УДК 004.9:624.04(045)

А. С. Потєха

ВИКОРИСТАННЯ DATA-DRIVEN ФРЕЙМВОРКУ ДЛЯ СПРОЩЕННЯ АНАЛІТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет

Антотація *Парадигма design-driven, реалізована через BIM-технології, суттєво підвищила ефективність узгодження тривимірних моделей та обміну інформацією протягом життєвого циклу будівельних об'єктів. Втім, значні інвестиції в ліцензоване ПЗ, потреба в глибокому професійному навчанні, складність організаційних процесів і обмежена інтероперабельність, навіть за умов використання IFC, поступово виявляють свої критичні межі. Data-driven підхід пропонує альтернативу, орієнтуючись на безперервний автоматизований збір, обробку й аналітику структурованих даних у відкритих форматах (JSON, CSV), що сприяє гнучкості інтеграції різнорідних джерел, масштабованості обробки інформації та підвищенню прозорості прийняття інженерних рішень. Запропонована методологія передбачає формування ETL-конвеєрів, застосування потокової аналітики й інтеграцію IoT-даних для плавного переходу від параметричних BIM-моделей до data-centric екосистем з можливістю прогнозування ризиків, оптимізації ресурсів та побудови цифрових двійників із високим рівнем адаптивності та стійкості.*

Ключові слова: *Building Information Modeling (BIM); design-driven; data-driven; інтероперабельність; автоматизація; аналітика; Machine Learning;*

Abstract *The design-driven paradigm, implemented through BIM technologies, has markedly improved the coordination of 3D models and the flow of information throughout the lifecycle of built assets. However, substantial investments in proprietary software, the need for extensive professional training, organizational complexities, and limited interoperability—even when using IFC—are progressively revealing critical constraints. The data-driven approach offers an alternative by emphasizing continuous, automated collection, processing, and analysis of structured data in open formats (e.g., JSON, CSV), thereby enabling flexible integration of heterogeneous sources, scalable data handling, and enhanced transparency in engineering decision-making. The proposed methodology involves the creation of ETL pipelines, the application of stream analytics, and the integration of IoT data to support a seamless transition from parametric BIM models to data-centric ecosystems capable of risk forecasting, resource optimization, and the development of digital twins with high adaptability and resilience.*

Keywords: Building Information Modeling (BIM); design-driven; data-driven; interoperability; automation; analytics; Machine Learning;

Вступ

Протягом останніх п'ятдесяти років будівельна галузь пройшла низку етапів цифровізації: спочатку креслення та специфікації виконувалися вручну на папері, потім із появою САПР (CAD) у 1970–1980-х з'явилися двовимірні електронні схеми, а з початку 2000-х — тривимірні моделі, що поступово переросли у сучасні процеси Building Information Modeling (BIM) [1]. BIM, як інтеграційна методологія, об'єднала геометрію, атрибутивні дані та часові характеристики об'єктів у єдиному цифровому середовищі, що дозволило автоматизувати виявлення колізій, оптимізувати координацію між архітекторами, конструкторами й інженерами та зменшити кількість помилок у проектній документації.

Проте практичне застосування BIM-систем виявило ряд обмежень. По-перше, на етапі впровадження необхідні значні капіталовкладення в ліцензійне програмне забезпечення та серверну інфраструктуру, що часто буває недоступно для малих і середніх компаній. По-друге, успішна експлуатація BIM-процесів вимагає комплексної підготовки персоналу та узгодження внутрішніх регламентів, що створює організаційні перепони.

По-третє, навіть при стандартизації обміну через IFC відбуваються втрати метаданих і спотворення точності геометрії під час переносу моделей між різними платформами, що призводить до фрагментації інформації та додаткових робіт [2].

