TARIXIY-MADANIY MEROS OBYEKTLARINI 3D MODELLASHTIRISH: POLIGONAL MODELLASHTIRISH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

UDK: 004.92:719

Xamrayeva Nilufar Tuyg‘un qizi,

Nishon tuman texnikumi maxsus fanlar o‘qituvchisi, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti 1-bosqich magistranti, xamrayeva631@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu tezisda tarixiy-madaniy meros obyektlarini raqamli hujjatlashtirish va saqlashning zamonaviy vositasi sifatida poligonal modellashtirish usullari tahlil qilingan. Quti (box) modellashtirish, kontur va ekstruziya asosidagi modellashtirish, bo‘linma sirtlar (subdivision surface), retopologiya hamda parametrik (modulli) poligonal modellashtirish usullari detallashuv darajasi, tahrirlash qulayligi, mehnat sig‘imi va tekstura sifati mezonlari bo‘yicha qiyosiy baholandi. Natijada meros obyektlari uchun besh bosqichli poligonal modellashtirish ish jarayoni taklif etildi. Olingan xulosalar restavratsiyani loyihalash, vizualizatsiya va virtual turizm maqsadlarida foydalanish mumkin.*

Kalit so‘zlar: *tarixiy-madaniy meros, 3D modellashtirish, poligonal modellashtirish, bo‘linma sirtlar, HBIM, raqamli hujjatlashtirish.*

Аннотация. *В тезисах проведён сравнительный анализ методов полигонального моделирования как современного инструмента цифровой документации и сохранения объектов историко-культурного наследия. Методы box-моделирования, моделирования по контурам и экструзии, поверхностей подразделения (subdivision surface), ретопологии, а также параметрического (модульного) полигонального моделирования оценены по критериям уровня детализации, удобства редактирования, трудоёмкости и*

качества текстуры. Предложен пятиэтапный рабочий процесс полигонального моделирования объектов наследия. Результаты могут применяться при проектировании реставрации, визуализации и виртуальном туризме.

Ключевые слова: *историко-культурное наследие, 3D-моделирование, полигональное моделирование, поверхности подразделения, HBIM, цифровая документация.*

Abstract. *This paper presents a comparative analysis of polygonal modelling methods as a modern tool for the digital documentation and preservation of historical and cultural heritage objects. Box modelling, contour- and extrusion-based modelling, subdivision surface modelling, retopology and parametric (modular) polygonal modelling are evaluated against level of detail, editability, labour intensity and texture quality criteria. A five-stage polygonal modelling workflow for heritage objects is proposed. The findings can be applied to restoration design, visualisation and virtual tourism.*

Keywords: *historical and cultural heritage, 3D modelling, polygonal modelling, subdivision surfaces, HBIM, digital documentation*.

1. KIRISH (Introduction)

Tarixiy-madaniy meros obyektlari xalqning tarixiy xotirasi va milliy o‘ziga xosligini ifodalovchi, qayta tiklab bo‘lmaydigan boylikdir. O‘zbekiston Respublikasining “Moddiy madaniy meros obyektlarini muhofaza qilish va ulardan foydalanish to‘g‘risida”gi Qonuni bunday obyektlarni hisobga olish, muhofaza qilish va ulardan foydalanish tartibini belgilaydi [1]. Biroq tabiiy emirilish, seysmik xavf, urbanizatsiya va noto‘g‘ri restavratsiya tufayli obyektlarning aniq holatini o‘z vaqtida hujjatlashtirish dolzarb vazifaga aylanmoqda. UNESCO ning Raqamli merosni saqlash xartiyasi ham raqamli shakldagi ma’lumotlarni kelajak avlodlar uchun asrash zarurligini ta’kidlaydi [2].

An’anaviy hujjatlashtirish usullari (qo‘lda o‘lchash, chizma, fotosurat) ikki

o‘lchamli, subyektiv va ko‘p mehnat talab qiladi. 3D modellashtirish esa obyektning geometriyasi va hajmiy shaklini yagona raqamli modelda ifodalab, restavratsiyani loyihalash, vizualizatsiya va virtual taqdim etish uchun ma’lumot bazasini yaratadi [3, 5]. Poligonal modellashtirish bu yo‘nalishda eng keng tarqalgan va moslashuvchan usul bo‘lib, obyekt sirtini uchburchak va to‘rtburchak yoqlardan iborat to‘r (mesh) bilan tasvirlaydi [3]. Shunga qaramay, amaliyotda poligonal usulning turli yondashuvlarini tanlash mezonlari yetarli darajada tizimlashtirilmagan, bu esa resurslarning nomaqbul sarflanishiga olib keladi.

