

BIM VA SUN'IY INTELLEKT INTEGRATSIYASI ORQALI QURILISH JARAYONLARINI RAQAMLASHTIRISH

PhD, dotsent, Bo'ronov N.S.

Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti

DIGITIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES THROUGH BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION

PhD, Associate Professor, N.S. Buronov

Turin Polytechnic University in Tashkent

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ BIM И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

PhD, доцент Н.С. Буронов

Туринский политехнический университет в Ташкенте

Annatatsiya

Sun'iy intellekt yordamida BIM ma'lumotlarini tahlil qilish va qurilish jarayonini raqamlashtirish ushbu tadqiqotning markaziy yo'nalishini tashkil etadi. Tadqiqotning maqsadi — so'nggi yillarda ortib borayotgan ma'lumotlar hajmi, real vaqt monitoringi talablari va resurslarni optimallashtirish ehtiyojlari fonida SI-BIM integratsiyasining imkoniyatlarini baholashdir. Metodologiya sifatida tizimli yondashuv, kontent-tahlil va xalqaro tajriba tahlili qo'llanilib, 2015–2025-yillarda Google Scholar, Springer va ResearchGate'da e'lon qilingan manbalar o'rganildi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, mashinaviy o'qitish, kompyuter ko'rish, tabiiy tilni qayta ishlash va prediktiv analitika BIM modellarida kolliziylarni avtomatik aniqlash, xarajat va muddatlarni prognozlash, xavfsizlik monitoringini kuchaytirish, ekspluatatsiya jarayonini optimallashtirish va loyiha ishtirokchilari o'rtasidagi raqamli hamkorlikni takomillashtiradi. AQSh, Buyuk Britaniya, Janubiy Koreya va Singapur tajribalari SI-BIM integratsiyasi infratuzilma va yirik qurilish loyihalarida yuqori samaradorlik berayotganini tasdiqlaydi.

Tadqiqotdan kelib chiqqan xulosaga ko'ra, SI va BIM uyg'unlashuvi qurilishning to'liq raqamli transformatsiyasi uchun strategik ahamiyatga ega bo'lsa-da, ma'lumotlar sifati, standartlar mosligi, integratsiya murakkabligi va malakali kadrlar yetishmovchiligi kabi muammolar hal qilinishi lozim bo'lgan dolzarb masalalar bo'lib qolmoqda.

Abstract

The analysis of BIM data using artificial intelligence and the digitalization of the construction process constitute the central focus of this study. The aim is to assess the potential of AI-BIM integration in the context of increasing data volumes, real-time monitoring requirements, and the need for resource optimization. The methodology includes a systematic approach, content analysis, and a review of international practices, examining sources published between 2015 and 2025 in Google Scholar, Springer, and ResearchGate. The findings indicate that machine learning, computer vision, natural language processing, and predictive analytics enhance BIM by enabling automated clash detection, cost and schedule forecasting, improved safety monitoring, optimized facility operation, and more efficient digital collaboration among project stakeholders. Case studies from the USA, the United Kingdom, South Korea, and Singapore confirm the high effectiveness of AI-BIM integration in infrastructure and large-scale construction projects.

According to the study's conclusions, while the synergy between AI and BIM is strategically significant for the full digital transformation of the construction sector, several challenges remain unresolved, including data quality issues, standard compatibility, integration complexity, and the shortage of qualified specialists.

Аннотация

Анализ данных BIM с использованием искусственного интеллекта и цифровизация строительного процесса составляет центральное направление данного исследования. Цель исследования — оценить возможности интеграции ИИ и BIM в условиях растущего объёма данных, требований к мониторингу в реальном времени и необходимости оптимизации ресурсов. В качестве методологии применены системный подход, контент-анализ и изучение международного опыта; были проанализированы источники, опубликованные в 2015–2025 годах в Google Scholar, Springer и ResearchGate. Анализ показывает, что машинное обучение, компьютерное зрение, обработка естественного языка и предиктивная аналитика позволяют автоматически выявлять коллизии в BIM-моделях, прогнозировать стоимость и сроки, усиливать контроль техники безопасности, оптимизировать эксплуатационные процессы и повышать цифровое взаимодействие между участниками проекта. Опыт США, Великобритании, Южной Кореи и Сингапура подтверждает высокую эффективность интеграции ИИ–BIM в инфраструктурных и крупных строительных проектах.

Согласно выводам исследования, несмотря на стратегическую значимость синергии ИИ и BIM для полной цифровой трансформации строительства, остаются нерешёнными проблемы качества данных, совместимости стандартов, сложности интеграции и нехватки квалифицированных кадров.

Kalit so'zlar: *Sun'iy intellekt (AI), BIM, AI–BIM integratsiyasi, qurilish jarayonlarini raqamlashtirish, generativ loyihalash, bashoratli modellash (Predictive analytics), loyiha boshqaruvi va monitoring, raqamli qurilish (Digital construction), AIoT (Sun'iy intellekt + IoT) monitoring tizimlari, raqamli transformatsiya*

Keywords: *Artificial Intelligence (AI), BIM, AI–BIM integration, construction digitalization, generative design, predictive analytics, project management and monitoring, digital construction, AIoT (AI + IoT) monitoring systems, digital transformation.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект (AI), BIM, интеграция AI–BIM, цифровизация строительных процессов, генеративное проектирование, предиктивное моделирование (Predictive analytics), управление проектами и мониторинг, цифровое строительство (Digital construction), AIoT (AI + IoT) системы мониторинга, цифровая трансформация.*

1. KIRISH

XXI asr qurilish va arxitektura sohasida raqamli transformatsiya poydevorini qayta shakllantirmoqda. An'anaviy chizmalar va 2D hujjatlashuvlar o'rnini 3D va ko'p o'lchamli ma'lumot modellari egallab, loyihaning hayotiylik davrining barcha bosqichlarida — loyihalash, qurilish, ekspluatatsiya va saqlashda — samaradorlik, shaffoflik va koordinatsiyani oshirishga xizmat qilmoqda [1]. Bunday raqamli paradigmadagi markaziy o'rinlardan birini egallaydigan texnologiyalardan biri bu Building Information Modeling (BIM) hisoblanadi. BIM yordamida bino/inshootning geometriyasi, strukturasiyaviy ma'lumotlari, materiallar, smeta, vaqt jadvali, xizmat ko'rsatish rejasi va boshqa ma'lumotlar bitta integratsiyalashgan modelga jamlanadi. Bu esa loyiha jarayonidagi xatoliklar va nomuvofiqliklarni erta bosqichda aniqlashga imkon yaratadi [2].

Biroq so'nggi yillarda global qurilish sanoatida faqat BIM joriy etish yetarli emasligi yaqqol ko'zga tashlanmoqda. Loyihalar hajmi o'sishi, qurilish jarayonlari murakkablashuvi va ma'lumotlar hajmining keskin oshishi BIM ma'lumotlar bazasini faqat vizual va parametrik model sifatida emas, balki keng ko'lamli ma'lumot omboriga aylantirish zaruratini tug'dirdi. Shu

kontekstda, Artificial Intelligence (AI) — mashinani o'rganish, chuqur o'rganish, bashoratli tahlil va boshqa algoritmik usullar orqali — BIM ma'lumotlarini tahlil qilish, ulardan naqsh va tendensiyalarni ajratib olish hamda qurilish jarayonlarini prognozlash va optimallashtirish imkonini beradi [3, 4].