У відповідь на ці виклики у практику увійшов data-driven підхід, який базується не на важких параметричних моделях, а на структурованих наборах даних, що збираються через API, IoT-пристрої та ETL-конвеєри в хмарних середовищах. Наприклад, автоматизовані скрипти конвертації DWG/IFC у формати JSON або CSV дають змогу обробляти великі обсяги інформації без запуску CAD-додатків, а платформи аналітики (Power BI, Tableau, Jupyter Notebook) використовуються для побудови дашбордів, машинного навчання та прогнозування витрат матеріалів і строків виконання. Цей перехід формує основу для створення цифрових двійників об'єктів і запровадження гнучких, масштабованих та прозорих процесів у будівництві.

Виклад основного матеріалу

Building Information Modeling (BIM) зародилася як відповідь на потребу консолідації всіх проектних даних в єдиному тривимірному інтегрованому середовищі, де архітектурні, конструктивні та інженерні рішення поєднуються з метаданими про матеріали, обсяги та технологічні характеристики. Завдяки цьому забезпечується автоматизоване виявлення колізій, узгодження дій між фахівцями різних спеціальностей та точний розрахунок необхідних матеріалів для кошторисного обґрунтування. Проте з часом виявилися суттєві обмеження: по-перше, пропрієтарні формати (наприклад, RVT у Revit або NWD у Navisworks) ускладнюють інтероперабельність між CAD-системами, а при експорті через IFC частина атрибутів і геометричної точності може втрачатися [3]. По-друге, впровадження BIM вимагає значних капіталовкладень у ліцензійне програмне забезпечення та IT-інфраструктуру, а також глибокої підготовки персоналу, що створює високий бар'єр входу, особливо для малих і середніх організацій. По-третє, design-driven підхід сфокусований на візуалізації та параметризації моделей, але недостатньо передбачає засоби для масштабованої аналітики великих масивів даних і прогнозування на основі реальних показників будмайданчика.

В основі data-driven підходу лежить глибока аналітика величезних масивів проектних і експлуатаційних даних, що дозволяє як описовий, так і прогнозний аналіз життєвого циклу об'єкта. По-перше, завдяки агрегуванню історичних даних про строки виконання, обсяги матеріалів та трудовитрати з десятків проєктів можна будувати статистичні моделі, які з високою точністю (помилка прогнозу < 5 %) передбачають ризик затримок або перевитрат ресурсів. По-друге, інтеграція IoT-датчиків (температура, вологість, вібрація конструкцій) із системою real-time stream processing дозволяє виявляти аномалії (наприклад, перевищення технологічних порогів) миттєво, що сприяє зменшенню простоїв до 20 % та підвищенню безпеки на майданчику. Візуалізація результатів аналізу здійснюється через інтерактивні дашборди, де ключові показники ефективності (KPI) — від середньої тривалості етапів проєкту до індексу якості виконання робіт — оновлюються щогодини. Така прозрачність даних сприяє колаборації між усіма стейкхолдерами: від замовників до субпідрядників.

Трансформація проектних процесів у бік data-driven парадигми починається з переорієнтації основного артефакту: замість громіздкої 3D-моделі увага зосереджується на структурованих даних та їхньому транспортуванні у відкритих форматах (JSON, CSV). Застосовуються ETL-конвеєри, що автоматично витягують і перетворюють інформацію з DWG/IFC-файлів у табличні сховища чи хмарні бази даних без необхідності запуску CAD-додатків . В межах data-driven екосистем впроваджуються модулі потокової аналітики (stream processing) для обробки даних із IoT-пристроїв у реальному часі, а RESTful API забезпечують швидкий доступ до звітів про обсяги матеріалів, CO_2-викиди або стан монтажних робіт. Паралельно розробляються конвертери та SDK, що дозволяють інтегрувати будь-які CAD-системи з BI-інструментами (Power BI, Tableau) і середовищами для машинного навчання

(Python/Pandas, scikit-learn), сприяючи автоматизації, аналітиці та прогнозуванню в будівельних проєктах.

