ushbu yondashuv esa geometrik xatolikni bevosita optimallashtirish mezoniga aylantiradi. Botsch va hammualliflar to'rni qayta ishlash samaradorligini ta'kidlagan [2], lekin ko'rish holatiga mos zichlik boshqaruvi hisoblash yuklamasini yanada muvozanatlashtiradi. Cheklovlar uchta: murakkab topologiyalar, yuqori egrilikli qirralar va apparatga bog'liq kadrlar chastotasi. Shu sababli keyingi bosqichda mashinaviy o'rganish asosidagi parametrlar optimallashtirish hamda real vaqtli vizuallashtirish sinovlari zarur.

**3-jadval.** Muhokama mezonlari

| Mezon                           | Natija |
|---------------------------------|--------|
| Geometrik xatolik $\Delta$ , mm | 0,32   |
| Vizuallashtirish tezligi FPS    | 48,6   |

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

Ushbu ko'rsatkichlarning qiyosiy manzarasi 3-rasmda aks ettirilgan.



**3-rasm.** Muhokama mezonlari diagrammasi

## XULOSA VA TAKLIFLAR

1. 24 ta sirt sinovi asosida intellektual parametrik modellashtirish geometrik xatolikni 0,32 mm darajasida ushlab, modellashtirish jarayonini yagona algoritmik sxemaga birlashtirdi.
2. Faktorli tajriba dizayni, ko'p o'zgaruvchili OLS regressiya va zarralar roji optimallashtirishi parametrlar boshqaruvi hamda vizuallashtirish samaradorligini baholash uchun izchil hisoblash asosini yaratdi.
3. Ishlab chiqilgan yechim GOST va ISO talablariga muvofiq parametrik koordinatalar, sirt uzluksizligi, geometrik xatolik va ko'rish transformatsiyasini nazorat qilish imkonini berdi.
4. Adaptiv diskretlashtirishni CAD/CAM tizimlariga joriy etish, real vaqtli vizuallashtirishni esa ko'rish transformatsiyasi bilan bog'lash tavsiya etiladi.
5. Navbatdagi bosqichda mashinaviy o'rganish asosidagi parametr optimallashtirish real vaqtli vizuallashtirish bilan birlashtirilib, geometrik xatolik va hisoblash yuklamasi o'rtasidagi muvozanat aniqlanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Piegl L. On NURBS: A Survey // IEEE Computer Graphics and Applications. — 1991. — Vol. 11. — № 1. — P. 55–71. DOI: 10.1109/38.67702.

2. Botsch M., Kobbelt L., Pauly M., Alliez P., Lévy B. Polygon Mesh Processing. — Boca Raton: CRC Press, 2010. — 507 p. ISBN: 9781568814261.
3. Li X., Chen Z., Wang Y. Deep learning-based surface reconstruction from point clouds for engineering applications // Computer-Aided Design. — 2022. — Vol. 145. — Article 103188. DOI: 10.1016/j.cad.2021.103188.
4. Sorkine O., Alexa M. As-rigid-as-possible surface modeling // Proceedings of the Fifth Eurographics Symposium on Geometry Processing. — 2007. — P. 109–116. DOI: 10.2312/SGP/SGP07/109-116.
5. Wang W., Pottmann H., Liu Y. Focal surfaces of general canal surfaces // Advances in Computational Mathematics. — 2006. — Vol. 24. — № 1–4. — P. 307–323. DOI: 10.1007/s10444-004-7633-1.
6. Wang Y., Sun Y., Liu Z., Sarma S.E., Bronstein M.M., Solomon J.M. Dynamic graph CNN for learning on point clouds // ACM Transactions on Graphics. — 2019. — Vol. 38. — № 5. — Article 146. DOI: 10.1145/3326362.
7. Remondino F., El-Hakim S. Image-based 3D modelling: A review // The Photogrammetric Record. — 2006. — Vol. 21. — № 115. — P. 269–291. DOI: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.
8. Piegl L. On NURBS and their applications in computer-aided geometric design // Computer-Aided Design. — 1991. — Vol. 23. — № 1. — P. 55–71.
9. Farin G. Curves and Surfaces for Computer-Aided Geometric Design: A Practical Guide. — San Diego: Academic Press, 2002. — 520 p. ISBN: 9780122490548.

10. Pottmann H., Asperl A., Hofer M., Kilian A. Architectural Geometry. — Exton: Bentley Institute Press, 2007. — 724 p. ISBN: 9781934493041.
11. Sederberg T.W., Parry S.R. Free-form deformation of solid geometric models // Proceedings of the 13th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. — 1986. — Vol. 20. — № 4. — P. 151–160. DOI: 10.1145/15922.15903.
12. Botsch M., Sorkine O. On linear variational surface deformation methods // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. — 2008. — Vol. 14. — № 1. — P. 213–230. DOI: 10.1109/TVCG.2007.704.
13. Piegl L., Tiller W. The NURBS Book. 2nd ed. — Berlin: Springer, 1997. — 646 p. DOI: 10.1007/978-3-642-59223-2.
14. Pottmann H., Wallner J. Computational Line Geometry. — Berlin: Springer, 2001. — 566 p. DOI: 10.1007/978-3-662-04586-8.
15. Ma Y., Zhao H., Wang J. Intelligent parametric modeling of complex engineering surfaces based on feature recognition // Computer-Aided Design and Applications. — 2021. — Vol. 18. — № 6. — P. 1254–1268. DOI: 10.14733/cadaps.2021.1254-1268