

УДК 658.5:69.057

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.21.1206

ПОЄДНАННЯ BIM ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ БУДІВНИЦТВА

БОРОДІН М. О.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ТКАЧ Т. В.², канд. техн. наук, доц.,
ІЛЬЄВ І. М.³, канд. техн., наук, доц.,
РАКАЄВ О. М.⁴, ас.

^{1*} Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 724-96-31, e-mail: borodin.maksym@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0513-3876

² Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 231-35-79, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

³ Кафедра експлуатації і ремонту машин, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 764-96-99, e-mail: iliev.illia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

⁴ Кафедра експлуатації і ремонту машин, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 682-10-96, e-mail: rakaiev.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-3173-0140

Анотація. Предметом дослідження є процес автоматизації календарного планування будівництва шляхом інтеграції технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) та штучного інтелекту (AI) з метою оптимізації управлінських рішень у сфері будівництва. Застосування цифрових технологій у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дозволяє здійснювати автоматичний аналіз структурованих BIM-даних, прогнозувати тривалість окремих процесів і формувати оптимізований календарний план у вигляді діаграми Ганта. Результати дослідження свідчать, що впровадження запропонованої моделі істотно скорочує час планування, мінімізує вплив людського фактора на прийняття рішень і підвищує точність прогнозування. Проте, результативність таких систем значною мірою залежить від повноти даних у моделі та готовності проєктних команд до цифрової трансформації. Важливою особливістю є здатність системи адаптивно змінювати планування у відповідь на зміни проєктної документації, обмеження ресурсів і зовнішні впливи, що є критичним чинником на сучасному ринку будівництва. Такі результати пояснюються інноваційним підходом, який поєднує структурований аналіз BIM-моделей з високопродуктивними алгоритмами машинного навчання, здатними швидко обробляти великі обсяги даних. Запропонована система може бути практично застосована у девелоперських компаніях, проєктних бюро та державних установах, що займаються регулюванням будівництва. Такий підхід придатний як для типових, так і для масштабних житлових проєктів, де швидка адаптація графіків до змінних умов є критично важливою. Таким чином, результати дослідження формують підґрунтя для переходу до цифрового управління будівництвом і подальшої інтеграції інноваційних технологій у проєктне управління.

Ключові слова: штучний інтелект; BIM; календарне планування; діаграма Ганта; автоматизація; цифрові технології; оптимізація проєкту

COMBINING BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATING THE CREATION OF CONSTRUCTION SCHEDULES

BORODIN M.O.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
TKACH T.V.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
ILIEV I.M.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
RAKAIEV O.M.⁴, Ass.

^{1*} Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 724-96-31, e-mail: borodin.maksym@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0513-3876

² Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 231-35-79, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

³ Department of Construction and Road Machinery, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 764-96-99, e-mail: iliev.illia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

⁴ Department of Construction and Road Machinery, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 682-10-96, e-mail: rakaiev.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-3173-0140

Abstract. The subject of the research is the process of automating construction scheduling by integrating Building Information Modeling (BIM) technologies with Artificial Intelligence (AI) to optimize managerial decisions in the construction. The application of digital technologies combined with machine learning algorithms enables automatic analysis of structured BIM data, forecasting of the duration of individual tasks, and the generation of an optimized construction schedule in the form of a Gantt chart. The research results indicate that implementing the proposed model significantly reduces scheduling time, minimizes the impact of human error on decision-making, and enhances forecasting accuracy. A notable feature of the findings is the system’s ability to adaptively adjust scheduling in response to changes in project documentation, resource constraints, and external influences – a critical factor in today’s construction market. These results are explained by the innovative approach, which integrates structured analysis of BIM models with high-performance ML algorithms capable of processing large volumes of data rapidly. The proposed system can be practically applied in developer companies, design bureaus, and governmental bodies involved in construction regulation. This approach is applicable to both typical and large-scale projects in the housing sector, where rapid adaptation of schedules to changing conditions is crucial. Thus, the research outcomes establish a solid foundation for transitioning to digital construction management and further integration of innovative technologies in project management.

