

Будівельно інформаційне моделювання в прикладних задачах геотехніки

Тетяна ДИПТАН¹, Олег МАЛИШЕВ²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

¹dyptan.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2852-014X

²malyshev.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-2804-6217

DOI: 10.32347/0475-1132.51.2025.43-49

Анотація. Технологія інформаційного моделювання будівель (BIM) стала ключовим інструментом цифрової трансформації у будівельній галузі, забезпечуючи інтеграцію даних, візуалізацію проєктних рішень та ефективну координацію між учасниками будівництва (концепція, 2021). Додатково використання BIM технологій є ефективним при виконанні моніторингу стану ґрунтів у реальному часі, що дозволяє здійснювати динамічне управління проєктом під час будівництва. Це особливо актуально для складних та небезпечних інженерно-геологічних умов, де необхідно оперативно реагувати на зміни фізико-механічних та деформаційних характеристик ґрунтів. Збір даних за допомогою датчиків та інтеграція їх у цифрову модель дозволяє не тільки ефективно контролювати процеси, але й передбачати можливі негативні зміни ґрунтового середовища ще до того, як вони можуть виникнути. Проте її застосування в геотехнічній інженерії досі перебуває на початковому етапі. У публікації досліджено особливості впровадження BIM у геотехнічну практику, проаналізовано його переваги, обмеження та перспективи подальшого розвитку. Встановлено, що складні інженерно-геологічні умови майданчиків будівництва, труднощі з отриманням точних даних про інженерно-геологічні елементи, не стандартизованість робочих архітектурно-будівельних креслень, відсутність єдиної систематизованої та уніфікованої бази для представлення геотехнічної інформації ускладнюють інтеграцію BIM у геотехнічне проєктування. Окрему увагу приділено проблемі взаємодії між BIM-командами, розробниками та постачальниками геотехнічних даних, зокрема труднощам вилучення інформації з архівних записів, що зберігаються у спеціальних форматах. У межах дослідження проведено SWOT-аналіз, який дозволив



Тетяна ДИПТАН
ст. викладач кафедри
геотехніки



Олег МАЛИШЕВ
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.

систематизувати сильні та слабкі сторони, можливості та ризики впровадження BIM у геотехнічній інженерії. Зазначено, що функції BIM з координації та віртуалізації добре відповідають потребам геотехнічного моделювання, особливо в інфраструктурних проєктах. Для успішної інтеграції геологічної інформації в BIM-моделі необхідне спеціалізоване програмне забезпечення, стандарти обміну даними, підготовка фахівців та міждисциплінарна співпраця. Застосування BIM у геотехнічній інженерії має значний потенціал для підвищення точності, якості проєктування, зменшення кількості помилок, покращення процесу прийняття рішень та загального підвищення ефективності реалізації будівельних проєктів.

Ключові слова. BIM (Building Information Modelling), геотехнічні вишукування, цифрове моделювання, 3D модель.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Інформаційне моделювання будівель – це сучасна технологія цифрової трансформації в архітектурі та інженерії. Для реалізації BIM – процесів в геотехніці використовуються різноманітне програмне забезпечення. Зокрема, європейський програмний комплекс GEO5, який дозволяє ефективно вирішувати геотехнічні завдання та може працювати з великими обсягами даних. Для побудови надійної BIM моделі необхідно зібрати та проаналізувати: геодезичні вишукування – цифрові моделі рельєфу, топографічні карти; інженерно-геологічні

вишукування – результати буріння свердловин, статичного та динамічного зондування (CPT, SPT), лабораторних випробувань ґрунтів для визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів; матеріали геофізичних досліджень. Згенерована геологічна модель ґрунтового масиву дає можливість отримати тривимірну візуалізацію стратиграфії ґрунтів – ідентифікувати інженерно-геологічні елементи (ІГЕ), вказати слабкі зони, розрахувати стійкість схилу, змодельовати поведінку системи «ґрунтова основа – фундамент/конструкція». Для різних етапів життєвого циклу об'єкту реалізується наступна послідовність, наведена на Рис.1.

