

ПЕРЕХІД НА АВТОМАТИЗОВАНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розвиток автоматизованих методів оптимізації конструктивних рішень є важливим напрямом сучасного будівництва. Використання алгоритмів машинного навчання (ML) спільно з BIM (Building Information Modeling) технологіями дозволяє значно підвищити ефективність проектування, мінімізувати використання матеріалів і оптимізувати розташування елементів конструкцій. У даній роботі досліджується застосування сучасних інструментів, таких як Grasshopper, Galapagos, Revit, Dynamo та Python, для розробки автоматизованих підходів до проектування конструкцій, зокрема оптимізації розташування колон, геометрії балок і ферм. Представлені результати демонструють можливість досягнення суттєвих покращень у процесах проектування за рахунок автоматизації, враховуючи багатофакторні параметри, такі як навантаження, обмеження простору та витрати матеріалів.

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

Abstract

The development of automated methods for optimizing structural solutions is a crucial direction in modern construction. The use of machine learning (ML) algorithms combined with Building Information Modeling (BIM) technologies significantly enhances design efficiency, minimizes material consumption, and optimizes the placement of structural elements. This paper explores the application of advanced tools such as Grasshopper, Galapagos, Revit, Dynamo, and Python to develop automated approaches for structural design, specifically the optimization of column placement, beam geometry, and trusses. The results demonstrate the potential for substantial improvements in design processes through automation, considering multifactorial parameters such as loads, spatial constraints, and material costs.

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

Вступ

Сучасні будівельні проекти характеризуються зростаючою складністю, що вимагає впровадження новітніх технологій для оптимізації конструктивних рішень. Традиційні методи проектування, що ґрунтуються на ручних розрахунках або напівавтоматизованих підходах, більше не відповідають вимогам швидкості, точності та ефективності, особливо у великих масштабах. Використання машинного навчання у поєднанні з BIM-технологіями відкриває нові можливості для автоматизації процесів проектування та оптимізації [1].

Зокрема, оптимізація розташування колон, ферм та балок є однією з найважливіших задач, оскільки правильний підхід до їх розміщення може значно зменшити витрати матеріалів, підвищити стійкість конструкцій та забезпечити ефективне використання простору [2]. Інструменти, такі як Grasshopper, Galapagos, Revit, Dynamo та Python, дозволяють виконувати

комплексний аналіз параметричних моделей і реалізувати автоматизовані процеси проектування, враховуючи багатофакторні обмеження та цілі.

Метою статті є розгляд функціональних можливостей алгоритмів машинного навчання для їх використання у процесах проектування несучих конструкцій будівель.

Методологія дослідження

Методологія дослідження включає кілька взаємопов'язаних етапів, кожен з яких базується на сучасних технологіях та інструментах автоматизації проектування [3]. Основна увага приділяється інтеграції алгоритмів машинного навчання (ML) із програмами для інформаційного моделювання будівель (BIM), такими як Revit, Dynamo, Grasshopper, Galapagos, а також використанню Python для розробки та реалізації оптимізаційних алгоритмів. Для реалізації даного процесу необхідно детально розглянути кожен з етапів.

Етапи поділяються на:

- Аналіз вихідних даних та постановка задачі
- Створення моделі автоматизації процесу проектування
- Розробка алгоритмів машинного навчання
- Валідація та тестування моделей
- Оцінка економічного та екологічного впливу

Для моделювання та оптимізації використовується інформація про навантаження, геометрію будівель, просторові обмеження, характеристики матеріалів, а також економічні показники. Дані отримуються з BIM-моделей, створених у Revit, та експортуються у відповідні формати для подальшого аналізу [4]. Основними критеріями є мінімізація матеріальних витрат, оптимізація розташування елементів конструкцій (колон, ферм, балок), забезпечення просторових вимог і дотримання нормативних обмежень.

