

МАШИННЕ НАВЧАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація У роботі досліджено способи впровадження алгоритмів машинного навчання (ML) в BIM-проекти для оптимізації проектних рішень. Визначено задачі, які ефективно вирішуються за допомогою ML (класифікація елементів, оптимізація конструкцій, виявлення помилок). Проведено аналіз програмних середовищ Dynamo і Grasshopper щодо їх інтеграції з ML. Обґрунтовано вибір оптимальних алгоритмів і програмних рішень. Результати підтвердили доцільність та ефективність застосування ML у проектуванні конструкцій із застосуванням BIM-технологій.

Ключові слова: BIM-технології, Автоматизація проектування, машинне навчання, оптимізація конструкцій, Revit, Dynamo, Grasshopper, Galapagos, Python

Abstract The paper investigates ways to implement machine learning (ML) algorithms in BIM projects to optimize design solutions. The tasks that can be effectively solved with the help of ML (classification of elements, optimization of structures, error detection) are identified. The software environments Dynamo and Grasshopper are analyzed for their integration with ML. The choice of optimal algorithms and software solutions is substantiated. The results confirmed the feasibility and effectiveness of ML in the design of structures using BIM technologies.

Keywords: BIM technologies, machine learning, structural optimization, Revit, Dynamo, Grasshopper, Galapagos, Python, BIM

Вступ

За останні десятиліття будівельний сектор зазнав значних змін через необхідність впровадження нових цифрових технологій для підвищення ефективності процесу будівництва та проектування. Зокрема, одним з найбільш значущих напрямків розвитку стало широке використання технології інформаційного моделювання будівель (BIM), яка дозволяє створювати високоточні цифрові моделі будівель з високою координацією між окремими компонентами будівлі та різними учасниками будівельного процесу.

Історичний огляд необхідності оптимізації проектних рішень показує, що перші спроби автоматизації процесу розміщення та вибору оптимальних розмірів конструктивних елементів були пов'язані з використанням аналітичних та емпіричних методів, які мали високу трудомісткість та низьку точність. З розвитком комп'ютерних технологій, починаючи з 1980-х років, широкого розповсюдження набули методи чисельного моделювання, а саме метод скінченних елементів (МСЕ), що дозволило автоматично розглядати величезну кількість проектних альтернатив. Однак, навіть застосування методів, заснованих на МСЕ, сьогодні досить часто займає багато часу для розрахунку оптимальних рішень через велику кількість змінних, які необхідно змінювати і розраховувати.

Міжнародна практика оптимізації проектних рішень показує, що використання машинного навчання (ML - Machine Learning) є вирішенням проблеми [1]. Зокрема, провідні гравці, серед яких Arup, Thornton Tomasetti та SOM, активно використовують алгоритми машинного навчання для автоматизації та оптимізації проектних рішень у сфері будівництва. Наприклад, Thornton Tomasetti використовує нейронні мережі для прогнозування поведінки конструкцій

та оптимізації розмірів і розташування, що дозволяє заощадити час проектування на 30-40% і підвищити точність кінцевих проектних рішень.

Причина застосування машинного навчання в BIM-проектах полягає в здатності алгоритмів ML ефективно обробляти величезні обсяги проектних даних, знаходити основні взаємозв'язки та автоматично виробляти найкраще рішення на основі величезної кількості змінних, таких як навантаження, геометрія елементів конструкцій, архітектурні обмеження тощо. Таким чином, використання машинного навчання має потенціал для спрощення та прискорення процесу використання алгоритмів оптимізації в BIM-середовищах [2], роблячи проектування більш ефективним та технологічним.

Огляд сфер використання

Інформаційне моделювання будівель (BIM) генерує величезний обсяг інформації, який можна ефективно використовувати для покращення проектування, аналізу та прийняття рішень за допомогою машинного навчання (ML). Нижче наведено основні операції, для яких доцільно використовувати ML в технології BIM, а також оптимальні алгоритми машинного навчання для виконання цих операцій.

Задача класифікації полягає у визначенні класів конструктивних елементів (наприклад, балок, колон, стін, фундаментів) та проектних рішень на основі аналізу великих баз даних BIM-моделей. Це дозволяє автоматично ідентифікувати повторювані типові рішення та формувати бібліотеки конструктивних елементів, оптимізуючи процес проектування шляхом повторного використання успішних проектних рішень [3].

Автоматичне прогнозування оптимального розташування колон та інших несучих конструкцій. Оптимальне розташування несучих елементів є ключовим фактором забезпечення ефективності конструктивних систем будівлі. За допомогою машинного навчання можна автоматизувати процес визначення розташування та типорозмірів колон, виходячи з архітектурних та конструктивних обмежень, навантажень, матеріалів і будівельних нормативів [4].

Виявлення та коригування помилок у BIM-моделях на ранніх стадіях проектування. Процес проектування у BIM середовищах нерідко супроводжується появою типових помилок (невідповідність розмірів, колізії елементів, неадекватні проектні рішення тощо) [5]. Машинне навчання дозволяє ефективно ідентифікувати та автоматично класифікувати помилки на ранніх етапах проектування, суттєво скорочуючи витрати часу на подальші коригування проекту.

Аналіз даних для прийняття проектних рішень (Data-driven Design). ML-методи дозволяють аналізувати великі набори BIM-даних з метою отримання інсайтів для покращення проектних рішень, таких як вибір типів матеріалів, методів монтажу або навіть організації будівництва [6]. Це допомагає зменшити вартість проектів, підвищити їхню енергоефективність та стійкість.