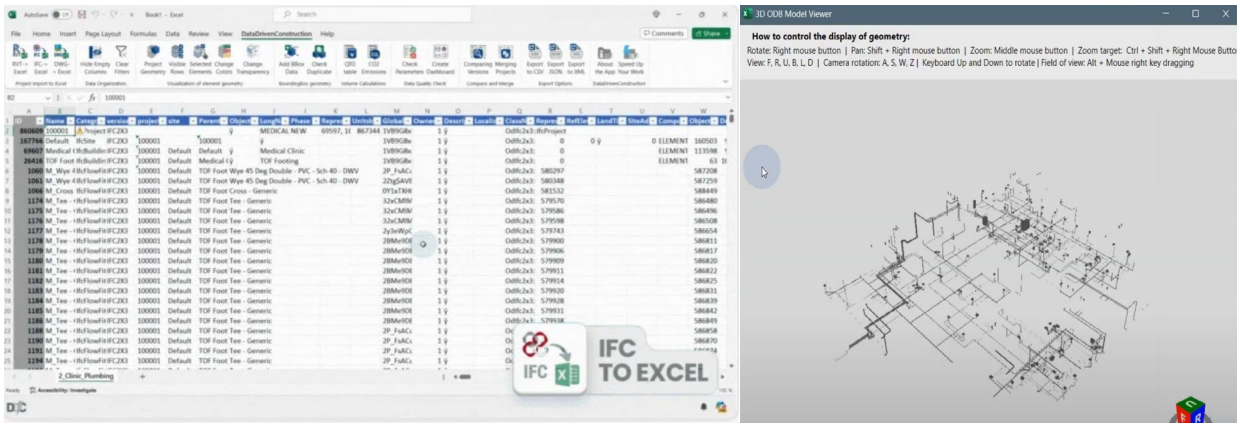

Рис.1. Конвертація IFC моделі в єдиний Data-set

Data-centric construction platforms істотно знижують поріг входу, оскільки інженеру достатньо володіти навичками роботи з табличними інтерфейсами (Excel, SQL) або веб-дашбордами замість опанування складного CAD-ПЗ. Завдяки впровадженню легковагих відкритих форматів (JSON, CSV) та REST-API відпадає потреба у дорогих ліцензіях і тривалому навчанні персоналу роботі з пропрієтарними рішеннями.

Одна з ключових переваг таких систем – здатність обробляти інформацію в реальному часі. Використання потокової аналітики (stream processing) у поєднанні з IoT-пристроями на будівельному майданчику дозволяє оперативно отримувати дані про хід робіт, технічний стан обладнання чи метеоумови, своєчасно виявляючи відхилення та коригуючи ресурси без затримок [4].

Аналітичний потенціал платформи проявляється в готовності структурованих даних до застосування методів машинного навчання та статистичних моделей. Наприклад, історичні дані про затримки виконання дозволяють формувати ймовірнісні моделі ризиків із високою точністю, а алгоритми регресії чи ансамблеві методи для прогнозування цін на матеріали забезпечують передбачення коливань вартості з похибкою менше 3 %.

Масштабованість досягається завдяки хмарним обчисленням, які дають змогу паралельно обробляти тисячі проєктів без потреби у власній IT-інфраструктурі. Додавання нових джерел даних – мобільних застосунків для інспекцій, фінансових систем чи сенсорів контролю запасів – відбувається в кілька кліків, а результати миттєво акумулюються в єдиному сховищі.

Інтероперабельність забезпечується відкритими стандартами: дані зберігаються у форматах, що зберігають усі метадані, і без втрат передаються між BI-інструментами (Power BI, Tableau) та середовищами для наукової аналітики (Python/Pandas), усуваючи проблему фрагментації інформації [5].

Централізація даних дозволяє проєктним менеджерам отримувати повну картину ризиків і ресурсних потреб у режимі реального часу, що сприяє зменшенню непередбачених витрат і уникненню простоїв [6].

