

ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ В ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ БУДІВЕЛЬ (BIM)

Мельник Олександр^{1}, Олесків Роксолана²*

¹ ст.гр. Б-23-3, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна,

*e-mail: oleksandr.melnik-b233@nung.edu.ua

² Кафедра геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна.

Анотація. *Сучасне будівництво стикається з викликами, пов'язаними з контролем за станом будівельних об'єктів протягом усього їхнього життєвого циклу, що особливо актуально в умовах складних подій в Україні. Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки ефективного підходу до моніторингу, який дозволив би інтегрувати дані про деформації та осідання безпосередньо в цифрову модель об'єкта. Методика дослідження базується на використанні високоточних геодезичних вимірювань, отриманих за допомогою електронних тахеометрів та GNSS-приймачів. Ці дані в реальному часі передаються в інформаційну модель будівлі (BIM). Застосований підхід дозволяє створити динамічну цифрову копію об'єкта, яка відображає його актуальний фізичний стан. Основними результатами дослідження є демонстрація того, як така інтеграція дозволяє автоматично оновлювати BIM-модель, надаючи можливість оцінювати вплив деформацій на конструкцію.*

Ключові слова: *геодезичний моніторинг; BIM-технології; деформації; управління життєвим циклом; цифровий двійник; інженерна геодезія; інформаційна модель будівлі.*

Актуальність теми дослідження

В умовах зростання висотності та складності будівельних об'єктів, а також підвищених вимог до їхньої безпеки та надійності, інтеграція даних геодезичного моніторингу в інформаційні моделі будівель (BIM) набуває особливої актуальності. Традиційні методи моніторингу є трудомісткими, схильними до помилок і не дозволяють отримувати дані в реальному часі, що створює суттєві обмеження для оперативного прийняття рішень щодо експлуатації та обслуговування об'єкта.

Дане дослідження спрямоване на розробку ефективної методики інтеграції даних високоточного геодезичного моніторингу в BIM-модель. Запропонований підхід дозволить створити цифровий двійник будівлі, який може стати не лише інструментом моніторингу, а повноцінною платформою для передбачення, аналізу та управління ризиками в будівельному проєкті (Савенков А.О., 2025). Наукова цінність дослідження полягає в розробці нових алгоритмів обробки та візуалізації геодезичних даних у середовищі BIM, що сприятиме підвищенню точності та достовірності інформації про об'єкт. Ці методи реалізуються на базі програмних продуктів Autodesk (Revit, Autodesk Point Layout, Navisworks, VERITY). Моніторинг полягає у порівнянні цифрової моделі з хмарою точок, отриманою після сканування деформованої конструкції. Практичне значення полягає в підвищенні безпеки експлуатації, оптимізації процесів обслуговування та зменшенні ризиків, пов'язаних з виявленими деформаціями будівельних конструкцій.

Питання геодезичного моніторингу деформацій є актуальними та нагальними водночас в сучасних реаліях (Kuttykadamov M. E., Rysbekov K. B., Milev I., Ystykul K. A., Bektur.,

2016). В умовах України, де значна кількість будівель зазнала руйнувань, зростає потреба в технічному обстеженні. Це призводить до підвищення трудомісткості робіт і скорочення термінів підготовки технічних звітів. Отже, виникає потреба в адаптації існуючих методик геодезичного контролю до нинішніх складних умов.

Методика

Стратегія дослідження базується на інтеграції геодезичного моніторингу з технологіями інформаційного моделювання будівель (BIM). Для створення «цифрового двійника» використовується поєднання таких методів:

1. Високоточний геодезичний моніторинг: Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами (С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв, 2024). Вимірювання деформацій та осідань здійснюється за допомогою електронних тахеометрів з автоматичним наведенням та високоточних нівелірів. Це дозволяє фіксувати зміни положення конструкцій з точністю до міліметрів.
2. Інформаційне моделювання будівель (BIM): Користувачі програм BIM, як і в усіх інших програмах цієї технології, майже не малюють нічого вручну; їм потрібно лише заповнити графі документів, а саме малювання виконується програмою автоматично. Усі зв'язки між об'єктами моделюються за допомогою формул та відносин. (Халілов А., 2025)

Методи

1. На початковому етапі створюється геодезична моніторингова мережа з реперів та марок, прив'язаних до державної геодезичної мережі.
2. Для отримання даних застосовується автоматизований геодезичний моніторинг. Тахеометри Leica TS60 встановлюються на стабільних точках та запрограмовані на періодичне вимірювання положення контрольних марок.
3. Отримані дані обробляються та перетворюються у формат, сумісний з BIM-програмним забезпеченням (наприклад, Autodesk Revit). Розроблені спеціальні скрипти автоматизують імпорт та візуалізацію даних.
4. У BIM-середовищі дані про деформації та осідання відображаються у вигляді кольорових карт, графіків або анімованих моделей. Це дозволяє візуалізувати динаміку змін та виявляти критичні зони.