Таким чином, застосування різноманітних алгоритмів машинного навчання у BIM-проектах дозволяє суттєво покращити якість проектування, автоматизувати та пришвидшити низку ключових процесів, що веде до підвищення загальної ефективності та конкурентоспроможності проектних організацій у будівельній галузі.

Імплементація машинного навчання в межах BIM

Інтеграція алгоритмів машинного навчання (ML) у BIM-середовища є складною, але водночас перспективною задачею, що може значно підвищити ефективність процесів проектування будівельних конструкцій. Для практичної імплементації ML-алгоритмів у BIM-середовища, зокрема Autodesk Revit, найчастіше використовуються сторонні візуально-програмні платформи, такі як Dynamo та Grasshopper. Нижче наведено детальний огляд можливостей і переваг використання цих двох програм.

Dynamo — це візуальна платформа програмування, що дозволяє автоматизувати робочі процеси, створювати власні алгоритми і значно розширювати функціональність Autodesk Revit за допомогою скриптів на базі візуальних вузлів та інтеграції з Python. Завдяки простоті у використанні, Dynamo є однією з найпоширеніших платформ для інтеграції BIM та ML.

Основні переваги використання Dynamo для інтеграції ML у BIM:

- Вбудована сумісність з Revit;
- Інтеграція Python-скриптів;
- Широка бібліотека додаткових пакетів;
- Візуалізація результатів;

Недоліки Dynamo: Обмежена продуктивність при великих обсягах даних; Необхідність оптимізації коду для масштабних ML-задач через обмеження швидкодії платформи.

Grasshopper — візуально-алгоритмічне середовище програмування, що використовується спільно з програмним забезпеченням Rhinoceros 3D для генеративного дизайну, моделювання та автоматизації проектних задач. В останні роки Grasshopper активно використовується для імплементації ML через інтеграцію з Python та спеціалізованими плагінами.

Основні переваги Grasshopper для імплементації ML:

- Гнучка інтеграція з Python
- Широкий вибір ML-плагінів;
- Висока швидкодія роботи з геометрією;
- Потужні вбудовані можливості для оптимізації;

Недоліки Grasshopper: Вищий поріг входження, порівняно з Dynamo, через складнішу структуру компонентів і необхідність глибшого розуміння алгоритмічного дизайну.

Висновки

Таким чином, у процесі проведеного дослідження було розглянуто широкий спектр можливостей використання машинного навчання для ефективної імплементації в BIM-проекти. Результати аналізу підтверджують перспективність та актуальність впровадження алгоритмів ML у сучасні проектні процеси, особливо для вирішення завдань автоматизації проектних рішень, оптимізації розміщення конструктивних елементів, класифікації типових конструкцій та виявлення помилок на ранніх стадіях проектування.

Огляд програмного забезпечення засвідчив, що платформи Dynamo та Grasshopper на сьогодні є найбільш зручними та функціонально придатними інструментами для інтеграції алгоритмів машинного навчання у BIM-середовища. Вибір конкретної програми слід здійснювати залежно від рівня складності проектних задач, ступеня інтегрованості з іншими програмними комплексами та необхідності в додаткових можливостях оптимізації та генеративного проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кишкан А., Кархут, І. (2024). ПОТЕНЦІАЛ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПРИСКОРЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Матеріали конференцій МЦНД, (17.05.2024; Ужгород, Україна), 354–358. вилучено із <https://archive.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1231>
2. Сьомко, П., & Левус, Є. (2024). ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНОГО СТИЛЮ БУДІВЕЛЬ. Матеріали конференцій МНЛ, (17 травня 2024 р., м. Київ), 346–347. Вилучено з <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/view/964>
3. Balaji, G.C.; Vivek, S.S.; Edwin Fernando, P.A.; Balasubramanian, K. Structural Optimization of RC Columns in a Multi-Storeyed Building by Tree-Columns Subjected to Lateral Loads. E3S Web of Conferences 2023, 405, 03001. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340503001>.

4. Tunca, O.; Carbas, S. Design Cost Minimization of a Reinforced Concrete Column Section Using Overnew Swarm-Based Optimization Algorithms. *Neural Computing and Applications* 2024, 36(27). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09998-z>.
5. Лялюк , О. Г. ., Осипенко , Р. С. ., & Мельник, Д. О. (2024). СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 36(1), 96–102. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-96-102>
6. Лялюк, О. Г., & Осипенко, Р. С. . (2023). ОСОБЛИВОСТІ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БУДІВНИЦТВІ. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 35(2), 172–176. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-172-176>

Потєха Андрій Сергійович – аспірант 1-го, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

A. S Potiekha

MACHINE LEARNING AS A TOOL FOR ENHANCING DESIGN EFFICIENCY FOR INFORMATION MODELING

Vinnytsia National Technical University;

Abstract *The paper investigates ways to implement machine learning (ML) algorithms in BIM projects to optimize design solutions. The tasks that can be effectively solved with the help of ML (classification of elements, optimization of structures, error detection) are identified. The software environments Dynamo and Grasshopper are analyzed for their integration with ML. The choice of optimal algorithms and software solutions is substantiated. The results confirmed the feasibility and effectiveness of ML in the design of structures using BIM technologies.*

Keywords: *BIM technologies, machine learning, structural optimization, Revit, Dynamo, Grasshopper, Galapagos, Python, BIM*

Andriy Serhiiovych Potiekha – *Phd student, Department of Civil and Environmental Engineering Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city.*