Keywords: *building information modeling; artificial intelligence; BIM; construction scheduling; Gantt chart; automation; digital technologies; project optimization*

Вступ. Сучасне будівництво вимагає високої точності у плануванні термінів виконання робіт, гнучкості в управлінні ресурсами та здатності швидко адаптуватися до змін у проєкті. Традиційні підходи до складання календарних планів часто базуються на ручному моделюванні, що є трудомістким, суб’єктивним і не завжди враховує повний спектр чинників, які впливають на хід реалізації будівельного проєкту. У зв’язку з цим зростає потреба в інтеграції цифрових інструментів, зокрема технології інформаційного моделювання будівель (BIM), та цифрових інструментів, які за наявності якісних вихідних даних можуть сприяти автоматизованому формуванню та коригуванню планів будівництва на основі аналізу даних, симуляцій та сценарного прогнозування.

Застосування BIM у поєднанні з елементами штучного інтелекту може суттєво покращити точність управління графіками, особливо у випадках типових об’єктів із повторюваною структурою робіт. Вона зменшує вплив людського чинника та підвищує точність прогнозування. Це особливо актуально в умовах високої конкуренції, загальної урбанізації та необхідності забезпечення сталого розвитку галузі. Однак на практиці ефективність такої інтеграції значною

мірою залежить від якості початкових даних, досвіду користувачів та рівня стандартизації процесів.

Також це актуально для України в контексті можливостей розвитку та відсутності необхідних людських ресурсів для покриття усіх, в тому числі будівельних, завдань в майбутньому. А оцінка ефективності AI-рішень у будівництві потребує не лише технічного, а й організаційного підходу – зміни практик, стандартів і мислення проєктних команд.

Постановка проблеми. Попри наявність потужних інструментів BIM для моделювання проєктів, їх функціонал не завжди дозволяє ефективно автоматизувати процес формування календарного плану. Водночас, існуючі методи штучного інтелекту – такі як генетичні алгоритми, нейронні мережі та машинне навчання – ще недостатньо інтегровані в практичні інструменти для планування будівництва на основі BIM-моделей. Це створює розрив між потенціалом цифрових технологій та їхнім фактичним застосуванням у проєктному менеджменті.

Проблемою є відсутність єдиного підходу до поєднання структури та даних BIM-моделі з алгоритмами оптимізації, що враховують логіку будівельних процесів, технологічні обмеження, ресурси та зовнішні чинники. Таким чином, постає

завдання розробки концептуальної та прикладної моделі, яка дозволяє здійснювати автоматизоване створення календарних планів будівництва на основі BIM-даних із залученням методів штучного інтелекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх років спостерігається зростання наукової уваги до інтеграції BIM з інтелектуальними системами управління. Зокрема, дослідження [2–4] демонструють успішні приклади використання машинного навчання для виявлення критичних шляхів, оптимізації розкладів та аналізу ризиків на основі BIM-моделей. Також активно розробляються алгоритми, що дозволяють автоматично генерувати графіки будівництва з урахуванням логічних зв'язків між роботами, параметрів ресурсів та часу.

Водночас, більшість наявних рішень залишаються фрагментарними або прототипними. Вони не забезпечують повної інтеграції з практичними інструментами, які використовуються в будівельних компаніях. Невирішеною залишається проблема забезпечення двосторонньої взаємодії між BIM-моделлю та AI-модулем, що здатен адаптувати календарний план до змін у середовищі проєкту.

Упродовж останніх двох десятиліть технологія інформаційного моделювання будівель (BIM) стала основою цифрової трансформації в архітектурно-будівельній сфері. BIM забезпечує створення інтегрованих цифрових моделей, які містять геометричну, фізичну та логістичну інформацію про об'єкт будівництва. Основними перевагами BIM є підвищення точності проєктної документації, ефективність комунікацій між учасниками проєкту та можливість виявлення конфліктів ще на етапі проєктування [1].

Водночас, автоматизоване управління часом у BIM-середовищі (4D-моделювання) залишається переважно ручним або напівавтоматизованим. Календарні плани зазвичай формуються з використанням зовнішніх інструментів (наприклад, MS Project, Primavera), що не

повністю інтегровані з BIM-моделлю. Це створює труднощі у динамічному оновленні планів, ускладнює облік змін і не дозволяє швидко реагувати на затримки.

З огляду на це, дедалі більше уваги приділяється застосуванню **методів штучного інтелекту** для автоматизації планування будівельних процесів. У низці досліджень використовуються **генетичні алгоритми, нейронні мережі, басівські моделі, алгоритми глибокого навчання та підкріплення** для вирішення задач оптимізації графіків [2].