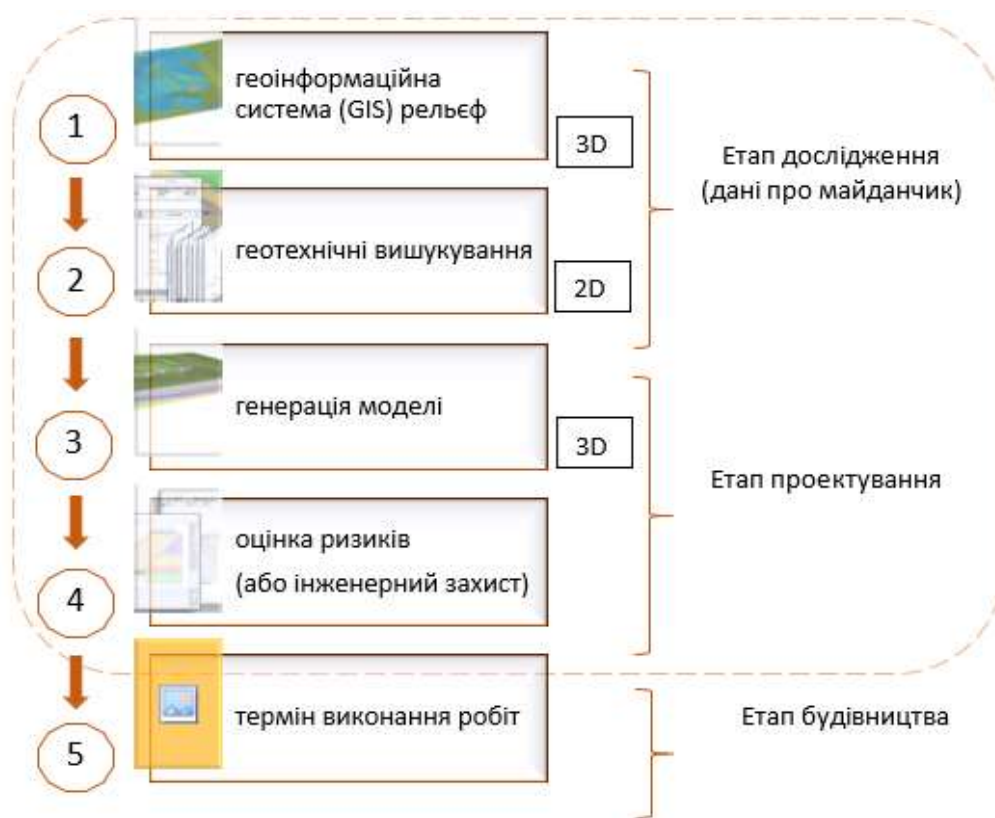


Рис.1. Послідовність застосування BIM на різних етапах життєвого циклу об'єкту.

Fig.1. The sequence of BIM application at different stages of object life cycle.

МЕТА РОБОТИ

Головна мета цієї роботи полягає в тому, щоб показати, що застосування програмного забезпечення BIM у галузі геотехнічної інженерії може підвищити ефективність інженерних робіт, зменшити кількість

помилоч та гарантувати кращу підтримку прийняття рішень на етапах дослідження та проектування.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

BIM-процес моделювання будівельної інформації реагує на сучасні вимоги щодо

зростання цифровізації (ДСТУ ISO 19650-2:2020). Зокрема, створення геотехнічної інформаційної моделі є одним із найскладніших, але водночас найважливіших етапів у загальному BIM процесі. На відміну від моделювання надземних конструкцій, що мають чіткі геометричні форми та визначені характеристики матеріалів, моделювання ґрунтової основи стикається з низкою унікальних викликів. Це вимагає застосування спеціалізованих підходів і використання програмного забезпечення, здатного працювати з великими обсягами просторових даних та їхньою невизначеністю. Одним з таких програмних комплексів, що може працювати з великою кількістю інформації є GEO5.

Проаналізуємо послідовність застосування інформаційного моделювання зверху донизу, для виділених пунктиром етапів як показано на Рис. 1.

1. Геоінформаційна система

На початковому етапі проєктування, під час отримання вихідних даних щодо будівельного майданчика, ключову роль відіграє візуалізована інформація, яка забезпечує можливість детального аналізу обсягу робіт і своєчасного виявлення проблемних зон, що потребують додаткового дослідження (I Vaníček, 2021). Традиційно для вирішення геотехнічних задач на цьому етапі використовували топографічну зйомку у форматі 2D, яка базувалася на результатах вимірювання значної кількості точок із подальшим їх нанесенням на план. Однак, з розвитком сучасних технологій, зокрема геоінформаційного моделювання та супутникової навігації, зазначена інформація трансформувалася у тривимірну 3D модель. Це дозволяє обробляти великі об'єми просторових даних, зберігати їх у хмарних сховищах, а також експортувати у спеціалізовані програмні комплекси для подальшої візуалізації рельєфу та проведення комплексного аналізу території.