Tadqiqotning maqsadi — tarixiy-madaniy meros obyektlarini poligonal modellashtirishning asosiy yondashuvlarini qiyosiy tahlil qilish hamda obyekt turiga qarab usul tanlash va modelni tayyorlash bo‘yicha ish jarayonini ishlab chiqishdir. Vazifalar: (1) mavjud poligonal usullarni tasniflash; (2) ularni baholash mezonlarini aniqlash; (3) poligonal modellashtirish ish jarayonini taklif etish.

2. METODLAR (Methods)

Tadqiqotda ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish, qiyosiy tahlil va jarayonni modellashtirish usullaridan foydalanildi. Poligonal mesh nazariyasi va amaliy yo‘riqnomalar [3, 4, 9] asosida beshta yondashuv tanlandi: (i) quti (box) modellashtirish; (ii) kontur va ekstruziya (extrude) asosidagi modellashtirish; (iii) bo‘linma sirtlar (subdivision surface) usuli [4]; (iv) yuqori poligonli modeldan retopologiya orqali optimallashtirilgan model olish; (v) takrorlanuvchi elementlarni modul va modifikatorlar (Mirror, Array) orqali yaratuvchi parametrik poligonal modellashtirish, uni tarixiy bino axborot modellashtirishi (HBIM) bilan bog‘lash imkoniyati bilan [5].

Baholash oltita mezon bo‘yicha olib borildi: detallashuv darajasi, geometrik shaklning manba chizmalarga mosligi, tekstura (UV yoyma) sifati, modelni tahrirlash qulayligi, mehnat va vaqt sarfi hamda modeldan keyinchalik foydalanish imkoniyati. Modellashtirish vositalari sifatida Blender [9], 3ds Max va Maya ko‘rib chiqildi. Ma’lumotlarning ilmiy ishonchliligini ta’minlash uchun London xartiyasi [6] va Sevilya tamoyillarining [7] shaffoflik va hujjatlashtirish talablari mezon

sifatida qabul qilindi.

3. NATIJALAR (Results)

Qiyosiy tahlil natijalari 1-jadvalda keltirilgan. Baholash sifat tavsifiga ega bo‘lib, obyekt murakkabligi, manba ma’lumotlarning (chizma, o‘lchov, arxiv materiallari) to‘liqligi va modelchi malakasiga bog‘liq holda o‘zgaradi.

1-jadval. Meros obyektlarini poligonal modellashtirish usullarining qiyosiy tavsifi (adabiyotlar tahlili asosida [3–5, 9])

Usul	Detallashuv darajasi	Tahrirlash qulayligi	Mehnat sig‘imi	Asosiy cheklov
Quti (box) modellashtirish	O‘rta	Yuqori	Past	Murakkab ornamental detallar uchun yetarli emas
Kontur va ekstruziya asosida	O‘rta–yuqori	Yuqori	O‘rta	Aniq chizmalar (reja, fasad, kesim) talab etiladi
Bo‘linma sirtlar (subdivision)	Yuqori (silliq sirtlar)	O‘rta	O‘rta	Qirralar yumshab ketishi mumkin; qirra (crease) nazorati kerak
Yuqori poligonli model + retopologiya	Juda yuqori	Past–o‘rta	Yuqori	Ko‘p vaqt sarflanadi, malakali mutaxassis talab etiladi
Parametrik (modulli) poligonal	O‘rta–yuqori	Juda yuqori	O‘rta	Takrorlanmaydigan, nosimmetrik bo‘lmagan elementlarda samarasiz

Tahlil asosida meros obyektlarini poligonal modellashtirish uchun quyidagi besh bosqichli ish jarayoni taklif etildi:

1. Tayyorgarlik: obyekt pasportini o‘rganish, ruxsatnomalarni olish, arxiv chizmalari, o‘lchov ma’lumotlari va tarixiy manbalarni yig‘ish.
2. Ma’lumotlarni tayyorlash: reja, fasad va kesim chizmalarini yagona masshtabga keltirish, o‘lchamlarni o‘lchov ma’lumotlari bilan

tekshirish, chizmalarni modellashtirish dasturida tayanch (reference) tekisliklarga joylashtirish.

3. Poligonal modellashtirish: asosiy hajmni quti usulida qurish, egri va murakkab elementlarni (gumbaz, kamar, ornament) bo‘linma sirtlar bilan yaratish, takrorlanuvchi elementlarni (ustun, tokcha) modul va modifikatorlar orqali ko‘paytirish.