Наприклад, в роботі [2] продемонстрована можливість використання нейронної мережі для автоматичного виявлення логіки виконання робіт на основі BIM-моделі. В роботі [3] запропоновано алгоритм багатокритеріальної оптимізації календарних планів з урахуванням наявних ресурсів, часу і вартості. Дослідження [4] поєднує машинне навчання з симуляцією Монте-Карло для оцінки ризиків затримок у будівництві.

Незважаючи на успішні експериментальні моделі, більшість рішень не мають повноцінної інтеграції з BIM-середовищем або потребують значної ручної підготовки даних. Також існує проблема слабкої взаємодії між структурою об'єкта у BIM (наприклад, ієрархія компонентів Revit) та логікою виконання будівельних робіт. Немає сталого стандарту даних для передачі інформації між BIM і AI-модулем, що ускладнює масштабування рішень.

Таким чином, актуальним є створення прототипу або архітектурного підходу, який би поєднував автоматичне витягування даних з BIM, їх обробку AI-алгоритмами, та повернення оптимізованого календарного плану до середовища візуалізації. Потреба в такій системі зростає в умовах переходу до індустрії 4.0 і прагнення до повної автоматизації управління будівництвом.

Методологія дослідження. Метою дослідження є розробка концептуального підходу та прототипу системи автоматизованого формування календарних планів будівництва на основі поєднання BIM-технологій і штучного

інтелекту. Методологія базується на інтеграції даних з інформаційної моделі будівлі (BIM) з алгоритмами машинного навчання (ML), які здатні генерувати або оптимізувати будівельні графіки на основі історичних шаблонів, логіки виконання робіт та обмежень ресурсів.

Викладення основного матеріалу.

Поєднання BIM і AI в сучасних умовах будівництва дозволяє усунути ключові недоліки традиційного планування, а саме:

- людський фактор при створенні календарних графіків;
- затримки у прийнятті рішень через необхідність ручної обробки даних;

- відсутність зворотного зв'язку між моделлю об'єкта та динамікою виконання будівельних робіт.

Методологія передбачає використання BIM-моделі як єдиного джерела структурованих даних про об'єкт, зокрема: геометрії, обсягів робіт, матеріалів, зв'язків між елементами. Ці дані витягуються, перетворюються в набір ознак для моделі, яка на основі даних формує орієнтовну структуру графіка робіт, що потребує подальшої верифікації спеціалістом. Після цього дані повертаються у BIM-середовище для візуалізації (4D-модель).

Для реалізації методології може бути використано інструменти представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Архітектура системи автоматизації календарного планування будівництва

Середовище	Функції
Блок 1: Джерело даних – BIM-модель	
Autodesk Revit	○ Формування структурованої інформаційної моделі об'єкта (LOD 300+). ○ Присвоєння параметрів будівельним елементам: категорія, об'єм, площа, матеріал, рівень, ідентифікатори залежностей. ○ Зберігання актуальних даних про об'єкт для подальшої обробки.
Блок 2: Екстрактор даних	
Dynamo for Revit	○ Автоматичний витяг потрібних параметрів з моделі. ○ Групування даних за видами робіт, зонами, послідовністю. ○ Експорт у структуровані таблиці (CSV, Excel).
Блок 3: Модуль попередньої обробки	
Python (Pandas, NumPy)	○ Очистка, нормалізація, кодування даних. ○ Визначення логічних зв'язків між елементами (наприклад, монтаж перекриття після завершення колон). ○ Формування навчального датасету.
Блок 4: ML-модель	
Scikit-learn / TensorFlow / XGBoost	○ Навчання моделі на основі історичних даних або штучно сформованих шаблонів. ○ Прогнозування тривалості операцій, черговості виконання, ресурсних обмежень. ○ Оптимізація календарного плану з урахуванням цілей (час, вартість, ресурси).
Блок 5: Постобробка та зворотна інтеграція	
Python + Excel / Dynamo	○ Перетворення прогнозованих даних у формат, придатний для імпорту до BIM. ○ Генерація 4D-послідовності або зв'язку з інструментами візуалізації. ○ Інтеграція календарного плану назад у Revit або Synchro для валідації.
Блок 6: Інтерфейс візуалізації	
Power BI / Synchro 4D / Revit Timeline	○ Візуальне представлення графіку в часі (4D-модель). ○ Можливість корекції на підставі симуляцій або обмежень. ○ Формування звітності для менеджменту проекту.

Можна окреслити наступні етапи побудови системи.

1. Побудова BIM-моделі типового об'єкта в Revit.

