Qabul qilindi: 3-oktabr 2026-yil • Ma’qullandi: 8-oktabr 2026-yil • Nashr qilindi: 13-oktabr 2026-yil

MAHALLIY ARXITEKTURA OBYEKTLARINI PARAMETRIK GEOMETRIK MODELLASHTIRISH VA RAQAMLI REKONSTRUKSIYA QILISH USULLARI

Erkaboyev Sarvarbek Sanjarbek o‘g‘li
tadqiqotchi

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi arxitektura va madaniy meros obyektlarini o‘rganish, hujjatlashtirish, saqlash hamda qayta tiklash jarayonlariga yangi ilmiy yondashuvlarni joriy etish imkonini bermoqda. Ayniqsa, tarixiy va mahalliy arxitektura obyektlarining geometrik holatini raqamli muhitda aniq qayd etish, mavjud shakliy xususiyatlarini saqlagan holda uch o‘lchamli modellarini yaratish va shikastlangan yoki yo‘qolgan elementlarini ilmiy asosda rekonstruksiya qilish bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Chunki tarixiy binolarning geometrik shakli vaqt davomida tabiiy yemirilish, konstruktiv deformatsiya, iqlimiy ta’sir va inson faoliyati natijasida o‘zgarishi mumkin. Natijada an’anaviy o‘lchash va grafik qayd etish usullari obyektning murakkab fazoviy geometriyasini to‘liq ifodalashda yetarli bo‘lmay qoladi.

So‘nggi yillarda fotogrammetriya, yer usti lazerli skanerlash, Structure from Motion (SfM), nuqtalar buluti va uch o‘lchamli modellashtirish texnologiyalarining rivojlanishi arxitektura obyektlarini yuqori aniqlikda raqamlashtirish imkoniyatlarini kengaytirdi. Fotogrammetrik usul yordamida turli rakurslardan olingan tasvirlar asosida obyektning uch o‘lchamli geometriyasini tiklash mumkin bo‘lsa, yer usti lazerli skanerlash texnologiyasi obyekt sirtining fazoviy koordinatalarini zich nuqtalar to‘plami ko‘rinishida olish imkonini beradi. Ushbu ikki usulni birgalikda qo‘llash obyektning geometrik holatini yanada to‘liq va ishonchli ifodalashga xizmat qiladi.

Mazkur yo‘nalishdagi tadqiqotlarda Murphy, McGovern va Pavia tomonidan taklif etilgan Historic Building Information Modelling (HBIM) konsepsiyasi alohida ahamiyatga

ega. Mualliflar tarixiy obyektlarni lazerli skanerlash va fotogrammetrik ma’lumotlar asosida raqamli modellashtirish hamda tarixiy arxitektura elementlarini parametrik obyektlar shaklida ifodalash imkoniyatlarini asoslagan. HBIM yondashuvida bino faqat geometrik model sifatida emas, balki obyektning konstruktiv, tarixiy va texnik ma’lumotlarini birlashtiruvchi raqamli axborot muhiti sifatida qaraladi [1; 2]. Volk, Stengel va Schultmann mavjud binolarni BIM asosida modellashtirishga bag‘ishlangan tadqiqotlarida real obyektlardan olingan o‘lchov ma’lumotlarini raqamli modelga aylantirish jarayonida geometrik va semantik ma’lumotlarni integratsiyalash muhimligini ko‘rsatgan. Mualliflarning fikricha, mavjud obyektlarni raqamlashtirishda asosiy muammolardan biri real o‘lchov ma’lumotlarini intellektual BIM obyektlariga aylantirish jarayonining murakkabligidir [3]. Bu holat ayniqsa mahalliy arxitektura obyektlariga xos bo‘lgan murakkab ravoqlar, gumbazlar, ustunlar, peshtoqlar va dekorativ elementlarni modellashtirishda yaqqol namoyon bo‘ladi.

Bruno, De Fino va Fatiguso tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda HBIM texnologiyasining tarixiy binolarni diagnostika qilish, texnik holatini baholash va boshqarishdagi imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqotchilar tarixiy obyektlarning raqamli modelini yaratishda geometrik aniqlik bilan bir qatorda obyektga tegishli diagnostik va texnik ma’lumotlarni ham model bilan bog‘lash zarurligini ta’kidlagan [4]. Yang va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda esa HBIM, fotogrammetriya, lazerli skanerlash, GIS va boshqa raqamli texnologiyalarning integratsiyasi arxitektura merosini kompleks modellashtirishning istiqbolli yo‘nalishi sifatida baholangan [5].