4. Optimallashtirish va teksturalash: topologiyani tozalash, poligon sonini kamaytirish (LOD), UV yoyma va PBR materiallarni hosil qilish.

5. Sifat nazorati va arxivlash: modelni manba chizmalar bilan ustma-ust qo‘yib solishtirish, taxminiy qismlarni ajratib ko‘rsatish, ochiq formatlarda (OBJ, glTF, IFC) saqlash, metama’lumot va manbalar hujjatini biriktirish [6, 7].

4. MUHOKAMA (Discussion)

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, universal usul mavjud emas: quti va kontur asosidagi modellashtirish oddiy hajmli shakllar va umumiy me’moriy massa uchun, bo‘linma sirtlar va retopologiya gumbaz, kamar kabi egri sirtli hamda yuqori detalli elementlar uchun, parametrik modul yondashuvi esa ustun, tokcha, naqsh kabi takrorlanuvchi elementlar uchun maqbuldir [3, 4]. Ularni birgalikda qo‘llash — asosiy hajmni quti usulida qurish, murakkab elementlarni alohida modellashtirish va modul sifatida takrorlash — Registon, Shohi Zinda yoki Ichan Qal’a kabi murakkab me’moriy majmualar uchun maqsadga muvofiq deb hisoblanadi. Optimallashtirilgan poligonal model virtual turizm va ommaviy taqdimot uchun qulay, chunki uni glTF kabi formatlarda real vaqtda ko‘rsatish mumkin [8]; HBIM esa uni restavratsiya uchun parametrik va semantik ma’lumotli modelga aylantirish imkonini beradi [5].

Poligonal usulning asosiy cheklovi shundaki, model geometriyasining aniqligi manba ma’lumotlarning (chizma, o‘lchov, arxiv hujjatlari) to‘liqligi va modelchi talqiniga bog‘liq; shu sababli yo‘qolgan yoki taxminiy qismlarni ajratib ko‘rsatish va manbalarni hujjatlashtirish zarur [6, 7]. Amaliy qo‘llashdagi boshqa

muammolar: yagona milliy standartlar va metama’lumot talablarining to‘liq shakllanmaganligi hamda malakali kadrlar yetishmasligi. Tadqiqotning cheklovi shundaki, u adabiyot tahliliga asoslangan; kelgusida aniq obyektda modellashtirish tajribasi o‘tkazib, modelning manba chizmalarga mosligini miqdoriy tekshirish rejalashtirilgan.

XULOSA

1. 3D modellashtirish tarixiy-madaniy meros obyektlarini ko‘rgazmali, tahrirlanuvchi va uzoq muddat saqlanadigan shaklda hujjatlashtirishning samarali vositasidir.

2. Poligonal modellashtirishda usulni tanlash obyekt shaklining murakkabligi, manba ma’lumotlarning to‘liqligi va mavjud vaqt resursiga bog‘liq; quti, bo‘linma sirt va modulli yondashuvlarni uyg‘unlashtirish eng maqbul natija beradi.

3. Taklif etilgan besh bosqichli ish jarayoni manbalarni hujjatlashtirish, sifat nazorati va arxivlashni o‘z ichiga olib, ma’lumotlarning ilmiy ishonchliligini ta’minlaydi.

4. Olingan natijalar milliy raqamli meros ma’lumotlar bazasini shakllantirishda metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining “Moddiy madaniy meros obyektlarini muhofaza qilish va ulardan foydalanish to‘g‘risida”gi Qonuni, 30.08.2001-y., 269-II-son. — Toshkent, 2001.

2. UNESCO. Charter on the Preservation of Digital Heritage. — Paris, 2003.

3. Botsch M., Kobbelt L., Pauly M., Alliez P., Lévy B. Polygon Mesh Processing. — Natick: A K Peters/CRC Press, 2010.

4. Catmull E., Clark J. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes // Computer-Aided Design. — 1978. — Vol. 10, No. 6. — P. 350–355.

5. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic Building Information Modelling (HBIM) // Structural Survey. — 2009. — Vol. 27, No. 4. — P. 311–327.

6. The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage. Version 2.1. — 2009.

7. The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology. — Seville, 2011.

8. Khronos Group. glTF 2.0 Specification [Electronic resource]. — URL: https://registry.khronos.org/glTF/

9. Blender Foundation. Blender Reference Manual: Modeling [Electronic resource]. — URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/