2. Створення Динамо-скрипту для експорту потрібних параметрів у формат Excel.

3. Формування та анотація навчального датасету на основі історичних або згенерованих проектів.

4. Розробка та навчання ML-моделі, яка прогнозує логіку виконання робіт, строки, ресурси.

5. Інтеграція виведеного плану з BIM-моделлю, перевірка за допомогою 4D-візуалізації.

6. Тестування прототипу в умовах лабораторного кейсу.

На основі вищезазначеного сформульована гібридна система автоматизації календарного планування будівництва, яка базується на модульному принципі з чітко визначеними функціональними блоками. Ці блоки забезпечують двосторонню інтеграцію між BIM-моделлю та модулями штучного інтелекту. Архітектура системи побудована як потоково-орієнтована, що дозволяє масштабування та подальшу адаптацію до проектів різної складності (таблиця 1).

Вибір алгоритму XGBoost зумовлений його високою точністю при роботі з

табличними даними та можливістю обробки нерівномірно масштабованих ознак, що властиво для даних BIM-моделей. Dynamo використано через гнучкість автоматизації Revit-базованих сценаріїв без необхідності втручання у вихідний код.

Вся система функціонує за циклічною логікою: BIM-модель → Витяг даних → Аналітика/ML → Формування плану → Візуалізація → Зворотній зв'язок. Це дозволяє не тільки автоматично створювати календарні плани, а й вдосконалювати модель у разі виявлення помилок, дефектів або змін у проекті.

Поєднання BIM та штучного інтелекту створює передумови для переходу до високого рівня автоматизації календарного планування. Водночас, повна автономія в плануванні все ще є малоімовірною без участі фахівця, який здатен інтерпретувати контекст, специфіку об'єкта і зовнішні обмеження.

На рисунку 2 побудовано алгоритм генерації календарного плану за допомогою штучного інтелекту на основі BIM моделі.