So'nggi yillarda ilmiy adabiyotlarda AI va BIM integratsiyasiga oid tadqiqotlar keskin ko'paydi. Masalan, 2024-yilda e'lon qilingan tahliliy maqolada mualliflar AI yordamida BIM va IFC ma'lumotlarining analitik tayyorligini tahlil qilgan [5]. Shuningdek, 2025-yilda nashr etilgan tadqiqot AI–BIM birlashmasi loyihalash va qurilish metodologiyalarida samaradorlik, aniqlik va qarorlarni qo'llab-quvvatlashni sezilarli darajada oshirganini ko'rsatdi — jumladan, loyihalash jarayonida takrorlanuvchi vazifalarni avtomatlashtirish, kompleks ma'lumotlarni tahlil qilish va aniq koordinatsiyani ta'minlash orqali [6].

Shu nuqtai nazardan, bizning maqolamiz maqsadi — AI yordamida BIM ma'lumotlarini chuqur tahlil qilish orqali qurilish jarayonlarini raqamlashtirish va optimallashtirish imkoniyatlarini tahliliy jihatdan ko'rib chiqishdir.

Xususan, quyidagi savollarga javob izlanadi:

- BIM ma'lumotlari AI tomonidan qanday tahlil qilinishi mumkin?
- AI–BIM integratsiyasi qurilish loyihalarining samaradorligi va aniqligini qanday oshiradi?
- Bunday integratsiyaning cheklovlari, muammolari va ular bilan bog'liq tavakkalchiliklar nimalardan iborat?
- Kelajakda AI–BIM birlashmasi qurilish sanoatida qanday istiqbollarni ochishi mumkin?

Maqolaning keyingi bo'limlarida zamonaviy adabiyotlar sharhi, metodologik yondashuv, tahliliy muhokama hamda kelajak istiqbollari keltiriladi.

2. ADABIYOTLAR SHARHI

Quyidagi fikrlarni, yaqindagi ilmiy maqolalar, tizimli sharhlar va tanqidiy izlanishlar asosida tahlil qilamiz.

Khan va boshq. (2024) 2015–2024 yillardagi 64 ta maqolani o'rganib, BIM-AI integratsiyasining muammolari va yechimlarini izohlashgan [3].

Ta'kidlanishicha, BIM loyihalari davomida astoydil ham kattaroq ma'lumotlar (BIG DATA) yig'iladi. Biroq loyiha guruhlarida mazkur katta hajmdagi ma'lumotni chuqur tahlil qilib, qimmatli ma'lumotga aylantira olishmaydi [3].

Ushbu muammolarni bartaraf etishda AI katta yordam beradi: u turli manbalardagi ma'lumotlar to'plamini tezkor tahlil qilib, jarayonlarni avtomatlashtirish va BIM modellari ichidagi ma'lumotlardan qimmatli xulosalar chiqarishga xizmat qiladi [3]. Masalan, maqolada aytilishicha, BIM-AI birikmasi yordamida loyihaning avtomatlashtirilgan loyihalash modellari, avtomatik kod tekshiruv, ishlar progressini kuzatish va umuman loyiha samaradorligini boshqarish kabi yangi imkoniyatlar yuzaga keladi [3]. Mualliflar 39 ta muammo va to'siqni aniqlab, ularni texnik, bilim, ma'lumot, tashkilot, boshqaruv va moliyaviy toifalarga ajratishgan.

Tahlillarga ko'ra ayniqsa moliyaviy va tashkiliy sohalaridagi muammolar eng jiddiy ekanligi aniqlangan [3]. Ular qatorida tezkor qaror qabul qilish, birgalikda ishlash va ma'lumotlarni boshqarish borasida strategik choralar chizish tavsiya etiladi. Bu maqolada BIM va AI konsepsiyalari bo'yicha mavjud ilmiy yondashuvlar tizimli ravishda umumlashtirilgan, BIM-AI integratsiyasi imkoniyatlari va to'siqlari kontseptual tahlil qilingan.

Valdebenito va Forcael (2025) 2022–2025 yillardagi ilmiy ishlarga asoslanib, BIM va AI integratsiyasidagi amaliyotlarni chuqur o'rganadi. Mualliflar topgan asosiy tendensiya – chuqur o'rganish (Deep Learning) usullarining kuchli ta'siri, xususan raqamli egizaklar (Digital Twins) hamda BIM model yaratish (BIMM) sohalarida [7]. 4D/5D BIM (vaqtdagi va xarajatdagi o'lchamlar) ikkinchi darajali yo'nalish bo'lib, CDE (Umumiy Ma'lumot Muhiti) va to'qnashuv

aniqlash (CD) sohalarida tadqiqotlar kamroq. Mualliflarning fikricha, BIM – qurilish axborotining markaziy zaxirasi bo'lsa, AI esa analitika va bashorat funktsiyalarini bajargan holda yaqindan real vaqt rejimida qaror qabul qilishga zamin yaratadi [7].

Shuningdek, avtomatlashtirilgan ML-model ishlashi (AutoML) va MLOps jarayonlari kabi yangi yondoshuvlar yordamida BIM modellari uchun qo'shimcha ma'lumot yaratish va yechimlarni loyihalashtirish imkoniyati ko'rsatilgan.

Tadqiqot yakunida mualliflar BIM loyihalarida standartlangan metrikalar, umumiy ma'lumotlar to'plamlari va MLOps tamoyillariga asoslangan ishlov jarayonlarini rivojlantirishni muhim masala deb hisoblaydilar. Bu esa AI texnologiyalarini haqiqiy sharoitda keng joriy etishga yordam beradi [7].

Sacks va boshq. (2020) qurilish texnologiyalarida raqamli ma'lumotlarga tayanish masalalarini tahlil qiladilar. Ular qayd etishicha, BIM qurilish obyektlarining raqamli tasviri va axborot bazasini ta'minlaydi, biroq ayni paytda BIM modellari yanada boyitish va sun'iy intellektga mos ma'lumot formatini yaratish kabi muammolar mavjud [8]. Xususan, «BIM modellari semantik jihatdan boyitilishi» va «AI uchun mos BIM namoyish shakllarini yaratish» dolzarb tadqiqot sohalarida sifatida ko'rsatilgan [8].

Demak, BIM ma'lumotlarini sun'iy intellekt orqali tahlil qilishda asosiy masalalardan biri – BIM modelini kompyuter tushunarli, boy ma'noda ifodalash va standartlashtirish ekanligi ta'kidlangan.