Виклад основного матеріалу

Експериментальне дослідження було проведено на об'єкті масового житлового будівництва (панельний будинок), що зазнав часткових руйнувань. Метою було визначити фактичні деформації та оперативно інтегрувати ці дані в цифрову модель для розробки проекту відновлення.

1. Експериментальна установка та збір даних

На об'єкті була розгорнута автоматизована моніторингова система з двох роботизованих тахеометрів Leica TS60 та 35 контрольних марок. Збір даних здійснювався автоматично з періодичністю 2 години протягом тижня, що дозволило відстежувати динаміку осідань та зсувів.

2. Обробка та інтеграція даних у BIM-модель

Дані з тахеометрів надходили до програмного комплексу Leica GeoMoS. Після первинної обробки інформація експортувалася у формат CSV. Спеціально розроблений плагін в Autodesk Revit автоматично імпортував ці дані в BIM-модель.

На BIM-моделі кожна марка була візуалізована як динамічний об'єкт, що змінював колір залежно від рівня деформації (**Рисунок 1**): зелений (норма), жовтий (посилений контроль) та червоний (критичні деформації).

3. Ключові результати

Аналіз інтегрованих даних дозволив отримати такі ключові результати (**Таблиця 1**):

- Нерівномірне осідання: максимальне зміщення фундаментної плити в пошкодженій зоні перевищило 30 мм, а в неушкоджених секціях воно становило близько 5-7 мм.
- Горизонтальні зсуви: горизонтальний зсув верхніх поверхів пошкодженої секції на 15-20 мм, що свідчить про серйозні пошкодження несучих стін.

Іноді роботи пов'язані з циклічним процесом моніторингу у зв'язку з появою тріщин на стінах будівлі. У 2019 р. було розроблено програму геодезичних спостережень та проведено рекогностування території об'єкту досліджень (Гера О. та інш., 2024). У кожному конкретному випадку вихідні знаки планової основи закладено поза зоною очікуваного впливу від можливих деформацій.

На прикладі проведених робіт по геодезичному моніторингу пошкоджених висотних будівель варто зосередити увагу на оптимізації цього процесу. Досвід проведених інструментальних робіт дозволяє отримати великий набір даних, інтерпретуючи які можна застосувати їх для просторової візуалізації об'єкта з усіма елементами. Приступивши до першого та найважливішого етапу моніторингу виникає завдання підбору методології і підбір матеріально-технічного забезпечення. Наступним, не менш важливим, етапом є встановлення спостережних станцій (Zorin, E., Yakovenko, M., & Ben, I., 2023).

Об'єднання даних геодезичного моніторингу з BIM-технологіями від Autodesk забезпечує значні переваги у процесі відновлення будівель. Основні з них:

- Динамічна візуалізація та створення цифрового двійника: Використання Revit дозволяє перетворити статичні дані з вимірювань у динамічні кольорові карти, накладені безпосередньо на 3D-модель будівлі. Це створює "цифровий двійник", що дозволяє фахівцям порівнювати проєктні дані з фактичним станом об'єкта в реальному часі, виявляючи навіть мінімальні відхилення.
- Ефективність та автоматизація: Програмне забезпечення від Autodesk, завдяки вбудованому API, дозволяє автоматизувати імпорт даних та оновлення моделі, значно скорочуючи час на аналіз і мінімізуючи ризик помилок.
- Координація та прийняття рішень: Такі програми, як Navisworks, об'єднують усі дані моніторингу в єдину достовірну інформаційну модель, що забезпечує злагоджену роботу всіх учасників проєкту. Наочна візуалізація критичних зон дозволяє швидко ухвалювати рішення щодо посилення конструкцій та планування відновлювальних робіт.