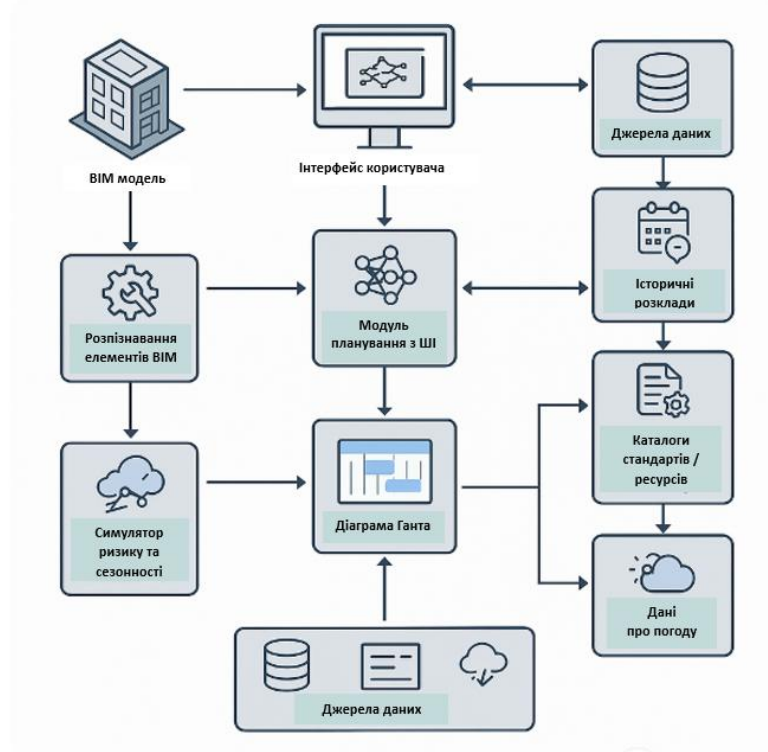


Рис. 1. Архітектура системи: AI-BIM Planner

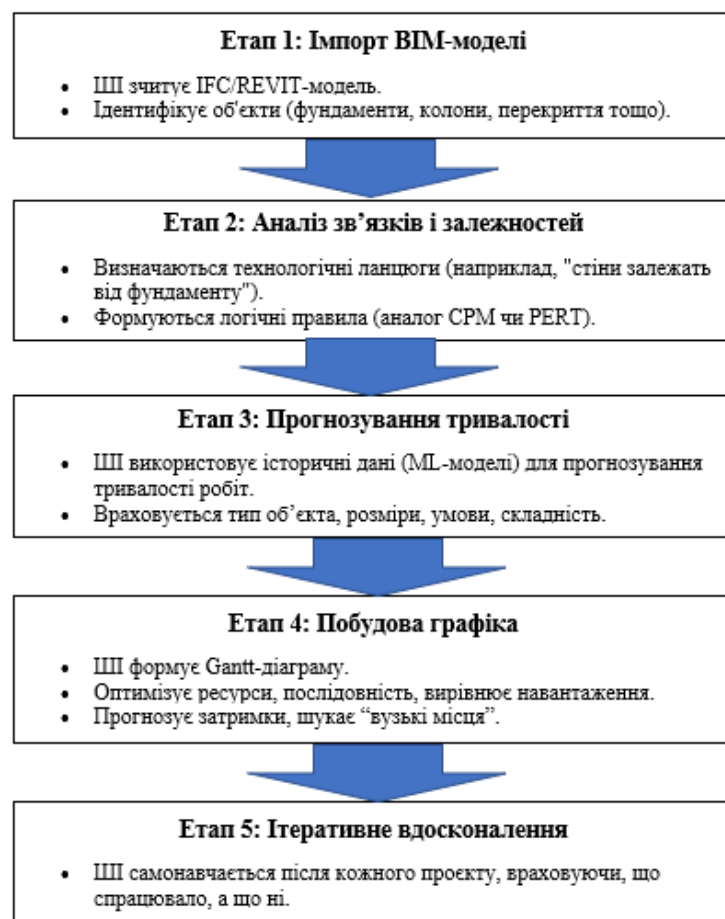


Рис. 2. Алгоритм генерації календарного плану

Таблиця 2

Доступні інструменти для генерації календарного плану

Інструмент	Функції	Використовує AI?
1	2	3
Autodesk Construction Cloud	Планування з BIM, аналітика	Частково (рекомендації)
Alice Technologies	Генерація календарного плану на основі AI	Так
Buildots	Візуальний контроль графіка будівництва	Так
Revit + Dynamo + AI скрипти	Напівавтоматизація календаря	Частково
nPlan	Прогнозує затримки за графіками	Так

Умови, які потрібні для того, щоби створити повністю автономне планування – це повна та якісна BIM-модель; інтеграція з AI/ML-моделлю (через API або скрипти); модулі знань (експертна система або база правил); системи перевірки результату (для людини-контролера); навчання на даних минулих об'єктів (чим більше – тим краще працює).

Можна окреслити наступні переваги такого підходу. Це швидше планування усіх процесів і всього проєкту загалом, це точніші оцінки того, що відбувається. Це менша

кількість помилок, які залежать від людського фактору, це автоматичне оновлення при зміні BIM-моделі. Однак, такі переваги можуть бути нівельовані у випадках нестабільної якості BIM-моделей або неправильної інтерпретації даних AI-системою.

Але слід відмітити що на сьогоднішній час це лише теоретичні розрахунки. Штучний інтелект не має ще повного розуміння будівельної логіки у всіх випадках, до того ж потрібно багато якісних історичних даних для самонавчання. І

наостанок – людина все ще краще відчуває контекст, логіку місця, клімат, ризики.

Приклад сценарію використання: Архітектор створює BIM-модель доступного житла. Завантажує її у систему. ШІ аналізує модель, прогнозує тривалості робіт, формує кілька сценаріїв календаря (наприклад: «швидко», «дешево», «надійно»). Замовник вибирає оптимальний варіант. Будівельна компанія починає будівництво з повним AI-наглядом. У разі змін чи затримок – система перебудовує графік автоматично.

Зазначений алгоритм може бути основою для побудови інтелектуальних інструментів прогнозування тривалості робіт у майбутньому. Це відкриває можливості для використання алгоритмів машинного навчання на основі BIM-даних у поєднанні з табличними інтерфейсами або сценаріями автоматизації.

Висновки

Інтеграція BIM-технологій у процес календарного планування будівництва створює підґрунтя для переходу до цифрових, автоматизованих моделей управління проєктами. Запропонований підхід передбачає використання параметрів інформаційної моделі (тип конструкції, обсяг, площа, матеріал тощо) для формування логічних залежностей між роботами та автоматичного створення попереднього графіка будівництва. Це дозволяє зменшити ручну працю, підвищити узгодженість даних і забезпечити адаптивність до змін проєктного середовища.