Heidari va boshq. (2024) 2015–2022 yillardagi adabiyotlarni o'rganib, BIM va AI integratsiyasining tendensiyalarini hamda istiqbollari ko'rib chiqdilar. Sharh natijalariga ko'ra, kelajakda BIM modellari robototexnika, bulut tizimlari, AIoT (Sun'iy Intellektli Internet of Things), raqamli egizaklar, 4D bosib chiqarish va blokcheyn kabi ilg'or texnologiyalar bilan birga qo'llashni o'rganish tavsiya qilingan [9].

Masalan, loyiha hayot tsiklida (loyihalash, qurilish, ekspluatatsiya) BIM orqali hosil qilingan ko'p atributli ma'lumotlar bazasini AI usullari bilan bog'lash orqali loyiha samaradorligi, resurs oqimi nazorati va energiya tahlillari kabi jarayonlar optimallashtirilishi mumkinligi ta'kidlangan.

O'rganilgan maqola shuningdek sun'iy intellekt bilan integratsiyalashgan aqlli tizimlarning sanoatdagi roli, ma'lumotlar oqimi va ko'pkomponent tizimlar sinxronlashuvi kabi nazariy tamoyillar haqida fikr beradi.

Alves va boshq. (2025) BIM va AI imkoniyatlarini birlashtirish orqali «aqlli» arxitektura va qurilish loyihalarini yanada takomillashtirishga e'tibor qaratadilar. Ularning fikricha, BIM 3D paramterli obyekt-based axborot hamda butun loyiha bo'ylab to'planadigan ma'lumotlar bazasini yaratadi va aytishicha, aynan ushbu ma'lumotlar to'plamini ishlatish maqsadida mashina o'rganish (ML) va chuqur o'rganish (DL) kabi SI usullari joriy etilishi dolzarb [10].

Masalan, maqolada qayd etilishicha, BIM modellari atributlaridagi ma'lumotlar AI yordamida avtomatlashtirilgan bashorat va optimallashtirish vazifalarida qo'llaniladi [10]. Tadqiqotchilar ta'kidlagan yana bir masala – sanoatda «ma'lumot-menejment» va «analitika» salohiyatini birlashtirish: ya'ni, loyiha boshqaruvi va qurilish xavfsizligini oshirish hamda xarajatlarni kamaytirish uchun BIM ma'lumotlarini AI modellarida qayta ishlash kerakligi [10].

Ushbu maqola BIM va AI uchun zarur bo'lgan ko'nikma va imkoniyatlarni aniqlab, ularni birlashtirish natijasida qurilish jarayonini qanday «aqlli» qilish mumkinligini konseptual darajada ko'rib chiqadi.

Kuta va Falteysek (2025) Sining BIM muhitidagi rolini va kelajak tendensiyalarini tahlil qiladilar. Tadqiqotda qayd etilishicha, sun'iy intellekt BIM jarayonlarini avtomatlashtirish, loyihani optimallashtirish va samarali boshqarishga qodir [11]. Masalan, loyihalash bosqichida

AI BIM modelidan tez ma'lumot olish, muammoli yo'nalishlarni aniqlash va alternativa yechimlar taklif qilish uchun foydalaniladi, qurilish bosqichida esa loyihadagi o'zgarishlarga tezkor javob berishga yordam beradi [11].

Shuningdek, ekspluatatsiya bosqichida yig'ilgan katta hajmdagi ma'lumotlarni aniq, aniq-chigal chiqara olishi ko'rsatib o'tilgan [11]. Mashina o'rganish algoritmlari yordamida loyihalardagi loyihalash kamchiliklarini topish, qurilish xavfini bashorat qilish, asbob-uskunalarini avtomatik tekshirish imkoniyatlari ta'kidlanadi [11].

Bundan tashqari, maqolada AINI BIM hamda raqamli egizaklar tushunchasi bilan integratsiyalash orqali doimiy monitoring, oldindan texnik xizmat ko'rsatish va energiya samaradorligini oshirish kabi imkoniyatlar yoritilgan [11].

Albatta, mualliflar standartlashtirilmagan ma'lumot va dasturiy ta'minot muammolari, mutaxassislar bilim yetishmasligi kabi to'siqlarni ham qayd etadilar [11].

Bu tadqiqot asosan BIM-SI bog'liqligining nazariy va amaliy jihatlarini ko'rib chiqadi hamda avtomatlashtirilgan loyihalash va qurilish jarayonlariga qo'shimcha imkoniyatlar berishini qayd etadi.

Tahlil qilingan manbalar aksariyat hollarda umumiy bino turlarini ko'zda tutadi – ya'ni yirik sanoat ob'ektlari yoki maxsus turar joy emas, balki har qanday qurilish obyektlari uchun BIM-AI integratsiyasi konsepsiyalarini ko'rib chiqadi. Maqolalarning barchasida muayyan obyekt tiplari emas, balki qurilish jarayonlarining nazariy tomonlari va raqamli transformatsiya masalalari asosiy o'rinda turadi.

Adabiyotlarda aniqlanishicha, BIM va AI integratsiyasiga oid konseptlar asosan:

- BIM modeli ma'lumotlar bazasidan SI vositalari yordamida olingan avtomatlashtirilgan tahlil va qaror qabul qilish;
- loyihalash va qurilish jarayonlarini optimallashtirish;
- loyiha hayot tsiklini kengaytirish (masalan, ekspluatatsiya va ta'mirlashda AI) hamda,;
- resurs va xarajatni tejash kabi manfaatlarga qaratilgan.

Misol uchun, Khan va hamkasblari ta'kidlaganidek, BIM loyihalari davomida yig'ilgan ma'lumotlardan foydali xulosalar chiqarishda hozirgi kunda yechim yetishmayotganligi ko'p holatlarda kuzatiladi [11]. Buning oqibatida loyiha guruhlarida katta ma'lumot omboridan yanada samarali foydalanish imkoniga ega bo'lishlari uchun sun'iy intellekt algoritmlariga ehtiyoj seziladi [11].

Valdebenito va Forcael tadqiqotida BIM asosan axborot ombori vazifasini o'tashi va SI uni tahlil qilishdan tortib qarorlar qabul qilishgacha keng ko'lamli yordam berishi qayd etiladi [7].

Umuman, manbalarda ko'rsatilishicha, chuqur o'rganish usullari ko'proq raqamli egizaklar va BIM modellashtirish sohalarida qo'llanilmoqda [7], ML esa tuzilmali ma'lumotlarni tushunish va bashorat qilish uchun qo'llaniladi.

Shuningdek, tahlillarda AI texnikasi sifatida GAN (Generativ Karashin Tarmoqlar) va AutoML MLOps platformalari ma'lumot yaratish va tarqatish jarayonlarida yordamchi sifatida qayd etilgan.

Kuta va Falteysek ma'lumotlariga ko'ra, mashina o'rganish orqali loyihadagi kamchiliklar aniqlanishi, generativ loyihalash orqali bir nechta loyihaviy variantlar yaratish mumkinligi va raqamli egizaklar asosida binolarni real vaqtda kuzatish – BIMning samarali «aqlli» foydalanishiga misol bo'lib xizmat qiladi [11].

