УДК 528.48

А. АННЕНКОВ, Р. ДЕМ'ЯНЕНКО, Н. КУЛІЧЕНКО

Кафедра інженерної геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, Київ, 03037, Україна, e-mail: geodez74@gmail.com

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ БУДІВЕЛЬ, ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ, З ВИКОРИСТАННЯМ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ

Мета цієї роботи – вдосконалення методики геодезичних робіт під час технічного обстеження будівель, пошкоджених внаслідок бойових дій, із залученням комплексу засобів BIM-технології для оцифрування геодезичних вимірювань. **Методика.** Розглянуто питання щодо застосування інтерактивного геодезичного контролю будівель, пошкоджених внаслідок бойових дій, із застосуванням BIM-моделювання під час технічного обстеження будівель та споруд. Величезна кількість зруйнованих будівель на території України призводить до збільшення потенціалу технічного обстеження, підвищення трудомісткості робіт та зменшення термінів видавання технічних звітів. Відповідно до цього постає питання коригування використовуваних методик геодезичного контролю з урахуванням сьогоднішньої складної ситуації. Розглянуто технології застосування сучасних геодезичних методів, які дають змогу збирати великі масиви даних з високою точністю та оперативністю. Ці методи основані на базі програмних продуктів Autodesk (Revit, Autodesk Point Layout, Navisworks, VERITY). Моніторинг полягає у порівнянні цифрової моделі з хмарою точок, отриманою після сканування пошкодженої конструкції. **Результати**. Застосування BIM-геодезії у моніторингу пошкоджених об'єктів у декілька разів підвищує оперативність робіт з технічного обстеження, максимально виключає людський фактор під час складних розрахунків та поліпшує якість прийнятих рішень. **Наукова новизна та практична значущість** Технологія BIM-геодезії має значний потенціал для створення 3D моделі будівель і споруд у ході технічного обстеження. Технічному експерту вже не потрібно за файлами dwg викреслювати каркас, огородження, покриття, ландшафт тощо. В інформаційній BIM-моделі є вже вся необхідна інформація, яку можна експортувати в потрібний формат даних і передавати всім виконавцям та користувачам на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Після визначення всіх розрахункових обсягів, залежно від висновку технічного звіту, працівники відповідного відділу розробляють проєкт організації будівництва (ПОБ) та проєкт виконання геодезичних робіт (ПВГР). BIM програма автоматично складає календарний графік виконання всіх робіт. У BIM-модель вводять логістичні дані, що визначають кількість, види матеріалів та обладнання, які мають бути доставлені на будівельний майданчик, та терміни доставляння. Істотна економія людського ресурсу завдяки використанню сучасних високотехнологічних геодезичних технологій, безумовно, дає підстави стверджувати про перспективність і, відповідно, майбутній розвиток BIM-технології під час вирішення будівельних завдань.

Ключові слова: BIM-технологія; геодезичний моніторинг; деформації конструкцій; візуалізація інформації; пошкодження внаслідок бойових дій.

Вступ

Від початку повномасштабних бойових дій на території України світова спільнота на власні очі побачила колосальні масштаби руйнувань та пошкоджень будівель та споруд. Перед інженерами, проєктувальниками та архітекторами постало завдання, яке полягає в оперативному технічному обстеженні та якісному відновленні пошкоджених будівель. Величезна кількість зруйнованих будівель на території України призводить до збільшення потенціалу технічного обстеження, збільшення трудомісткості проєктних робіт та зменшення термінів видавання технічних звітів і подальшого проєктування для відновлення чи демонтажу конструкцій.

На допомогу експертам з технічного обстеження приходять інженери-геодезисти, які впроваджують BIM-технології застосування сучасних геодезичних методів, що дають змогу збирати та опрацьовувати великі масиви даних з високою точністю та оперативністю.

Постановка проблеми

З кожним днем повномасштабних бойових дій на території України стає дедалі більше пошкоджень і руйнувань будівель та споруд. Тому виникає потреба у величезних кількостях оперативних технічних обстежень пошкоджених конструкцій з урахуванням безпеки та необхідної якості обстеження. Сучасна наука

XXI ст. ще не знала таких гігантських руйнувань і була не готова до наслідків бойових дій. Будівельна нормативна та законодавча база України не пристосована до військових умов і нині у прискореному темпі ухвалюють закони, що регламентують дії інженерів в умовах війни [постанова КМУ №473, 2022; наказ Мінрегіону № 144, 2022].

Вітчизняні та зарубіжні вчені [Isaev et al. 2022; Dinga et al. 2016] здійснили наукові дослідження щодо вивчення поведінки будівельних об'єктів під дією зовнішніх факторів, визначивши функціональні залежності деформацій будівельних конструкцій від векторних складових зовнішніх навантажень.

У роботах [Shults et al. 2023; Annenkov 2022; Анненков 2022] приділено велику увагу розвитку та впровадженню BIM-технології під час реалізації будівельних проєктів. Автори розглядають перспективи, що відкриваються під час впровадження BIM-технологій у сучасний процес будівництва, висвітлюють перспективні напрями розвитку BIM-технологій для геодезичного моніторингу інженерних споруд.