Використання Дупато для автоматизації проектування у Revit і Python для створення алгоритмів оптимізації. Дупато дозволяє реалізувати параметричне моделювання, тоді як Python забезпечує потужну платформу для виконання розрахунків. Grasshopper забезпечує гнучке параметричне моделювання, тоді як Galapagos, як еволюційний алгоритм, використовується для багатофакторної оптимізації [5]. Ці інструменти дозволяють знаходити оптимальні рішення шляхом генетичних алгоритмів та ітераційного аналізу.

Для прогнозування навантажень, класифікації типів конструкцій та оптимізації розташування колон використовуються методи регресії (наприклад, лінійна регресія або дерева рішень) та кластеризації (метод k-середніх). BIM-моделі використовуються як основа для створення навчальних даних. Алгоритми навчаються на варіантах проектів із різними геометричними та фізичними параметрами.

Тестові моделі перевіряються на основі реальних проектів. Створюються сценарії для моделювання різних варіантів розташування колон і геометрії ферм та балок. Порівняння результатів автоматизованого проектування з традиційними методами для оцінки точності, економічності та часу виконання.

Обчислюються матеріальні та трудові витрати на створення конструкцій із застосуванням автоматизованих методів порівняно з традиційними підходами. Оцінюється зменшення вуглецевого сліду через оптимізацію витрат матеріалів.

Розроблені алгоритми впроваджуються у реальні проекти, створені за допомогою Revit. Це дозволяє протестувати їх у робочих умовах і забезпечити інтеграцію у стандартні BIM-процеси.

Методологія дослідження базується на інтеграції сучасних технологій, забезпечуючи гнучкість і масштабованість автоматизації у проектуванні будівельних конструкцій.

Висновки

Автоматизовані методи оптимізації конструкцій з використанням алгоритмів машинного навчання демонструють високу практичну цінність у будівельній галузі. Поєднання ML та BIM дозволяє не лише знизити матеріальні витрати, але й оптимізувати складні процеси проектування, забезпечуючи економічну та екологічну ефективність будівельних проєктів. Подальші дослідження у цьому напрямі можуть сприяти масштабуванню таких методів та їх інтеграції у стандарти сучасного проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Etim, B.; Al-Ghosoun, A.; Renno, J.; Seaid, M.; Mohamed, M.S. Machine Learning-Based Modeling for Structural Engineering: A Comprehensive Survey and Applications Overview. *Buildings* 2024, 14(11), 3515. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113515>.
2. Alotaibi, M.; Mohammed, M.S.; Reffat, R.M. A Systematic Mapping Study and a Review of the Optimization Methods of Structures in Architectural Design. *Buildings* 2024, 14(11), 3511. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113511>.
3. 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.
4. О.О. Благовєстова, О.О. Печерцев. ХАРАКТЕРНІ РИСИ ПАРАМЕТРИЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ МОДЕЛЮВАННЯ. Том 104 № 2 (2021): Науковий вісник будівництва. DOI: doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-14-20
5. Gerbo, E.J.; Saliklis, E.P. Optimizing a Trussed Frame Subjected to Wind Using Rhino, Grasshopper, Karamba and Galapagos. *Proceedings of IASS Annual Symposia, IASS 2014 Brasilia Symposium: Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints – Historical Spatial Structures*, 2019, pp. 1-7.

Андрухов Валерій Михайлович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vmandruchov@gmail.com;

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

V. M. Andrukhov
A. S Potiekha

TRANSITION TO AUTOMATED METHODS FOR STRUCTURAL OPTIMIZATION USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Vinnitsia National Technical University;

Abstract

The development of automated methods for optimizing structural solutions is a crucial direction in modern construction. The use of machine learning (ML) algorithms combined with Building Information Modeling (BIM) technologies significantly enhances design efficiency, minimizes material consumption, and optimizes the placement of structural elements. This paper explores the application of advanced tools such as Grasshopper, Galapagos, Revit, Dynamo, and Python to develop automated approaches for structural design, specifically the optimization of column placement, beam geometry, and trusses. The results demonstrate the

potential for substantial improvements in design processes through automation, considering multifactorial parameters such as loads, spatial constraints, and material costs.

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

Andrukhov Valeriy Mykhailovych – *PhD, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vmandruchov@gmail.com;*

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