Barcha manbalarda aytilishicha, BIM-AI integratsiyasi qurilish jarayonlarini raqamlashtirish (raqamli transformatsiya) yo'lida katta imkoniyat ochadi. Masalan, Kuta va Falteysek BIM muhiti bilan SI integratsiyasining afzalliklarini, loyihalash jarayonini

avtomatlashtirish va konstruksiyalar monitoringi kabi amaliy ko‘rinishlar orqali bayon qiladi [11].

Heidari va boshq. esa kelajakda qurilish jarayonlarida blokcheyn, robototexnika kabi ilg‘or texnologiyalar hamda AIoTni qo‘llash orqali murakkablikni kamaytirish muhim ekanini qayd etadi [9].

Barcha asarlar (ayniqsa Sharh maqolalar) BIM va AI o‘rtasidagi ilgari mavjud bo‘lgan bilim bo‘shliqlarini to‘ldirishga qaratilgan.

Masalan, Valdebenito va Forcael tizimli tahlilida BIM va AI integratsiyasini o‘lchashda standart metrikalar zarurligini, imkoniyatlar va to‘siqlarni miqyosli ko‘rsatkichlar orqali taqqoslash muhimligini qayd etadi [7].

Shuningdek, Hamida Khan va boshqalar BIM-AI integratsiyasidagi 39 ta muammo va ularning toifalanishini ko‘rsatib, bu sohada hali ham yechilmagan muammolar ko‘p ekanini namoyish etdi [3].

Umuman, adabiyotlarning umumiy xulosasi shuki: BIM ma‘lumotlarini sun‘iy intellekt bilan tahlil qilish va qurilish jarayonini raqamlashtirish to‘g‘risida so‘nggi yillarda ko‘plab ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu izlanishlar asosan konseptual va tizimli yondashuvlarga asoslangan bo‘lib, real muhitda qo‘llash va standartlarni shakllantirish kabi jihatlariga e‘tibor qaratgan.

3. TADQIQOT METODOLOGIYASI

3.1 Tadqiqot yondashuvi

- Nazariy-tahliliy yondashuv: Maqolada BIM va AI integratsiyasiga oid mavjud ilmiy adabiyotlar tahlil qilinadi, konseptual modellar va amaliy misollar keltiriladi.
- Kompilyativ yondashuv: So‘nggi 5 yil ichidagi ilmiy maqolalar, konferensiya materiallari va ochiq ma‘lumotlar manbalari (Google Scholar, Springer, ResearchGate) asosida BIM va AI integratsiyasining tendensiyalari va rivojlanish yo‘nalishlari aniqlanadi.

3.2 Ma‘lumot manbalari

- BIM bo‘yicha: Bino va inshootlarning 3D modeli, IFC formatidagi ma‘lumotlar, loyihalash va qurilish jarayoniga oid ochiq manbalar.
- AI bo‘yicha: Nazariy metodologiyalar, predictive analytics, anomaly detection, generative design va boshqa AI yondashuvlari bo‘yicha so‘nggi tadqiqotlar.
- Ilmiy manbalar: Google Scholar, Springer, ResearchGate’dagi maqolalar, tahliliy sharhlar va review maqolalar.

3.3 Tadqiqot jarayoni

1. Adabiyotlarni tanlash va saralash: So‘nggi 5 yil ichida nashr etilgan maqolalar tanlanadi; faqat BIM va AI integratsiyasiga oid nazariy tadqiqotlar olinadi.
2. Nazariy tahlil: Tanlangan maqolalar asosida quyidagilar o‘rganiladi:
 - AI algoritmlari orqali BIM ma‘lumotlarini tahlil qilishning konseptual imkoniyatlari.
 - Qurilish jarayonini raqamlashtirish va optimallashtirish yo‘nalishlari.
 - AI va BIM integratsiyasining afzalliklari va cheklovlar.
3. Konsolidatsiya: Turli manbalardagi nazariy yondashuvlar birlashtirilib, umumiy konseptual model va tahliliy xulosalar shakllantiriladi.

3.4 Tadqiqotning asosiy o‘ziga xosligi

- Faqat nazariy va tahliliy yondashuvga tayangan.
- AI yordamida BIM ma‘lumotlarini tahlil qilishning konseptual asoslari va qurilish jarayonini raqamlashtirish imkoniyatlari ko‘rsatiladi.

- Umumiy bino turlari (ko‘p qavatli uylar, ofis binolari, sanoat binolari) uchun keng qo‘llaniladigan tavsiyalar va nazariy xulosalar beriladi.

1- Diagramma. Tadqiqot metodologiyasi diagrammasi

Adabiyotlarni tanlash va saralash (2019-2025):	Nazariy tahlil:	Konsolidatsiya:	Nazariy model va tavsiyalar:
Google Scholar, Springer, ResearchGate	AI + BIM; qurilish jarayonini raqamlashtirish; afzalliklar va cheklovlar.	turli manbalardagi yondashuvlar; umumiy tahliliy xulosalar.	AI yordamida BIM ma'lumotlarini tahlil qilish; qurilish jarayonini optimallashtirish.

Diagramma izohi:

1. Adabiyotlarni tanlash va saralash: Tadqiqotning birinchi bosqichi sifatida so‘nggi 5 yil ichidagi ochiq manbalardan ilmiy maqolalar tanlanadi. Faqat nazariy va konseptual tadqiqotlar e‘tiborga olinadi.
2. Nazariy tahlil: Tanlangan manbalar asosida AI algoritmlari orqali BIM ma‘lumotlarini tahlil qilish imkoniyatlari va qurilish jarayonini raqamlashtirish yondashuvlari o‘rganiladi.
3. Konsolidatsiya: Turli manbalardagi konseptual yondashuvlar birlashtiriladi va umumiy tahliliy natijalar chiqariladi.
4. Nazariy model va tavsiyalar: AI yordamida BIM ma‘lumotlarini tahlil qilish va qurilish jarayonini optimallashtirish uchun nazariy konseptual model ishlab chiqiladi.

4. AI YORDAMIDA BIM MA'LUMOTLARINI TAHLIL QILISH

Sun'iy intellekt (SI) algoritmlari BIM modellariidagi geometrik va atributiv ma'lumotlarni avtomatik tarzda o'qib, ularni katta hajmdagi ma'lumot to'plami sifatida tahlil qiladi [4]. BIM modeli loyihaning 3D ko'rinishini va unga tegishli fazoviy hamda ma'lumotli xususiyatlarni (masalan, xona parametrlari, material turi, qurilish bosqichlari, xarajatlar) birlashtirgan holda ifodalaydi [12]. SI esa ushbu katta ma'lumotlar to'plamini qayta ishlash kuchiga ega, shuning uchun u loyihaning turli bosqichlari bo'yicha muhim qarorlar qabul qilish uchun tahliliy imkoniyatlarni yaratadi [3, 13].