Автор [Shults, 2022] розглянув нову концепцію геопросторового моніторингу з урахуванням особливостей і можливостей BIM. У статті продемонстровано взаємозв'язок BIM, життєвого циклу будівлі та геопросторового моніторингу інженерних споруд. Дослідник вважає, що критичним елементом геопросторового моніторингу є його робочий процес, вкрай важливий під час технічного обстеження будівель.

Цікавим науковим напрямом для деяких зарубіжних вчених є вивчення тривимірного візуального геодезичного моніторингу будівель та споруд [Zhao et al. 2021], в якому реалізовано тривимірні динамічні вимірювання невеликих об'єктів, що забезпечує якіснішу та оперативнішу взаємодію людини із комп'ютером. Однак цей динамічний процес моделювання надто складний і поки що не використовується для великомасштабних об'єктів.

Актуальним питанням є об'єднання численних виконавців, які задіяні у технічному обстеженні споруд з різних аспектів. Рішення полягає в інтеграції даних про споруду в інформаційні будівельні моделі BIM, які є новою концепцією у сучасному інженерному світі. Але кожен виконавець ставиться до цього поняття по-різному, зі свого погляду. Для дизайнерів та архітекторів BIM, насамперед, – це архітектурна модель, яку створює архітектор за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Для інженерів-будівельників BIM – це аналітична чи розрахункова модель [Barazzetti et al. 2015, Crespi et al. 2016, Xu et al. 2019]. Геодезисти переважно використовують BIM як джерело геометричних параметрів, яким повинні відповідати інженерні споруди [Li et al. 2007, Tang et al. 2010, Qin et al., 2021]. Використовуючи BIM-геодезію для геопросторового моніторингу, ми не можемо розглядати споруду за окремими моделями. Нам необхідно використовувати переваги їх інтеграції [Shults, 2020]. Зрозуміло, що BIM має всю необхідну інформацію про стан об'єкта. Водночас він дає змогу інтегрувати різні дані та виконувати їх аналіз на основі поточної ситуації.

Мета

Удосконалення методики геодезичних робіт у межах технічного обстеження будівель, пошкоджених внаслідок бойових дій, із залученням комплексу засобів BIM-технології під час оцифрування геодезичних вимірів.

Методика

Геодезичне забезпечення технічного обстеження будівель, пошкоджених внаслідок бойових дій, досліджено під час комплексного технічного обстеження ангара літака "Мрія", розташованого на аеродромі Гостомель. Внаслідок впливу факторів ураження були пошкоджені несучі конструкції арок та балки покриття. Покрівля та огорожа зруйновані (рис. 1).

Для прив'язки пошкоджених об'єктів до єдиної координатної системи проєктувальникам потрібна вихідна топографічна основа – просторова модель ділянки, що масштабується, тобто цифрова модель місцевості. Така модель повинна бути комплексом з просторових моделей рельєфу, інженерно-геологічної будови, гідрографічних характеристик та інших даних. Сучасні геодезичні та картографічні технології, як ми з'ясували, активно розвиваються у галузі BIM-технологій та дають змогу створювати високоточні BIM моделі, здатні забезпечити відповідність усім вимогам нормативних документів у галузі технічного обстеження. Однак складно вибрати базову технологію для створення такої системи, оскільки потрібно звести в єдину модель технології геодезії, геології, проєктування, будівництва тощо.

На допомогу геодезистам приходить сучасний програмний продукт Revit для BIM моделювання, який має потужні можливості візуалізації моделей та технічної діагностики. Для подальшого науково-технічного аналізу пошкоджених конструкцій скористаємось програмою-сателітом Verity, яка уможливлює порівняльний аналіз відхилень фактичного положення конструкцій від проєктних значень. Отже, використання Revit як платформи для технічного обстеження, моніторингу, візуалізації інформації та управління проєктом має практичні та незаперечні переваги у сучасній інженерії.

Методику технічного обстеження пошкоджених будівель із застосуванням БІМ-геодезії поділено на етапи.

Перший етап полягає у розробленні спеціальної бібліотеки компонентів сім'ї будівельних конструкцій.

Створюючи моделі будівель (споруд), ми повинні повною мірою використовувати характеристики примітивів, що ґрунтуються на “Сім’ях” під час моделювання Revit. Дані про проєктні перерізи конструкцій геодезисти отримують із архівних матеріалів або замовник надає конкретні проєктні дані (рис. 2).

Цей етап необхідний, оскільки стандартна сім’я Revit, що поставляється разом із програмним забезпеченням, не охоплює всі моделі компонентів будівель та споруд. Для типів сімей, які вже містяться в системному сховищі (рис. 3, *а*), їх можна завантажити та використовувати безпосередньо у проєкті. Але для типів сімей, що не входять до системного сховища (рис. 3, *б*), необхідно використовувати редактор сімей у Revit, щоб самостійно створити файл сім’ї (.rfa), сформувати базовий компонент будівлі та визначити відповідні атрибутивні параметри різних типів компонентів, таких як геометричні розміри, властивості матеріалів, місцеві осі тощо.