Переваги використання:

- ✓ візуалізована (особливо 3D) інформація дозволяє детально оцінити особливості геоморфології ділянки

вишукувань, обсяг робіт і виявити потенційні проблемні ділянки;

- ✓ швидкий доступ до великого масиву просторових даних сприяє ефективнішому плануванню та прийняттю рішень;
- ✓ дані легко експортуються у спеціалізовані програмні комплекси для подальшого аналізу та моделювання;
- ✓ використання хмарних сховищ забезпечує надійне зберігання та доступ до інформації з будь-якої локації;
- ✓ візуалізація полегшує взаєморозуміння між учасниками проєкту (інженерами, замовниками, підрядниками).

Недоліки використання:

- ✓ сучасні технології (3D-сканування, супутникова навігація, програмне забезпечення) потребують значних фінансових вкладень;
- ✓ помилки на етапі збору або обробки даних можуть призвести до неправильних висновків на наступних стадіях проєктування;
- ✓ втрата доступу до хмарних сервісів або програмних комплексів може ускладнити роботу з даними;
- ✓ зберігання великого обсягу інформації у хмарних сховищах потребує додаткових заходів із захисту даних.

2. Геотехнічні вишукування

Геотехнічні вишукування є складовою частиною спеціалізованих інженерних досліджень, спрямованих на вивчення складу, стану та фізико-механічних властивостей ґрунтів як основ під будівлі та споруди, середовища для розміщення підземних об'єктів, а також для оцінки стійкості природних і штучних геологічних масивів, схилів та укосів (ДСТУ 9275.2:2024).

На сучасному етапі для відображення інженерно-геологічних умов будівельного майданчика в звітах чи висновках з інженерно-геологічних вишукувань переважно використовується формат 2D, реалізований за допомогою графічного програмного забезпечення AutoCAD. Такий підхід дозволяє візуалізувати нашарування ґрунтів по

глибині, інтегрувати результати бурових робіт, що містять інформацію про відібрані зразки з різних глибин. Проте 2D-модель не забезпечує можливості безпосереднього введення характеристик ґрунтів та виконання розрахунків на їх основі.

Після виконання комплексу досліджень, передбачених програмою інженерно-геологічних вишукувань (зокрема, статичного (CPT) та динамічного (DPT) зондування, штампових випробувань тощо), отримані результати інтерпретуються паралельно з побудовою інженерно-геологічного розрізу у форматі 2D.

Натомість тривимірна (3D) модель є інформаційно насиченим об'єктом, що містить комплексні дані про геологічне середовище (I. S. Haryono, 2021). Вона дозволяє інтегрувати результати інженерно-геологічних вишукувань, включаючи дані буріння, зондування, лабораторних та геофізичних досліджень, у спеціалізоване програмне забезпечення. На основі цих даних, шляхом складної інтерполяції, формуються об'ємні геологічні тіла, які представляють інженерно-геологічні елементи (ІГЕ) з відповідними фізико-механічними характеристиками. Кожен елемент моделі містить власні параметри, що використовуються для подальших інженерних розрахунків. Таким чином, 3D-модель є не лише засобом візуалізації, а й потужним інструментом для аналізу та прийняття проектних рішень.

Переваги використання:

- ✓ інтеграція даних інженерно-геологічних вишукувань у цифрову BIM-модель (дані про ґрунти, рівень ґрунтових вод). Це дозволяє проектувальникам враховувати геотехнічні умови ще на ранніх етапах;
- ✓ покращується взаємодія між виконавцями інженерних вишукувань, проектувальниками і будівельниками з єдиною моделлю;
- ✓ зменшується кількість помилок через непорозуміння або втрату інформації;
- ✓ візуалізація складних геологічних умов (створення 3D-моделі з виділенням слабких зон);
- ✓ геотехнічна інформація зберігається в моделі протягом всього життєвого циклу об'єкту.

Недоліки використання:

- ✓ складність моделювання геологічного середовища (складні інженерно-геологічні умови важко точно відобразити в BIM-середовищі);
- ✓ різниця між вітчизняними нормативними документами та європейськими (інтерпретація параметрів ґрунту, визначених за різними методиками);
- ✓ інженери-проектувальники повинні володіти не лише традиційними методами, а й навичками роботи з BIM-системами;
- ✓ не всі BIM-системи мають повноцінну підтримку геотехнічних модулів.

3. Генерація моделі

Для генерації моделі ґрунтового середовища в системі GEO5 використовується програма «Стратиграфія» – спеціалізований інструмент для створення та аналізу геологічних моделей на основі даних геологічних вишукувань та польових випробувань. Вона дозволяє створювати детальні 2D і 3D моделі масивів ґрунтів, генерувати геологічні та геотехнічні профілі для звітів.