Masalan, BIM modeli yordamida tuzilgan to'liq 3D reja asosida SI algoritmlari loyiha loyihalashidagi potensial ziddiyat va to'qnashuvlarni aniqlashi mumkin, bu esa vaqtida tuzatish choralari ko'rish va qurilish jarayonini silliq olib borishga yordam beradi [13].

4.1 Fazoviy va konstruktiv ma'lumotlarni tahlil qilish

BIM modelidagi fazoviy ma'lumotlar (joylashuv, yo'nalish, xona sig'imi kabi omillar) SI yordamida tahlil qilinib, binoning ichki tartibiga oid optimallashtirishlar amalga oshirilishi mumkin.

Masalan, AI asosidagi tahlil yordamida bino ichidagi aylanish yo'nalishlari va yo'laklarni qayta loyihalash orqali foydalanuvchi harakatini 15% ga samaraliroq qilish natijasi kuzatilgan [6].

Shuningdek, SI orqali ishlab chiqilgan 3D fazoviy model asosida favqulodda vaziyatlarda chiqish yo'nalishlari va yong'in xavfsizligi sistemalari tahlili amalga oshiriladi [4]. Konstruktiv (strukturaviy) ma'lumotlar tahliliga kelsak, SI yordamida BIM modelidagi ustunlar, kengashlar va boshqa strukturaviy elementlar uchun avtomatik hisob-kitoblar va optimallashtirishlar bajarilishi mumkin.

Tadqiqotlarda AI asosidagi FEA (finite element analysis) jarayonlari bilan po‘lat karkas loyihalashida xavfsizlikni saqlagan holda material sarfi 20% ga kamaytirilgan holatlar qayd etilgan [6] (1-rasm).

Jadval 1: AI–BIM Integratsiyasining Asosiy Afzalliklari

№	Afzallik turi	Izoh	Misol
1	Samaradorlikni oshirish	Loyiha vaqti 15–20% qisqaradi	AI yordamida BIM modelidan avtomatik to'qnashuv aniqlash
2	Xarajatlarni kamaytirish	Material sarfi 20% gacha tejash	AI asosidagi FEA tahlili
3	Xavfsizlikni kuchaytirish	Xavfli holatlarni real vaqtda aniqlash	AIoT va kompyuter ko'rishi
4	Energiya optimallashtirish	Energiya sarfini 25% gacha kamaytirish	BIM + AI simulatsiyasi
5	Boshqaruvning shaffofligi	Real vaqtda monitoring va hisobot	Raqamli egizak (Digital Twin)

Shu tariqa, SI BIM modellari orqali konstruktsiya kuchini baholab, binoning texnik xarajatlarini kamaytirishga hissa qo‘shadi.

4.2 Jadval va xarajat ma’lumotlarini tahlil qilish

BIM modelidagi jadval (jadval-grafik, loyiha bosqichlari) va xarajat ma’lumotlari ham sun’iy intellekt tomonidan chuqur o‘rganiladi. Oldingi loyihalarning jadval ma’lumotlari va haqiqiy ishchi resurslar tarixi asosida SI kelgusidagi loyihalar uchun aniqroq vaqt rejasi tuzadi.

Masalan, ob-havo sharoitlari, material etkazib berish kechikishlari, ishchi guruh samaradorligi kabi omillarni hisobga olgan holda – AI boshqaruvi ostida texnik ishlab chiqarish vaqtini oldindan bashorat qilish mumkin [13].

Bundan tashqari, SI yordamida turli “Agar-da...” (“what-if”) tahlillari bajariladi: ya’ni loyiha jadvalidagi o‘zgarishlar, material yetkazib berishdagi kechikishlar yoki byudjetdagi tebranishlar tasvirlab chiqilib, ularning loyihaga ta’siri modellashtiriladi [13]. Bu esa loyiha boshqaruviga oldindan reja tuzish va tavsiyalar berish imkonini oshiradi. Xarajatlar jihatidan, SI algoritmlari tarixiy moliyaviy ma’lumotlar va loyiha spetsifikatsiyalarini tahlil qilib, loyihaning turli komponentlari uchun batafsil va ishonchli xarajat bashoratlarini yaratadi [13].

Shu tariqa, xarajatlarni real vaqt rejimida monitoring qilish, byudjetdan ortig‘ini aniqlash va o‘z vaqtida ogohlantirishlar chiqarish orqali moliyaviy nazoratni kuchaytiradi.

4.3 Xorijiy mamlakatlardagi tajribalar (2-jadval)

- Singapur: Singapur Qurilish va Boshqaruv Boshqarmasi (BCA) 2022-yilda “Construction AI Roadmap” strategiyasini ishlab chiqdi. Ushbu yo‘l xarita BIM va AI vositalarini birlashtirishga doir standartlar va tavsiyalarni belgilaydi. Masalan, vaqt jadvali va byudjet monitoringida IFC4.3 standartini joriy etish orqali loyihalarni raqamli avtomatlashtirishni kengaytirish rejalashtirilgan [6].
- Germaniya: Germaniya sanoat 4.0 markazlari misolida sun’iy intellekt va BIM integratsiyasiga oid ilmiy va tadqiqot loyihalarini qo‘llab-quvvatlamogda. Mintaqaviy markazlar (“Centers of Excellence”) tashkil etilib, ularning ishida AI yordamida BIM ma’lumotlari bilan ishlash, masalan generativ rejalashtirish yoki MEP (mexanika, elektr, sanitariya) koordinatsiyasi bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda [6].

- Yaponiya: Yaponiya infratuzilma vazirligi (MLIT) boshchiligidagi PLATEAU dasturi doirasida shaharlarning 3D raqamli juftlik (digital twin) modellarini yaratish jarayonida AI yordamidagi vositalar keng qo'llanilmoqda. Dasturda 3D model ma'lumotlarini yangilash va avtomatik yaratish uchun sun'iy intellekt asosidagi algoritmlar ishlab chiqilgan [14].
- AQSH va boshqa: AQSHda esa yirik texnologiya kompaniyalari va hukumat tashkilotlari generativ loyihalash, loyiha boshqaruvi va xarajatlarni bashorat qilish sohalarida AI-BIM integratsiyasini tajribalamoqda. Masalan, byudjet va grafik parametrlarini bashoratlashda mashina o'rganishi texnikalari qo'llanilmoqda (manba ko'rsatilmadi).

Jadval 2: Mamlakatlar tajribasi va natijalari

Mamlakat	Loyiha / Dastur	AI-BIM Integratsiyasi Natijalari
Singapur	Construction AI Roadmap (BCA)	IFC4.3 standarti, avtomatlashtirilgan monitoring
Germaniya	Sanoat 4.0 markazlari	Generativ rejalashtirish, MEP koordinatsiyasi
Yaponiya	PLATEAU dasturi	3D raqamli egizaklar, avtomatik model yaratish
AQSh	Autodesk Construction Cloud	AutoSpecs, bashoratli boshqaruv, xarajat nazorati
Janubiy Koreya	Smart Construction 2025	AIoT, robototexnika, real vaqt monitoringi

Yuqoridagi misollar ko'rsatadiki, ilg'or mamlakatlarda AI-BIM integratsiyasi loyihalash va qurilish jarayonlarini soddalashtirishga xizmat qilmoqda. Singapur va Germaniya misolidagi strategik yo'l xaritalari hamda Yaponiya kabi davlatlarning amaliy loyihalari sun'iy intellekt va BIM sinergiyasining samarali ishlashini namoyish etadi [6].