Після того, як створено типи сімей та завантажено їх у проєкт моделі, формується бібліотека компонентів сімей, на основі якої будують проєктну 3D модель будівлі, яку вносять в Revit. Проєктний каркас будівлі моделюють, як зазначено вище, за архівними кресленнями або за інформацією від забудовника (рис. 4).

Другим етапом є створення геодезичної основи для подальшого моніторингу будівель та споруд (рис. 5). Revit використовує метод моделювання розміщення компонентів у проєкті, тому необхідно визначити систему координат відповідно до реальної ситуації у проєкті. Ця основа буде вихідною для визначення деформацій самих конструкцій. Вся мережа, що складається з геодезичної основи, будівельних осей будівель та власних осей конструкцій, утворює структурний каркас BIM-моделі. Кожен окремий елемент BIM-моделі об’єднаний відповідно до фактичних координат простору, що забезпечує повну узгодженість координат.

Мережу створювали на всій території аеропорту для подальшого моніторингу всіх споруд аеропорту, зокрема ангара. Для створення лінійно-кутової геодезичної мережі аеропорту використано електронний тахеометр Topcon GPT 3002 із похибкою вимірювання кутів 2 кутові секунди та ліній 3 мм + 2 мм/км. Оскільки довжини в мережі не перевищують 300 м, можна вважати, що точність вимірювання одним прийомом дорівнює 4 мм. Вимірювання виконували за програмою полігонометрії четвертого класу шістьма прийомами. Результати вирівнювання геодезичної мережі (рис. 6) наведено у табл. 1.

Точність визначення планових координат пунктів – у межах від 2 мм до 4 мм за кожною з координатних осей. Така точність цілком відповідає вимогам до точності моніторингу, які встановили проєктувальники та експерти з технічного обстеження.

Таблиця 1

Результати вирівнювання лінійно-кутової мережі аеропорту Гостомель

Table 1

The results of post-processing the geodetic network of the Gostomel airport

GeoLab 2022, V2012.2.6 UNITS: m,DMS Page 0005			
Adjusted XY Coordinates:			
CODE FFF	STATION	X, м STD DEV	У, м STD DEV
XY	Rp1	814,283 0,0028	1415,877 0,0028
XY	Rp2	1117,854 0,0035	1486,981 0,0036
XY	Rp3	1245,438 0,0030	1333,325 0,0030
XY	Rp4	1240,234 0,0028	1190,505 0,0023
XY	Rp5	1147,329 0,0020	934,010 0,0024
XY	Rp6	1000,000 0,000	1000,000 0,000
XY	Rp7	793,793 0,0022	1123,387 0,0021
XY	Rp8	789,219 0,0025	1251,025 0,0024

Третій етап пов’язаний безпосередньо із польовими вимірюваннями. І на цьому етапі не існує чітких критеріїв, яку методику або які прилади застосовувати в тому чи іншому випадку. Вибір схеми геодезичного забезпечення залежатиме від конкретних ситуацій і це вирішує безпосередньо на місці сам геодезист. Вимірювання зазвичай виконують або наземним лазерним скануванням, або із застосуванням безпілотних літальних апаратів. За результатами знімання пошкодженого об’єкта отримуємо хмару точок, яку потім завантажуємо до Revit для подальшого аналізу та технічної діагностики (рис. 7).

За результатами опрацювання хмари точок одержуємо фактичні конструктивні елементи, які утворюють виконавчу модель об’єкта дослідження. Кожен елемент опрацьовують індивідуально залежно від щільності та видимості точок хмари (рис. 8).

На четвертому етапі після створення 3D моделі та її завантаження в BIM-програму виконується автоматичний розрахунок усіх фактичних координат пошкоджених конструкцій (рис. 9). Розрахункову 3D модель завантажуємо в програму-сателіт Verity і виконуємо відповідні обчислення.