Геологічна модель є ключовим інструментом для комплексного аналізу геологічної будови території, що досліджується (Alfredo Satyanaga, 2023). Вона дозволяє ідентифікувати походження ґрунтів, стратиграфічні особливості, виділяти межі між різними ґрунтовими шарами, вказувати на наявність лінз та геологічних розломів. Застосування геологічної моделі забезпечує отримання достовірної інформації, необхідної для оцінки потенційних геологічних і гідрогеологічних ризиків, що можуть впливати на безпеку та ефективність будівництва.

Геотехнічна модель являє собою узагальнене представлення ґрунтових умов будівельного майданчика шляхом задання відповідних фізико-механічних характеристик ґрунтових шарів, необхідних для виконання інженерних розрахунків. Її генерація передбачає кількісну оцінку напружено-

деформованого стану ґрунтів під впливом різних типів навантажень – як короткочасних, так і довготривалих – що виникають на етапі зведення та експлуатації будівель.

Геотехнічна модель орієнтована на практичні завдання інженерного аналізу, тоді як геологічна – на опис природних умов формування та будови ґрунтів.

Переваги використання:

- ✓ модель дозволяє кількісно оцінити напружено-деформований стан ґрунтів, що є критично важливим для забезпечення надійності та безпеки будівельних конструкцій;
- ✓ враховує специфіку навантажень, включаючи миттєві, тривалі та циклічні впливи;
- ✓ орієнтована на вирішення прикладних задач геотехніки – розрахунок осідань, стійкості, несучої здатності основ тощо;
- ✓ забезпечує узгодженість з геологічними даними, що дозволяє враховувати природні особливості ґрунтового середовища;
- ✓ сприяє застосуванню сучасних методів розрахунку (наприклад, скінченно-елементного аналізу), що підвищує точність прогнозів.

Недоліки використання:

- ✓ точність моделі значною мірою залежить від достовірності геотехнічних та геологічних досліджень, лабораторних випробувань і польових спостережень;
- ✓ модель базується на припущеннях і спрощеннях, які можуть не повністю відображати складну поведінку ґрунтів у природних умовах;
- ✓ побудова якісної геотехнічної моделі потребує значних ресурсів – часу, фінансів, спеціалізованого програмного забезпечення та кваліфікованих фахівців.

4. Оцінка ризиків

Для оцінки ризиків на етапі проектування в геотехніці використовують моделювання, яке відіграє ключову роль у прогнозуванні поведінки ґрунтового масиву під впливом різних інженерних навантажень. Це дозволяє своєчасно виявити потенційні ризики, пов'язані з деформаціями, осіданням, втратами стійкості або порушенням несучої здатності основи.

В програмному комплексі GEO5 використовуються підпрограми (Рис. 2), які додатково дозволяють розрахувати стійкість схилу, осідання та виконати інженерний захист території.

Багата на інформацію цифрова модель, що надається ВІМ, дозволяє візуалізувати, моделювати та ефективно працювати в команді для досягнення оптимального проектного рішення, з можливістю врахування ризиків на різних етапах проектування та будівництва.

Переваги використання:

- ✓ можна доповнювати цифрову модель додатковими даними, які розширюють розуміння ситуації;
- ✓ можна моделювати поведінку ґрунтів під навантаженням, прогнозувати осідання, зсуви;
- ✓ аналіз дозволяє обирати більш економічно ефективні та безпечні рішення;
- ✓ інтегрувати в модель захисні конструкції для забезпечення стійкості;
- ✓ підвищити швидкість проведення розрахунків в порівнянні з інженерними методами.

Недоліки:

- ✓ необхідність врахування вимог європейських та національних стандартів при введенні та отриманні результатів розрахунків;
- ✓ необхідність ідентифікації параметрів основи при розрахунках за різними стандартами;
- ✓ необхідність проведення тестових задач та їх порівняння з польовими випробуваннями для підтвердження надійності результатів розрахунків.



Рис.2. Підпрограми GEO5 для геотехнічних розрахунків та моделювання.
Fig.2. GEO5 subroutines for geotechnical calculations and modeling.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Дослідження, виконане в межах цієї публікації, підтверджує, що BIM є не просто сучасним технологічним трендом, а критично важливою складовою інтеграції в простір геотехнічного моделювання. Перехід від статичних 2D креслень до 3D геологічної моделі, яка є не просто візуальною картинкою, а інформаційно насичена параметрами, що дозволяє розрахувати систему «основа-фундамент/конструкція» та прийняти рішення на всіх етапах життєвого циклу об'єкту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні. *Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 р. № 152-р.*
2. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT) - [Чинний від 2020-07-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ» 2020.
3. ДСТУ 9275.2:2024 Настанова з виконання інженерних вишукувань для будівництва. Частина 2. Інженерно-геодезичні, інженерно-метеорологічні та спеціалізовані вишукування. [Чинний від 2024-09-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ» 2020.
4. I Vaníček, D Jirásko & M Vaníček (2021). Role of Geotechnical Engineering in BIM process

modelling. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 727, 14th Baltic Sea Region Geotechnical Conference 18-19th of January 2021, Helsinki, Finland. DOI:10.1088/1755-1315/727/1/012007.