5. QURILISH JARAYONINI RAQAMLASHTIRISH

5.1 AI va BIM integratsiyasi orqali raqamlashtirish

Sun'iy intellekt (AI) va BIM (Bina axborot modellashtirish) tizimlarining uyg'un qo'llanilishi qurilish jarayonlarini chuqur raqamlashtirishga olib keladi. BIM loyihalashning raqamli negizi bo'lib, loyihalar haqidagi ma'lumotlarni uch o'lchovli modelda jamlaydi. AI esa ushbu ma'lumotlarni tahlil qilib, loyihani avtomatlashtirish, bashoratlash va nazorat qilish imkoniyatini yaratadi [6, 13].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, AI asosidagi generativ loyihalash yechimlari loyihalashni avtomatlashtiradi, struktura va energiya samaradorligini tahlil qilishni tezlashtiradi, dastlabki bosqichdagi rejalashtirish aniqligini oshiradi va bashoratli modellashtirish orqali xatolar hamda xarajatlarni kamaytiradi [6] (3-jadval).

Jadval 2: AI-BIM integratsiyasi amaliy qo'llanilishi

Bosqich	AI-BIM qo'llanilishi	Natija
Dizayn	Generativ dizayn, to'qnashuvlarni aniqlash	Optimallashtirilgan loyiha, xatolarni kamaytirish
Qurilish	Real vaqt monitoringi, xavfsizlik nazorati	Vaqt va resurs tejash, xavfsizlikni oshirish

Ekspluatatsiya	Raqamli egizak, texnik xizmat bashorati	Uzoq muddatli xarajatlarni kamaytirish
Boshqaruv	Predictive analytics, ML asosidagi qarorlar	Samaradorlik va ishonchlilikni oshirish

Natijada qurilish jarayonlarida inson omili kamayib, qaror qabul qilishning aniqligi va samaradorligi oshadi.

5.2 Tahliliy va boshqaruv imkoniyatlari

AI va BIM integratsiyasi loyihaning barcha bosqichlarida keng ko'lamli tahliliy va boshqaruv imkoniyatlarini taqdim etadi. AI yordamida BIM modellari real vaqtda ma'lumotlar olinib, ularni avtomatik analiz qilish mumkin. Bu esa loyihani boshqarishda risklarni oldindan aniqlash, sifatni tekshirish va qaror qabul qilishni takomillashtirish imkonini beradi [6, 15].

Masalan, mashina o'rganish algoritmlari qurilish maydonidan olingan ma'lumotlarni tahlil qilib jadval va byudjet bo'yicha noma'lum yuklamalarni oldindan aniqlashi mumkin [15]. Natijada loyiha rejalashtirilgan vaqt va mablag' doirasida amalga oshirilishi ta'minlanib, nosozlik yoki kechikish kabi xavflar minimallashtiriladi.

5.3 Operatsion va strategik afzalliklar

AI-BIM yondashuvi operatsion samaradorlikni oshirish bilan birga strategik ustunliklarni ham ta'minlaydi. Operatsion darajada, takrorlanuvchi vazifalar AI yordamida avtomatlashtiriladi, bu esa xodimlarning mehnat unumdorligini oshiradi [16].

Masalan, loyihalashtirishdagi muammolar va xatolar AI avtomatik tekshiruv orqali aniqlanib, ish jarayonlari yengillashadi. Strategik jihatdan esa raqamlashtirish uzoq muddatli rejalashtirish va barqarorlikni yaxshilaydi: tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, AI-BIM texnologiyalari yordamida qurilish jarayonlarining ekologik izini kamaytirish va resurslardan samarali foydalanish natijalari sezilarli yaxshilanadi [13, 16].

Masalan, ba'zi loyihalarda AI-BIM integratsiyasi energiya sarfini optimallashtirish va texnik xizmat ko'rsatish muddatlarini bashorat qilib, obyektlarning umrini uzaytirishda muhim rol o'ynagan [16]. Shu bilan, AI va BIM uyg'unligi qurilish tashkilotlariga operatsion xarajatlarni kamaytirish va uzoq muddatli strategik maqsadlarga erishishda yordam beradi.

5.4 AI–BIM birlashmasining amaliy misollari

- Ishlab chiqarish: AI yordamida BIM ma'lumotlaridan generativ loyihalash echimlari olinadi va robototexnika vositalari yordamida konstruksion elementlar (masalan, g'isht quyish, payvandlash) ishlab chiqariladi [17].

Bu usul ishlab chiqarish jarayonini avtomatlashtirib, element sifatini va aniqligini oshiradi.

- Monitoring: Saytdagi AIoT qurilmalari va kompyuter ko'rishi tizimlari real vaqtda monitoringni amalga oshiradi.

Masalan, EarthCam va viAct platformalari AI yordamida qurilish maydonini kuzatadi, ob'ektlarning holatini tahlil qilib, xavfsizlik va unumdorlik bilan bog'liq muammolar yuzaga kelishidan oldin ogohlantirish beradi [18, 19]. Bu usullar yordamida loyihani jadvalga mos bajarilishini kuzatish va tezkor choralar ko'rish imkoniyati mavjud.

- Texnik xizmat ko'rsatish: BIM modeli ichidagi binoning inshoot va uskunalari haqida ma'lumotlar yig'ilib, AI ularni tahlil qiladi va texnik xizmatni rejalashtiradi.

Masalan, Salesforce minorasi misolida AI qurilmalarning holatini BIM modelida kuzatib, energiya sarfi va texnik xizmat muddatlarini optimallashtirgan [20]. Natijada obyektning ekspluatatsiya xarajatlari pasayadi va texnik xizmat samaradorligi oshadi.

- Xavfsizlik: Video-kamera va datchiklardan olingan ma'lumotlar AI yordamida tahlil qilinib, ish joyidagi xavfli holatlar aniqlanadi.

AI asosidagi kompyuter ko‘rish texnologiyasi yiqilish, balandlikda ishlashdagi xatolar yoki himoya jihozlarini noto‘g‘ri ishlatish kabi hodisalarni avtomatik aniqlaydi va boshliq va mutaxassislariga ogohlantirish beradi [19]. Bu qurilish maydonida xavfsizlik darajasini sezilarli darajada oshiradi.

- Byudjet nazorati: AI-BIM yondashuvida loyihaning har bir tarkibiy qismining narxi va bajarilish vaqti aniqlanib, byudjet rejimida uzluksiz nazorat qilinadi.

Masalan, Autodesk Construction Cloud platformasidagi AutoSpecs funksiyasi BIM jadvali va material spetsifikatsiyalarini AI yordamida tekshirib, yo‘qolib ketishi mumkin bo‘lgan xarajat va vaqt omillarini oldindan aniqlaydi [19]. Bu esa byudjet va jadvalni yanada ishonchli boshqarishni ta‘minlaydi.