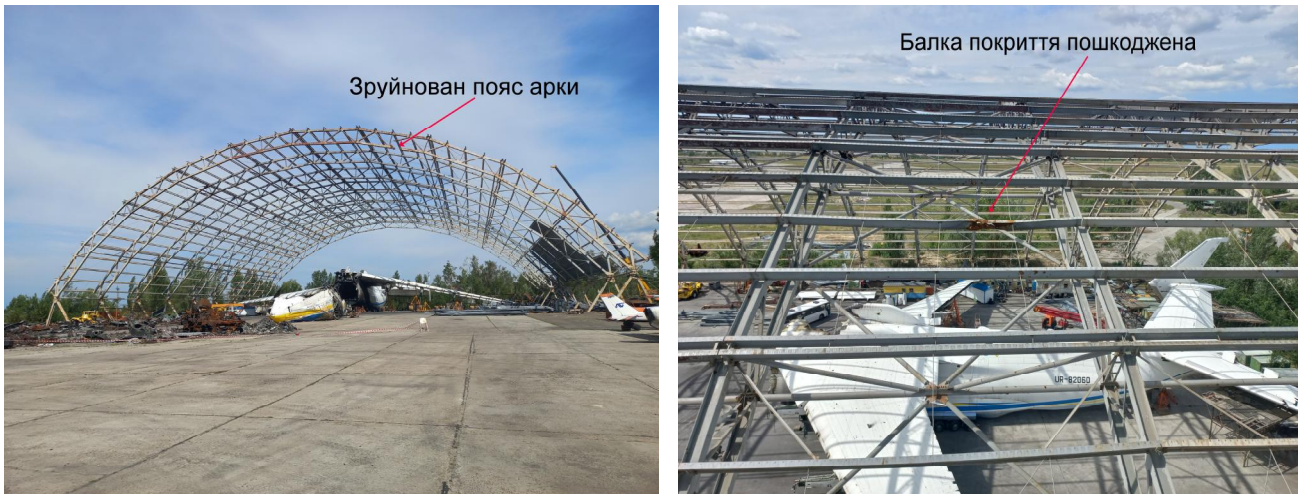


Рис. 1. Пошкодження та деформації несучих конструкцій ангара

Fig. 1. Damage and deformation of the supporting structures of the hangar

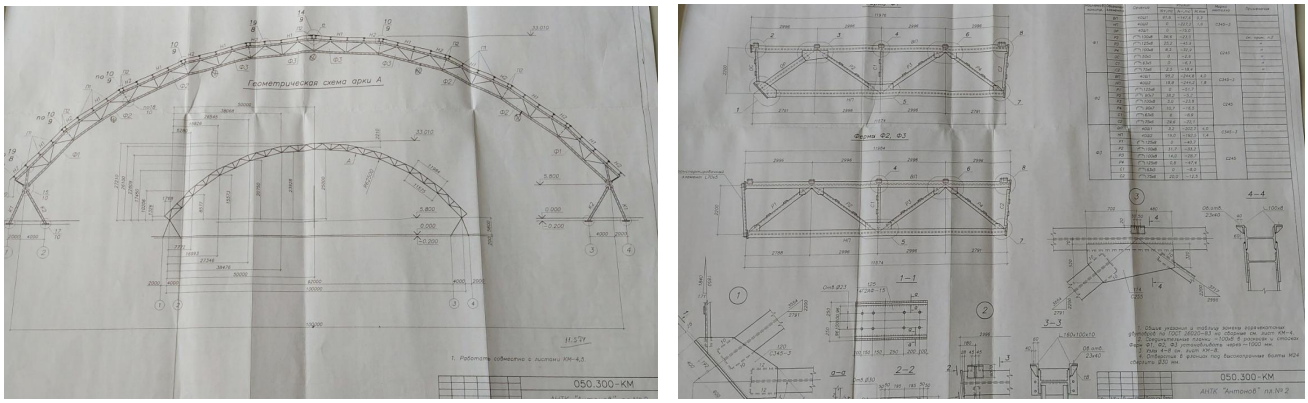
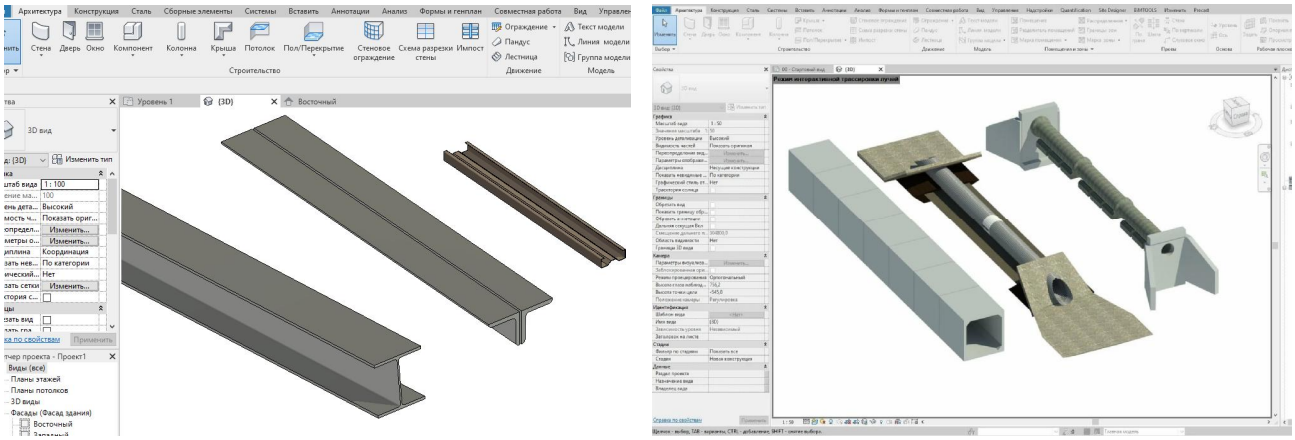