5. I. S. Haryono, A. L. Saw, S. W. Lee & Lewis C.K. Wong (2021). Digital Twin for Geotechnical Engineering Applications. *Proceedings of The HKIE Geotechnical Division 41st Annual Seminar: Adapt to Challenges, Create to Thrive (GDAS2021)*, 73-84. DOI:10.21467/proceedings.126
6. Alfrendo Satyanaga, Gerardo Davin Aventian, Yerkezhan Makenova, Aigerim Zhakiyeva, Zhuldyz Kamaliyeva, Sung-Woo Moon & Jong Kim (2023). Building Information Modelling for Application in Geotechnical Engineering. *Infrastructures* 2023, 8, 103. DOI:10.3390/infrastructures8060103

REFERENCES

1. Kontseptsiiia vprovadzhennia tekhnolohii budivelnoho informatsiinoho modeliuvannia (BIM-tekhnohii) v Ukraini. *Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 liutoho 2021 r. № 152-r.*
2. DSTU ISO 19650-1:2020. (2020). Orhanizatsiia ta otsyfrovannia informatsii shchodo budivel ta sporud vkluchno z budivel'nyim informatsiinym modeliuvanniam (VIM). Upravlinnia informatsiieiu z vykorystanniam budivel'noho informatsiinoho modeliuvannia. Chastyna 1. Kontseptsii ta pryntsyipy (ISO 19650-1:2018, IDT) [Chynnyi vid 2020-07-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs».
3. DSTU 9275.2:2024. (2024). Nastanova z vykonannia inzhenernykh vyshukuvan' dlia budivnytstva. Chastyna 2. Inzhenerno-heodezychni, inzhenerno-meteorolohichni ta spetsializovani vyshukuvannia [Chynnyi vid 2024-09-01]. – K.: DP «UkrNDNTs» 2020.

- 2024-09-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs».
4. Vaníček, I., Jirásko, D., & Vaníček, M. (2021). Role of geotechnical engineering in BIM process modelling. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 727(1), 012007. 14th Baltic Sea Region Geotechnical Conference, January 18–19, 2021, Helsinki, Finland. DOI:10.1088/1755-315/727/1/012007
 5. Haryono, I. S., Saw, A. L., Lee, S. W., & Wong, L. C. K. (2021). Digital twin for geotechnical engineering applications. In Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 41st Annual Seminar: Adapt to Challenges, Create to Thrive (GDAS2021) (pp. 73–84). DOI:10.21467/proceedings.126
 6. Satyanaga, A., Aventian, G. D., Makenova, Y., Zhakiyeva, A., Kamaliyeva, Z., Moon, S.-W., & Kim, J. (2023). Building information modelling for application in geotechnical engineering. Infrastructures, 8(103). DOI:10.3390/infrastructures8060103

particularly in infrastructure projects. Successful integration of geological data into BIM models requires specialized software, data exchange standards, professional training, and interdisciplinary collaboration. The use of BIM in geotechnical engineering holds significant potential for improving design accuracy, reducing errors, enhancing decision-making processes, and increasing the overall efficiency of construction project implementation.

Key words. BIM (Building Information Modeling), geotechnical surveys, digital modeling, 3D model.

Construction information modeling in applied geotechnical engineering problems

Tetiana DYPTAN
Oleg MALYSHEV

Summary. Building Information Modelling (BIM) has become a key tool in the digital transformation of the construction industry, offering integrated data management, project visualization, and effective coordination among stakeholders (concept, 2021). However, its application in geotechnical engineering remains at an early stage. This paper explores the specific features of BIM implementation in geotechnical practice, analyzing its advantages, limitations, and future prospects. It has been found that complex subsurface conditions, challenges in obtaining accurate geological data, lack of standardized drawings, and the absence of a unified language for presenting geotechnical information hinder the integration of BIM into geotechnical design. Particular attention is paid to the interaction between BIM teams and geotechnical data providers, especially the difficulties in extracting information from archived records stored in specialized formats. A SWOT analysis was conducted to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of BIM adoption in geotechnical engineering. The visualization, coordination, and virtualization functions of BIM are shown to align well with the needs of geotechnical modelling,