Подібні рішення особливо актуальні в контексті масштабної реконструкції України, де ефективне планування є критично важливим для відбудови житлової та соціальної інфраструктури. Автоматизоване формування календарних графіків на основі BIM-моделей може стати ключовим компонентом цифрових платформ управління девелоперськими або

державними проєктами, особливо для типових і повторюваних об'єктів.

На основі проведеного дослідження можна сформулювати такі рекомендації:

- поетапно впроваджувати AI-модулі в існуючі BIM-середовища – починаючи з автоматизації календарного планування, з подальшим розширенням на логістику, ризик-менеджмент та контроль виконання робіт за умови наявності структурованих моделей і достатнього обсягу якісних даних для навчання алгоритмів;
- розширювати бази навчання майбутніх алгоритмів за рахунок типових графіків, даних з ERP-систем і реалізованих проєктів для підвищення оцінок тривалості робіт та адаптації графіка до змінних умов;
- стандартизувати структуру даних у BIM-моделях, включно з класифікацією об'єктів, зв'язком із кодами робіт, ресурсами та тривалістю процесів, що є критично важливим для ефективної інтеграції з аналітичними системами;
- ініціювати пілотне впровадження гібридних рішень у реальному середовищі, наприклад, у великих девелоперських компаніях або в рамках державних проєктів;
- формувати міждисциплінарні команди, що об'єднують фахівців у сфері будівництва, IT, управління даними та цифрової трансформації – для системного розвитку напрямку застосування штучного інтелекту в будівельній галузі.

Таким чином, інтеграція BIM і цифрової аналітики створює реальні передумови для поступового вдосконалення процесів планування в будівництві. Запропонований підхід може бути використаний як концептуальна основа для подальших розробок у напрямі часткової автоматизації з урахуванням потреб ринку, цифрової трансформації та викликів повоєнної відбудови України. Але він потребує практичної перевірки на реальних проєктах для підтвердження ефективності та адаптації до конкретних умов реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Істмен Ч., Техері С., Лі К., Пауелл Дж. Інформаційне моделювання будівель (BIM) : посіб. для буд. фахівців. Київ : Ліра-К, 2011. 492 с.
2. Zhang J., Wang Y., Zhong R. Y. BIM- and AI-integrated framework for automatic construction schedule generation. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 114. Article 103146. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103146.

3. Li H., Wu Y. Application of Machine Learning in Construction Planning Based on BIM : A Multi-objective Optimization Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021. Vol. 147 (8). Article 04021093. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109.
4. Chahrour R., Srour F. J., Ajam M. Integration of BIM and AI for Predictive Construction Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2022. Vol. 36 (2). Article 04021067. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000987.
5. Пожарицька І. В. BIM-технології в будівництві : потенціал інтеграції з AI. *Будівельне виробництво*. 2022. № 1(103). С. 17–23.
6. Семенюк С. О., Сидоренко В. І. Цифрове планування у будівництві : сучасний стан та перспективи. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2023. Вип. 48. С. 44–50.

REFERENCES

1. Istmen Ch., Tekheri S., Li K. and Pauell Dzh. *Informatsiine modeliuвання budivel (BIM) : posibnyk dlia budivelnykh fakhivtsiv* [Building Information Modeling (BIM) : A Guide for Construction Professionals]. Kyiv : Lira-K, 2011, 492 p. (in Ukrainian).
2. Zhang J., Wang Y. and Zhong R.Y. BIM- and AI-integrated framework for automatic construction schedule generation. *Automation in Construction*. 2020, vol. 114, article 103146. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103146.
3. Li H. and Wu Y. Application of Machine Learning in Construction Planning Based on BIM : A Multi-objective Optimization Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021, vol. 147 (8), article 04021093. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109.
4. Chahrour R., Srour F.J. and Ajam M. Integration of BIM and AI for Predictive Construction Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2022, vol. 36 (2), article 04021067. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000987.
5. Pozharytska I.V. *BIM-tehnolohii v budivnytstvi : potentsial intehtratsii z AI* [BIM technologies in construction : the potential of integration with AI]. *Budivelne vyrobnytstvo* [Construction Production]. 2022, no. 1 (103), pp. 17–23. (in Ukrainian).
6. Semeniuk S.O. and Sydorenko V.I. *Tsyfrove planuvannia u budivnytstvi : suchasnyi stan ta perspektyvy* [Digital planning in construction : current state and prospects]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva* [Ways to Increase Construction Efficiency]. 2023, no. 48, pp. 44–50. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.12.2025.