Рис. 2. Архівні матеріали для моделювання

Fig. 2. Archival materials for modeling



а *б*

Рис. 3. Створення сімей моделі будівлі:
а – стандартні сім'ї Revit; б – сім'ї, що створюються під час моделювання

Fig. 3. Creating building model families:
a – standard Revit families; б – families created during simulation

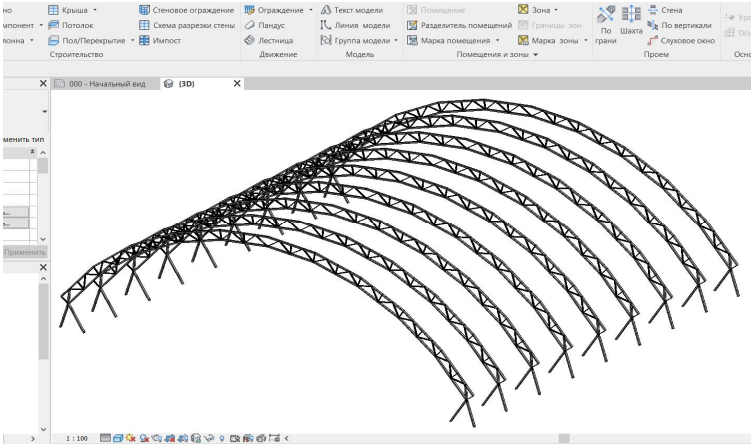


Рис. 4. BIM-модель споруди

Fig. 4. BIM model of the building

Рис. 5. Створення мережі геодезичного моніторингу

Fig. 5. Creation of a network of geodetic monitoring

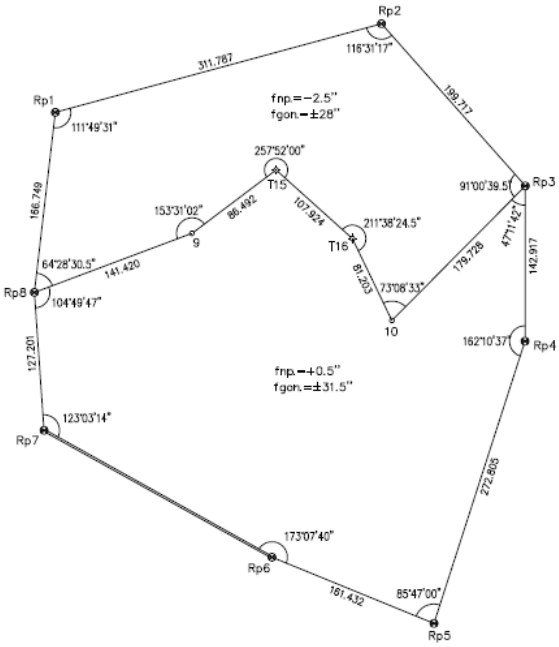


Рис. 6. Мережа геодезичного моніторингу аеропорту Гостомель

Fig. 6. Geodetic monitoring network of Gostomel airport

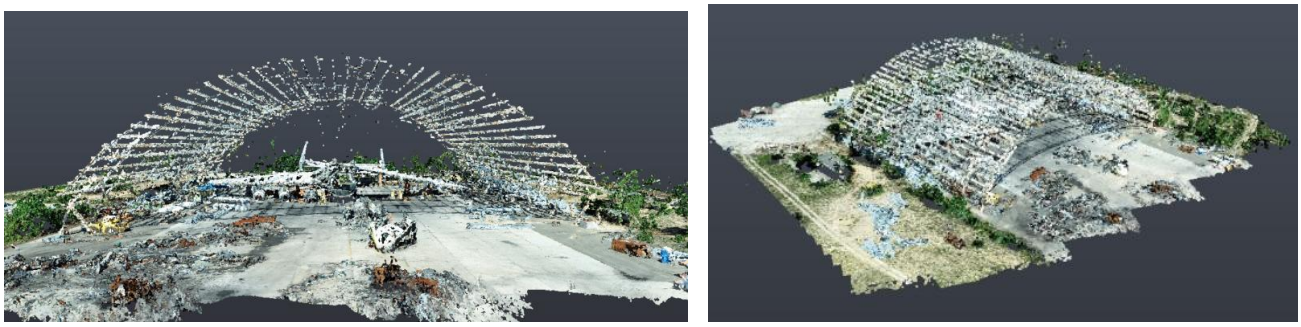


Рис. 7. Хмара точок пошкодженого ангара

Fig. 7. A point cloud of a damaged hangar

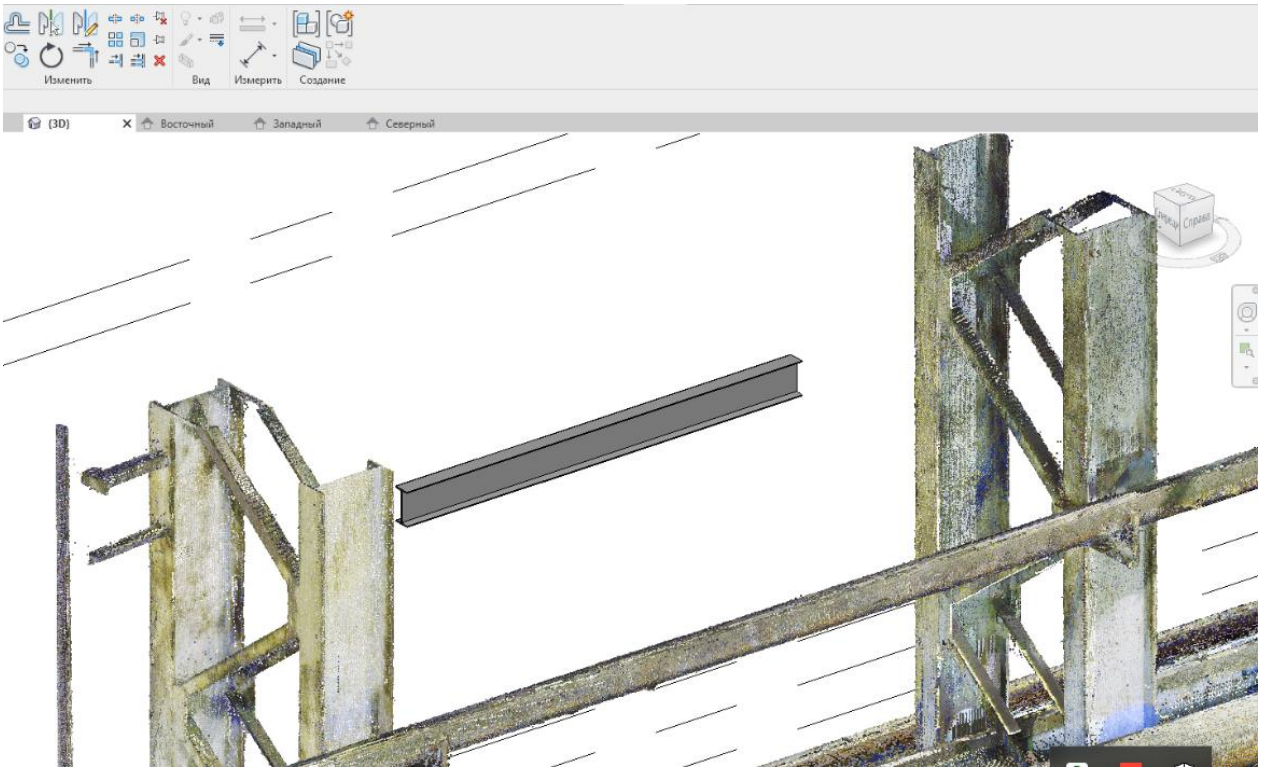


Рис. 8. Створення виконавчої моделі будівлі

Fig. 8. Creating an actual building model

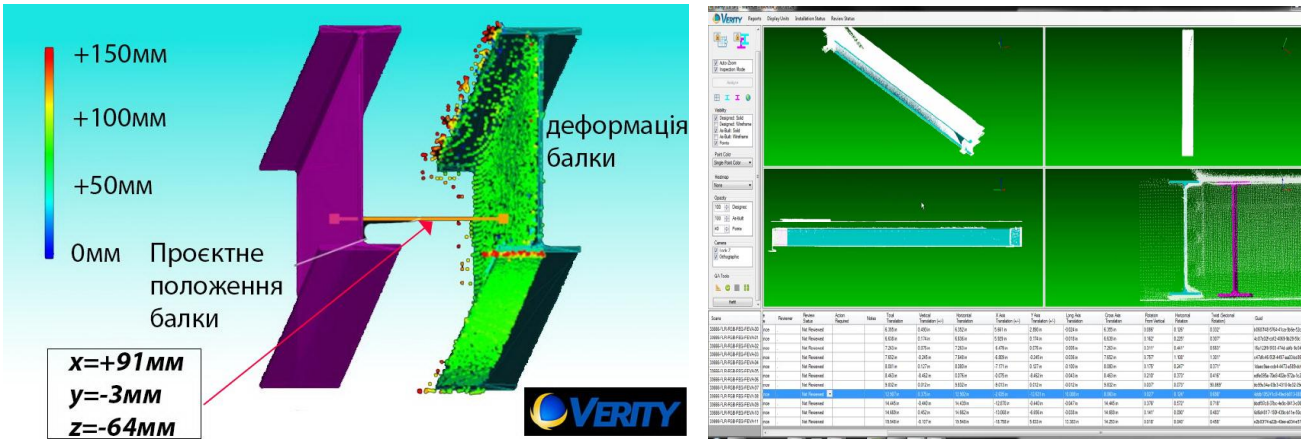


Рис. 9. Визначення фактичних відхилень від проєкту

Fig. 9. Determination of actual deviations from the project

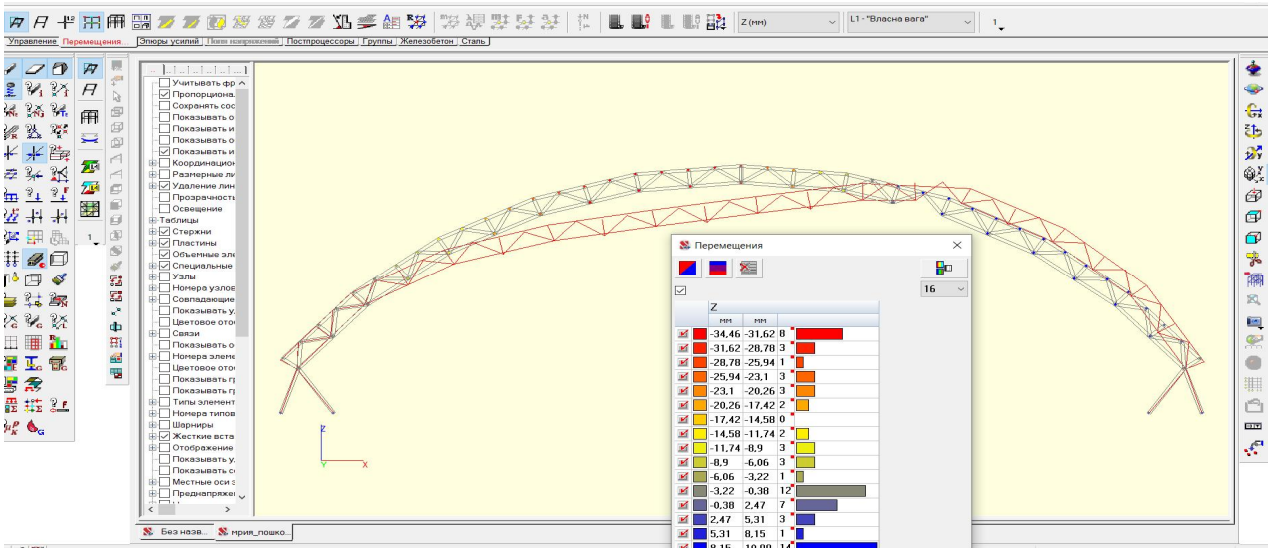


Рис. 10. Виконавча схема відхилень опорної арки ангара