Biroq mavjud tadqiqotlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, arxitektura obyektini skanerlash yoki fotogrammetrik usulda 3D modelga aylantirishning o‘zi uning ilmiy asoslangan raqamli rekonstruksiyasini ta’minlamaydi. Chunki oddiy poligonal yoki nuqtalar bulutiga asoslangan model obyektning geometrik qonuniyatlarini to‘liq ifodalamasligi mumkin. Ayniqsa, bir xil turdagi, ammo o‘lchamlari yoki shakliy parametrlari turlicha bo‘lgan arxitektura elementlarini qayta yaratishda parametrik yondashuvning ahamiyati ortadi. Shu sababli raqamli rekonstruksiya jarayonida obyektning faqat tashqi ko‘rinishini

emas, balki uning geometrik tuzilishini belgilovchi parametrlar va ular o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash muhim hisoblanadi. Parametrik geometrik modellashtirishning asosiy mohiyati obyekt shaklini geometrik parametrlar va ular o‘rtasidagi funksional bog‘lanishlar orqali ifodalashdan iborat. Masalan, ustun modelida balandlik, radius, diametr va kesim shakli; ravoqda tayanch nuqtalari, radius, balandlik va egrilik; gumbazda diametr, balandlik va egrilik kabi parametrlar asosiy geometrik tavsiflar sifatida olinishi mumkin. Bunda obyektning umumiy geometrik modeli parametrlar to‘plamining funksiyasi sifatida ifodalanadi: M=f(P1,P2,...,Pn). Parametrlarning o‘zgarishi modelning mos geometrik elementlarini avtomatik ravishda qayta shakllantirish imkonini beradi. Shu jihatdan parametrik model oddiy uch o‘lchamli tasvirdan farqli ravishda obyektning geometrik mantiqini saqlab qoladi.

Mahalliy arxitektura obyektlarini raqamli rekonstruksiya qilishda ushbu yondashuvning afzalligi ayniqsa shikastlangan yoki qisman yo‘qolgan elementlarni qayta tiklashda namoyon bo‘ladi. Agar obyektning saqlanib qolgan qismlaridan uning geometrik parametrlari aniqlansa, mazkur parametrlar asosida yo‘qolgan elementning ehtimoliy shaklini qayta qurish mumkin. Bunda tarixiy fotosuratlar, arxiv chizmalari, mavjud analogik elementlar va o‘lchov natijalari qo‘shimcha manba sifatida ishlatiladi. Natijada raqamli rekonstruksiya faqat vizual taxmin asosida emas, balki o‘lchangan geometrik ma’lumotlar va aniqlangan parametrik bog‘lanishlar asosida amalga oshiriladi. Shu nuqtai nazardan, mahalliy arxitektura obyektlarini parametrik geometrik modellashtirish va raqamli rekonstruksiya qilish uchun fotogrammetriya va lazerli skanerlash ma’lumotlarini yagona texnologik zanjirga birlashtirish maqsadga muvofiqdir. Dastlab obyektning fotografik tasvirlari va lazerli skanerlash ma’lumotlari olinadi. Keyingi bosqichda olingan ma’lumotlar qayta ishlanib, shovqinlardan tozalanadi va yagona koordinatalar tizimiga keltiriladi. Hosil qilingan nuqtalar buluti asosida obyektning asosiy arxitektura elementlari segmentatsiyalanadi. Shundan so‘ng har bir elementning geometrik xususiyatlari aniqlanib, parametrlar to‘plami shakllantiriladi. Mazkur parametrlar asosida parametrik 3D model ishlab chiqiladi va keyinchalik HBIM muhitiga integratsiya qilinadi.