6. KELAJAK ISTIQBOLLARI

AI va BIM texnologiyalarining integratsiyasi qurilish industriyasida jadal rivojlanayotgan va yaqin kelajakda sektorning asosiy raqobat ustunligiga aylanadigan yo‘nalishlardan biri sanaladi. So‘nggi yillarda ushbu ikki texnologiyaning sinergiyasi nafaqat loyihalash va qurilish jarayonlarini takomillashtiribgina qolmay, balki ekspluatatsiya, monitoring, texnik xizmat ko‘rsatish va uzoq muddatli boshqaruvning yangi standartlarini shakllantira boshladi. Shuningdek, turli mamlakatlarda olib borilayotgan tadqiqotlar va amaliy joriy etish tajribalari ushbu tendensiyaning kelgusida yanada chuqurlashishini ko‘rsatadi.

6.1 To‘liq avtomatlashtirilgan raqamli qurilish tizimlariga o‘tish

Kelajakda AI algoritmlarining yanada kuchayishi bilan loyihalashdan tortib ekspluatatsiyagacha bo‘lgan bosqichlar “raqamli yo‘l xaritasi” asosida boshqariladi. BIM modellarining semantik boyishi, AI tomonidan avtomatik tahlil qilinadigan ma‘lumotlarning ko‘lami kengayishi, qurilishning ko‘plab jarayonlarini inson aralashuvisiz bajarish imkonini yaratadi. Bu esa universal “Digital Construction Ecosystem” shakllanishiga zamin yaratadi.

6.2 Bashoratli boshqaruv tizimlarining keng qo‘llanilishi

Kelajak istiqbolida eng muhim yo‘nalishlardan biri — bashoratli modellashtirishning to‘liq avtomatlashtirilishi. AI algoritmlari BIM ma‘lumotlari, datchiklar, AIoT qurilmalari va qurilish maydonidan yig‘ilgan real vaqt ma‘lumotlariga tayangan holda:

- xavflarni oldindan aniqlash,
- texnik xizmat muddatlarini rejalashtirish,
- material yetkazib berish zanjirini optimallashtirish,
- ob-havo yoki tashqi omillarga mos qarorlar ishlab chiqish kabi jarayonlarni to‘liq avtomatik tarzda boshqaradi.

Bunday tizimlar bugun mavjud, biroq kelajakda ular standart yechimga aylanadi.

6.3 Sun‘iy intellekt yordamida generativ loyihalashning rivojlanishi

Generativ loyihalash hozirda dastlabki bosqichda bo‘lsa-da, yaqin yillarda u kompleks me‘moriy-texnik muammalarni avtomatik hal qiluvchi kuchli vositaga aylanishi kutilmoqda. AI yordamida binoning funksiyasi, iqlimi, energiya samaradorligi, konstruktiv yechimlari va ekspluatatsiya xarajatlari bir modelda optimallashtiriladi. Bu barcha bino turlarida — turar-joy, jamoat binolari va sanoat inshootlari uchun samarador yondashuv bo‘lib xizmat qiladi.

6.4 Kompyuter ko‘rishi asosida real vaqt monitoringining kengayishi

Kelajakda qurilish maydonlari to‘liq “aqlli kuzatuv tizimlari” bilan jihozlanadi. Kompyuter ko‘rishi asosida xavfsizlik monitoringi, xodimlar oqimi, texnika harakati, materiallar iste‘moli va bajarilgan ish hajmi avtomatik qayd etiladi. Bu tizimlar xavfsizlik standartlarini yangi bosqichga olib chiqadi va boshqaruvning shaffofligini oshiradi.

6.5 Energiya samaradorligi va barqaror qurilishning asosiy boshqaruv vositasiga aylanishi

AI va BIM integratsiyasi ekologik barqarorlikka erishishda muhim omil bo'lib qoladi. Energiya iste'molini bashorat qilish, resurslardan samarali foydalanish, chiqindilarni minimallashtirish, passiv energiya strategiyalarini generatsiya qilish — bularning barchasi AI algoritmlari orqali avtomatik shakllanadigan jarayonlarga aylanadi. Bu tendensiya kelajakda “yashil qurilish”ning global standartlashtirilgan me'yorlariga asos bo'ladi.

6.6 Raqamli egizak (Digital Twin) tizimlarining keng joriy etilishi

Kelajakda ko'plab binolar uchun real vaqt rejimidagi raqamli egizaklar yaratish odatiy amaliyotga aylanadi. AI va BIM asosida quriladigan raqamli egizaklar:

- binoning texnik holatini kuzatadi,
- foydalanish darajasi va energiya sarfini optimallashtiradi,
- ta'mirlash va xizmat ko'rsatish muddatlarini avtomatik rejalashtiradi.

Bu esa ekspluatatsiya xarajatlarini sezilarli kamaytiradi va binoning umri uzayadi.

6.7 Global miqyosda standartlashuvning kuchayishi

AI–BIM integratsiyasiga oid standartlar — metama'lumotlar formati, sifat nazorati, xavfsizlik, modeli almashish protokollari — global darajada ishlab chiqilishi kutilmoqda. Bu yondashuv:

- turli mamlakatlar o'rtasida hamkorlikni,
- qurilish mahsulotlari sifatini,
- loyiha ma'lumotlarining mosligi va izchilligini ta'minlaydi.

Natijada AI-BIM yechimlari umumjahon sanoat standartiga aylanadi.

7. XULOSA

Sun'iy intellekt va BIM texnologiyalarining integratsiyasi zamonaviy qurilish industriyasining asosiy transformatsion yo'nalishlaridan biriga aylandi. Mazkur tadqiqot davomida ushbu ikki texnologiyaning o'zaro bog'liq ravishda qanday ishlashi, bino loyihalashdan tortib qurilish, ekspluatatsiya va texnik xizmat ko'rsatishgacha bo'lgan jarayonlarda qanday nazariy va amaliy afzalliklar yaratishi tahliliy yondashuv asosida ko'rib chiqildi. Adabiyotlar sharhi shuni ko'rsatadiki, so'nggi yillarda ilmiy doiralarda AI–BIM integratsiyasi ma'lumotlar boshqaruvi, avtomatlashtirilgan tahlil, generativ loyihalash, monitoring, xavfsizlik nazorati va qarorlarni modelga asoslangan shaklda ishlab chiqish bo'yicha alohida tadqiqot yo'nalishiga aylangan.