Fig. 10. Executive diagram of deviations of the support arch of the hangar

П'ятий етап – це науково-технічний та діагностичний етап, у якому виконуємо аналіз причин та розрахунок параметрів відхилень, деформацій та пошкоджень конструкцій. За потреби здійснюється формування робочих креслень, специфікації, кошторисної вартості. Програмне забезпечення аналізує дані хмари точок лазерного сканування пошкоджених конструкцій, а потім виконує порівняння фактичного положення аналізованої конструкції з проєктною моделлю, яку побудували на другому етапі. Особливу увагу звертаємо на виявлення відхилень, відсутніх елементів або інших потенційно небезпечних місць споруди.

Дані про відхилення та скориговану модель можна експортувати до Navisworks для виявлення похибок у вихідному стані та подальшого аналізу. Бракована конструкція та робота з неприпустимими допусками – серйозна проблема у будівельній галузі, на яку зазвичай припадає 5 % вартості проєкту. Verity може істотно зменшити цей фінансовий вплив, виявляючи проблеми на ранніх етапах будівництва, щоб їх можна було виправити або усунути до того, як вони вплинуть на графіки або майбутні роботи.

За результатами геодезичного моніторингу ми отримали фактичні деформації опорної арки ангара (рис. 10), які потім передали далі по BIM-ланцюгу наступним виконавцям комплексного технічного обстеження.

Після виконання технічного обстеження, на основі прийнятих рішень експерта, подальша доля будівлі може бути різною – реконструкція, капітальний ремонт або демонтаж. У всіх вищезазначених випадках ці види робіт виконуватимуть вже будівельники, використовуючи BIM-модель, яку геодезисти розробили під час технічного обстеження. Цей етап є завершальним етапом BIM-ланцюга з технічного обстеження пошкоджених будівель та споруд.

Після визначення всіх розрахункових обсягів, залежно від висновку технічного звіту, працівники відповідного відділу розробляють проєкт організації будівництва (ПОБ) та проєкт виконання геодезичних робіт (ПВГР). BIM програма автоматично складає календарний графік виконання всіх робіт. У BIM-модель вводяться логістичні дані, що визначають кількість, види матеріалів та обладнання, які мають бути доставлені на будівельний майданчик, та вказують, у які термін. Після здавання об'єкта інформаційну модель контролює служба, яка здійснює експлуатацію, а встановлення спеціальних давачів дасть змогу відстежувати стан конструкцій та інженерних систем у режимі реального часу.