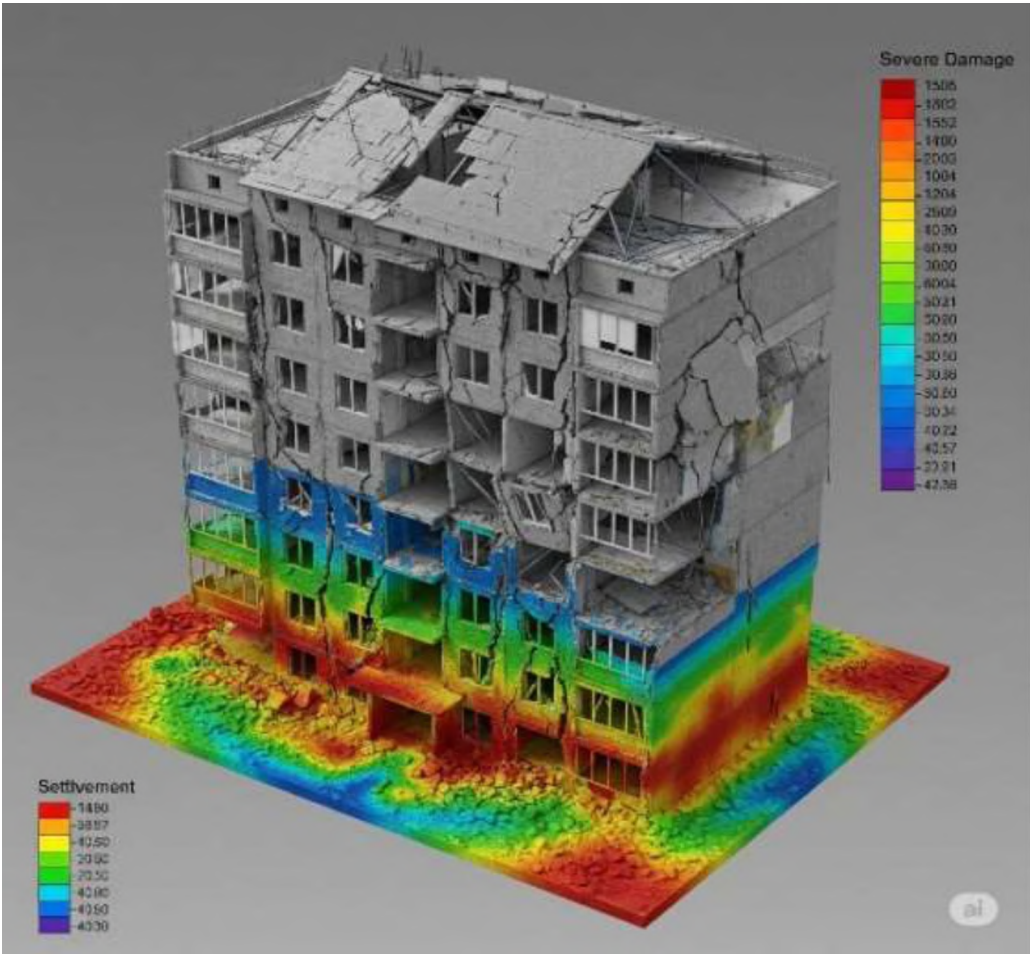


Рисунок 1. Прогнозована BIM-модель пошкодженої будівлі з візуалізацією деформацій у реальному часі

Ці результати демонструють, що використання інтегрованої системи геодезичного моніторингу та BIM-технологій дозволяє не лише отримати точні дані, а й значно прискорити процес їх аналізу та прийняття рішень, що є критично важливим в умовах відновлення країни.

Таблиця 1. Зведені результати моніторингу ключових точок

Точка моніторингу	Положення	Горизонтальний зсув (мм)	Вертикальне осідання (мм)	Стан
M01	Фундамент (пошкоджена зона)	8	32	Критичний
M12	Несуча стіна (пошкоджена зона)	16	15	Критичний
M25	Фундамент (неушкоджена зона)	1	6	Стабільний
M33	Верхній поверх (неушкоджена зона)	2	8	Стабільний

Висновки

Проведене дослідження демонструє ефективність інтеграції даних геодезичного моніторингу в BIM-модель для оцінки технічного стану будівельних об'єктів. Застосована методика, що поєднує високоточні автоматизовані вимірювання та динамічне оновлення цифрової моделі, дозволила не лише зафіксувати деформації, але й надати повну візуалізацію їхніх наслідків.

Система забезпечила збір даних із точністю до міліметрів, а їхня інтеграція в BIM-модель відбувалася в режимі, близькому до реального часу. Це дозволило скоротити час на аналіз стану об'єкта на 60-70% порівняно з традиційними методами.

Перелік літературних джерел

- Гера О., Гринішак М., Дорош Л., Олесків Р., Михайлишин В. (2024). Особливості розроблення проекту спостережень за осіданнями фундаментів багатоповерхової будівлі. *Технічні науки та технології*, 2(24). 227-234. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2\(36\)-303-311](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2(36)-303-311)
- Kuttykadamov M. E., Rysbekov K. B., Milev I., Ystykul K. A., Bektur. (2016). Geodetic monitoring methods of high-rise constructions deformations with B. K. modern technologies application / *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*.–2016.– Vol.93(1).–Pp.24-31. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995544464&origin=scopusAI>.
- Нестеренко С. Г. Технології геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньонаукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 87 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/66584>
- Савенков, А. (2025). Використання технології цифрового двійника для аналізу ризиків у будівельних проєктах. *Науково-практична конференція*, (с.53) Вінниця:ОДАБА,2025 URL: <https://molodyivchenyi.ua/omp/index.php/conference/catalog/download/141/2152/4498-1>
- Халілов, А. (2024). Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням BIM технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі. *Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії* : КНУБА, 2024 URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/halilov-dysertacziva.pdf>
- Zorin, E., Yakovenko, M., & Ben, I. (2023). Геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф. *Наука та будівництво*, (1), 45–56. URL: <https://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/218>