Tadqiqot metodologiyasi doirasida AI va BIM o'zaro munosabatining nazariy poydevori, ma'lumotlar oqimining tuzilishi, tahlil tamoyillari, boshqaruv mexanizmlari va raqamli transformatsiya jarayonida yuzaga keluvchi ustuvor konsepsiyalar belgilandi. Shu asosda AI yordamida BIM ma'lumotlarini tahlil qilishning nazariy mexanizmlari o'rganildi. Xususan, AI algoritmlarining BIM modelidagi semantik elementlarni tahlil qilish orqali sifat nazorati, risklarni aniqlash, jarayonlarni optimallashtirish va loyiha boshqaruvini takomillashtirishdagi roli asoslab berildi. AI–BIM integratsiyasi qurilish jarayonining murakkabligi va ko'p bosqichlilikini inobatga olgan holda, loyiha ishonchlilik, shaffofligi va samaradorligini oshirishga xizmat qilishi ta'kidlandi.

Qurilish jarayonini raqamlashtirish bo'limida AIga asoslangan ma'lumotlar tahlili, real vaqt monitoringi, kompyuter ko'rish, risklarni oldindan aniqlash, byudjet va resurslarni boshqarish kabi yondashuvlar umumiy bino turlari uchun qanday nazariy afzalliklar yaratishi bayon etildi. Ushbu jarayonlar AI–BIM integratsiyasi natijasida raqamli boshqaruv tizimlarining shakllanishi va qurilishning to'liq raqamli ekotizimga o'tishini tezlashtirishi qayd etildi.

Kelajak istiqbollari tahlili shuni ko'rsatadiki, AI–BIM integratsiyasi global miqyosda standartlashuv, bashoratli modellashtirish, generativ loyihalashning kengayishi, aqlli monitoring

tizimlari, raqamli egizaklar va barqaror qurilish tamoyillarini rivojlantirish orqali qurilish industriyasining asosiy innovatsion vektoriga aylanadi. Yaqin 5–10 yil ichida AIga asoslangan avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari, kompleks ma'lumotlar tahlili, energiya samaradorligini boshqarish va ekspluatatsiya jarayonlarini optimallashtirish keng tarqalishi kutilmoqda.

Umuman olganda, mazkur tadqiqot shuni tasdiqlaydiki, sun'iy intellekt va BIMning integratsiyasi qurilish jarayonlarini raqamlashtirishning ilmiy-nazariy asosiga ega bo'lib, binolarni loyihalash, qurish va boshqarishda yangi paradigmani shakllantirmoqda. AI–BIM integratsiyasi nafaqat ichki jarayonlarni sodda lashtiradi, balki sanoatning raqobatbardoshligini, barqarorligini va innovatsion salohiyatini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Shu sababli, ushbu sohada nazariy tadqiqotlar va amaliy yechimlarning kengayishi kelajak qurilish ekotizimining shakllanishi uchun muhim strategik yo'nalish sifatida qaraladi.

8. ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Z. E. Matniyazov and N. S. Bo'ronov, "AN'ANAVIY VA BIM LOYIHALASH TEXNOLOGIYALARI INTEGRATSIYASI," *XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYALAR*, vol. 1, no. 4, pp. 87-109, 2025.
- [2] q. Hamidova Mohigul Hayot, "RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA ARXITEKTURA INTEGRATSIYASI: O'ZBEKISTON QURILISH SOHASIDA BIM TIZIMINING JORIY ETILISHI ISTIQBOLLARI," *ILMIY YANGILIKLAR VA INTELLEKTUAL TADQIQOTLAR*, vol. 1, no. 4, pp. 357-361, 11/01 2025.
- [3] A. A. Khan, A. O. Bello, M. Arqam, and F. Ullah, "Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies," *Technologies*, vol. 12, no. 10, p. 185doi: 10.3390/technologies12100185.
- [4] Z. Z. Rakhmatillaeva and Z. E. Matniyazov, "AI AND IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURAL DESIGN EDUCATION," 2025, pp. 108-109.
- [5] S. Du, L. Hou, G. Zhang, Y. Tan, and P. Mao, "BIM and IFC Data Readiness for AI Integration in the Construction Industry: A Review Approach," *Buildings*, vol. 14, no. 10, p. 3305doi: 10.3390/buildings14103305.
- [6] A. R. Attia, "The impact of integrating artificial intelligence and Building information modeling (BIM) systems on the development of construction methodologies," *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, vol. 16, no. 4, pp. 1537-1554, 2025/12/01 2025, doi: 10.1007/s43995-025-00193-2.
- [7] R. Valdebenito and E. Forcael, "Integrating Artificial Intelligence and BIM in Construction: Systematic Review and Quantitative Comparative Analysis," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 23, p. 12470doi: 10.3390/app152312470.
- [8] R. Sacks, M. Girolami, and I. Brilakis, "Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech," *Developments in the Built Environment*, vol. 4, p. 100011, 2020/11/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>.
- [9] A. Heidari, Y. Peyvastehgar, and M. Amanzadegan, "A systematic review of the BIM in construction: From smart building management to interoperability of BIM & AI," *Architectural Science Review*, vol. 67, no. 3, pp. 237-254, 2024.
- [10] J. L. Alves, R. P. Palha, and A. T. d. Almeida Filho, "Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence capabilities in smart architecture, engineering, construction, and operations projects," *Automation in Construction*, vol. 174, p. 106168, 2025/06/01/ 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106168>.
- [11] D. Kutá and M. Faltejsek, "The Role of Artificial Intelligence in the Transformation of the BIM Environment: Current State and Future Trends," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 18, p. 9956doi: 10.3390/app15189956.
- [12] N. Buronov, I. Fayzullaev, and M. Adasheva, "The economic efficiency of BIM technologies in design," *American journal of education and learning*, vol. 3, no. 3, pp. 442-452, 2025.
- [13] N. Rane, "Integrating Building Information Modelling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) for Smart Construction Schedule, Cost, Quality, and Safety Management: Challenges and Opportunities," *SSRN Electronic Journal*, 01/01 2023, doi: 10.2139/ssrn.4616055.

- [14] K. Mirzaei, M. Arashpour, E. Asadi, H. Masoumi, Y. Bai, and A. Behnood, "3D point cloud data processing with machine learning for construction and infrastructure applications: A comprehensive review," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 51, p. 101501, 2022/01/01/2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101501>.
- [15] C. S. Bojer, "Understanding machine learning-based forecasting methods: A decomposition framework and research opportunities," *International Journal of Forecasting*, vol. 38, no. 4, pp. 1555-1561, 2022/10/01/2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.003>.
- [16] D. Patil, "Human-artificial intelligence collaboration in the modern workplace: Maximizing productivity and transforming job roles," *Available at SSRN 5057414*, 2024.
- [17] L. Emma, "Autonomous Robotics and AI in Construction and Infrastructure Development," 02/28 2025.
- [18] J. Betta and L. Boronina, *Transparency in Project Management – from Traditional to Agile*. 2018.
- [19] G. Ng, H. Cheuk, S. Singh, and B. Sharma, "Amalgamation of smart AIoT based construction site monitoring with robotics: viAct's extended horizon," *International Journal of Engineering Science*, pp. 24-27, 11/06 2021.
- [20] A. Zabin, V. A. González, Y. Zou, and R. Amor, "Applications of machine learning to BIM: A systematic literature review," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 51, p. 101474, 2022/01/01/2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101474>.