Liu va Li tomonidan olib borilgan zamonaviy tadqiqotlarda ham HBIM yaratish jarayonida TLS va SfM kabi texnologiyalardan foydalanish keng tarqalgan bo‘lsa-da, nuqtalar bulutidan parametrik va semantik BIM obyektlariga avtomatlashtirilgan tarzda o‘tish hali ham murakkab masala ekanligi ko‘rsatilgan [6]. Bu esa mahalliy arxitektura obyektlari uchun parametrik modellashtirish algoritmlarini takomillashtirish va geometrik elementlarni aniqlash jarayonini imkon qadar avtomatlashtirish zarurligini ko‘rsatadi. Taklif etilayotgan yondashuvning muhim jihati shundan iboratki, bunda raqamli rekonstruksiya jarayoni “fotografiya–3D model” oddiy ketma-ketligi bilan cheklanmaydi. Jarayon “fotogrammetriya va TLS–nuqtalar buluti–segmentatsiya–geometrik parametrlarni aniqlash–parametrik model–HBIM–raqamli rekonstruksiya” ketma-ketligida tashkil etiladi. Bunday yondashuv orqali real obyektning mavjud holatini yuqori aniqlikda saqlash bilan bir qatorda, uning geometrik tuzilishini tahlil qilish va zarur hollarda modelni qayta parametrizatsiya qilish imkoniyati yaratiladi.

Mahalliy arxitektura obyektlarining raqamli modellarini yaratishda NURBS kabi matematik modellashtirish vositalaridan foydalanish ham murakkab egri sirtlarni ifodalash imkoniyatlarini kengaytiradi. Bunday yondashuv gumbaz, ravoq, dekorativ egri chiziqlar va boshqa murakkab shaklli elementlarni yuqori darajada aniqlik bilan ifodalashga xizmat qilishi mumkin. Shu bilan birga, parametrik modelga tarixiy va texnik ma’lumotlarning biriktirilishi uni oddiy vizual modeldan foydalanishga yaroqli raqamli axborot tizimiga aylantiradi.

Adabiyotlar tahlili asosida aytish mumkinki, hozirgi vaqtda arxitektura merosini raqamlashtirish bo‘yicha fotogrammetriya va lazerli skanerlash texnologiyalari yetarlicha rivojlangan, biroq olingan katta hajmdagi geometrik ma’lumotlarni avtomatik yoki yarim avtomatik tarzda mazmunli parametrik obyektlarga aylantirish masalasi to‘liq hal etilmagan. Shuningdek, mahalliy arxitektura obyektlariga xos bo‘lgan individual geometrik elementlar uchun parametrlar tizimini shakllantirish, parametrlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash va ularni raqamli rekonstruksiya jarayonida qo‘llash bo‘yicha yagona yondashuvni ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifa bo‘lib qolmoqda va mahalliy arxitektura obyektlarini

parametrik geometrik modellashtirish va raqamli rekonstruksiya qilishning takomillashtirilgan usulini ishlab chiqish obyektlarning geometrik holatini aniq hujjatlashtirish, ularning raqamli arxivini shakllantirish, tarixiy shakl va konstruktiv xususiyatlarini saqlash hamda restavratsiya jarayonlarini ilmiy asoslash imkonini beradi. Taklif qilinayotgan yondashuv kelgusida raqamli monitoring, virtual vizualizatsiya, restavratsiya loyihalarini ishlab chiqish va madaniy meros obyektlarining uzoq muddatli raqamli saqlanishini ta’minlash uchun metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

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

2. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 76. – P. 89–102.

3. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 38. – P. 109–127.

4. Bruno S., De Fino M., Fatiguso F. Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management // Automation in Construction. – 2018. – Vol. 86. – P. 256–276.

5. Yang X., Grussenmeyer P., Koehl M., Macher H., Murtiyoso A., Landes T. Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques // Journal of Cultural Heritage. – 2020. – Vol. 46. – P. 350–360.

6. Liu J., Li B. Heritage Building Information Modelling (HBIM): A Review of Published Case Studies // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2024. – Vol. XLVIII-1. – P. 387–393.

7. Lovell L. J., Davies R. J., Hunt D. V. L. The Application of Historic Building Information Modelling (HBIM) to Cultural Heritage: A Review // Heritage. – 2023. – Vol. 6, No. 10. – P. 6691–6717.

8. Remondino F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning // Remote Sensing. – 2011. – Vol. 3, No. 6. – P. 1104–1138.

9. Grussenmeyer P., Landes T., Doneus M., Lerma J. L. Basics of Photogrammetry // 3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage. – 2016.

10. Quattrini R., Pierdicca R., Morbidoni C. Knowledge-based data enrichment for HBIM: a case study on thematic mapping // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2017.