Узагальнюючи, основні переваги data-driven систем можна подати так:

- Низький бар’єр входу: робота з таблицями та API замість CAD.
- Реальний час: обробка IoT-даних миттєво.
- Аналітика та AI: дані готові для ML/AI.
- Масштабованість: хмара без локальної IT.
- Інтероперабельність: відкриті формати без втрат.

Такі можливості створюють основу для подальшої інтеграції data-driven BI, цифрових двійників та самонавчальних систем у будівельній галузі.

Висновки

За результатами проведеного аналізу встановлено, що впровадження data-driven підходу суттєво оптимізує швидкість прийняття інженерних рішень та підвищує їхню точність завдяки безпосередньому доступу до консолідованих структурованих даних і можливості використання прогнозних алгоритмів. Використання легковагих відкритих форматів обміну (JSON, CSV) у комбінації з REST-API мінімізує ризики втрати метаданих і геометричних деталей під час передачі інформації, що сприяє значному підсиленню інтероперабельності системи.

Традиційні design-driven (BIM) рішення, незважаючи на важливий внесок у цифровізацію проєктування, обмежені високими порогами входу та залежністю від пропрієтарних форматів. Перехід до data-driven екосистем відкриває можливість створення єдиного репозиторію даних у відкритих форматах, спрощує інтеграцію з інструментами BI і ML, забезпечує безперервний контроль і своєчасне втручання, а також сприяє зниженню витрат і підвищенню ефективності управління ризиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Enshassi, M. A., Al Hallaq, K. A., & Tayeh, B. A. (2019). Limitation factors of Building Information Modeling (BIM) implementation. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 13, 189–196. https://doi.org/10.2174/1874836801913010189
2. Sompolgrunk, A., Banihashemi, S., Golzad, H., & Le Nguyen, K. (2024). Strategic alignment of BIM and big data through systematic analysis and model development. *Automation in Construction*, 168, 105801. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105801
3. Huang, Y., Shi, Q., Zuo, J., Pena-Mora, F., & Chen, J. (2021). Research status and challenges of data-driven construction project management in the big data context. *Journal of Advanced Civil Engineering Practice*, 2021, Article ID 6674980. https://doi.org/10.1155/2021/6674980
4. Li, F., Laili, Y., Chen, X., Lou, Y., Wang, C., Yang, H., Gao, X., & Han, H. (2023). Towards big data driven construction industry. *Journal of Industrial Information Integration*, 35, 100483. https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100483
5. Huang, X., Liu, Y., Huang, L., Onstein, E., & Merschbrock, C. (2023). BIM and IoT data fusion: The data process model perspective. *Automation in Construction*, 149, 104792. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104792
6. Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., & Främling, K. (2018). A framework for integrating BIM and IoT through open standards. *Automation in Construction*, 95, 35–45. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.022

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

A. S Potiekha

USING FRAMEWORK DATA TO IMPROVE CONSTRUCTION PROJECT ANALYTICS

Vinnytsia National Technical University;

Abstract *The design-driven paradigm, implemented through BIM technologies, has markedly improved the coordination of 3D models and the flow of information throughout the lifecycle of built assets. However, substantial investments in proprietary software, the need for extensive professional training, organizational complexities, and limited interoperability—even when using IFC—are progressively revealing critical constraints. The data-driven approach offers an alternative by emphasizing continuous, automated collection, processing, and analysis of structured data in open formats (e.g., JSON, CSV), thereby enabling flexible integration of heterogeneous sources, scalable data handling, and enhanced transparency in engineering decision-making. The proposed methodology involves the creation of ETL pipelines, the application of stream analytics, and the integration of IoT data to support a seamless transition from parametric BIM models to data-centric ecosystems capable of risk forecasting, resource optimization, and the development of digital twins with high adaptability and resilience.*

Keywords*: Building Information Modeling (BIM); design-driven; data-driven; інтероперабельність; автоматизація; аналітика; Machine Learning;*

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