Наукова новизна і практична значущість

Розглянута у статті технологія має значний потенціал для створення 3D моделі будівель і споруд під час технічного обстеження. Технічному експерту не потрібно за файлами dwg викреслювати каркас, огородження, покриття, ландшафт тощо. В інформаційній BIM-моделі є вже вся необхідна інформація, яку можна експортувати в потрібний формат даних і передавати всім виконавцям та користувачам на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Висновки

Як показує практика, процес розвитку та впровадження технології BIM у нашій країні реалізується

поступово. Проте повномасштабні бойові дії на території України вносять корективи у швидкість впровадження нормативної бази. Технічне обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок бойових дій, потребує оперативної швидкості та точності виконаних робіт. Для таких умов саме застосування сучасних геодезичних методів контролю пошкоджень на основі BIM-технологій – це незаперечна перевага. По-перше, це можливість своєчасного усунення критичних руйнувань будівель, які загрожують життю та здоров'ю мешканців; це оперативний обмін інформацією. По-друге, це можливість візуалізації результатів польових робіт і уникнення вже застарілих паперових технологій. Застосування BIM-геодезичного моніторингу істотно поліпшує комунікацію між усіма виконавцями процесу – замовником, проєктувальником, геодезистом, архітектором, інженером тощо. Істотна економія людського ресурсу в разі використання сучасних високотехнологічних геодезичних технологій, безумовно, дає підстави стверджувати про перспективність і, відповідно, майбутній розвиток BIM-технології для вирішення будівельних завдань.

Література

Annenkov A. (2022). Monitoring the deformation process of engineering structures using BIM technologies. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* Vol. XLVI-5/W1-2022. Measurement, Visualisation and Processing in BIM for Design and Construction Management II, 7–8 Feb. 2022, Prague, Czech Republic. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-15-2022

Анненков А. О. (2022). Перспективи застосування BIM-технології при геодезичному забезпеченні будівництва. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Геофорум-2022"*, 6–8 квітня 2022 року, С. 23–26. http://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Oreni, D., Previtali, M., Roncoroni, F., Schiantarelli, G. (2015): BIM from laser clouds and finite element analysis: combining structural analysis and geometric complexity. Int. Arch. Photogramm. *Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W4, 8103–8120. http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-345-2015

Crespi, P., Franchi, A., Ronca, P., Giordano, N., Scamardo, M., Gusmeroli, G., Schiantarelli, G. (2016): From BIM to FEM: the analysis of an historical masonry building. *WIT Transactions on the Built Environment*, 149, 581–592. https://doi.org/10.2495/BIM150471

Dinga L. Y., Zhonga B. T., Wub S., Luoa H. B. (2016). Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science*, Vol. 87, 202–213. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008

Isaev O., Annenkov A., Demianenko R., Chulanov P. (2022). Monitoring of the elements stability of building constructions by means of example of vertical elastic rod of high flexibility. *Strength of Materials and Theory of Structures*, No. 109 (2022). 416-425 DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.416-425

Li, H.-N., Yi, T.-H., Yi, X.-D., Wang, G.-X. (2007). Measurement and analysis of windinduced response of tall building based on GPS technology. Advances in Structural Engineering 10(1): 83– 93.

Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів (наказ Мінрегіону від 06 серпня 2022 року № 144).

Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд: Постанова КМУ від 19 квітня 2022 р. № 473.

Shults, R. (2020). The Models of Structural Mechanics for Geodetic Accuracy Assignment: A Case Study of the Finite Element Method. *In Contributions to International Conferences on Engineering Surveying*, 187-197. https://doi.org/10.1007/978- 3-030-51953-7_16

Shults, R.; Ormambekova, A.; Medvedskij, Y.; Annenkov, A. (2023). GNSS-Assisted Low-Cost Vision-Based Observation System for Deformation Monitoring. *Appl. Sci.*, 13, 2813. https://doi.org/10.3390/app13052813

Shults, R. (2022). Geospatial monitoring of engineering structures as a part of BIM, Int. Arch. Photogramm. *Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVI-5/W1-2022, 225–230, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-225-2022, 2022

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19: 829–843. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007

Xu, W., Xu, X., Yang, H., Neumann, I. (2019). Optimized finite element analysis model based on terrestrial laser scanning data. *Composite Structures*, 207: 62–71. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.09.006

Zhao Na (2021). Research on the Management Mode of EPC Project of Prefabricated Building Based on BIM Technology [J]. *Open Access Library Journal*, 08(07): 85–98 https://doi.org/10.4236/oalib.1107616

A. ANNENKOV, R. DEMIANENKO, N. KULICHENKO

Department of geodesy, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, 31, Povitroflotskyi Ave., Kyiv, 03037, Ukraine, e-mail: geodez74@gmail.com.

GEODESIC MONITORING OF BUILDINGS DAMAGED AS A RESULT OF COMBAT ACTIONS, USING BIM-SIMULATION

The purpose of this work is to improve the methodology of geodetic works within the framework of the technical survey of buildings damaged as a result of hostilities, with the involvement of a complex of BIM technology tools in the digitization of geodetic measurements. **Method**. Issues regarding the use of interactive geodetic control of buildings damaged as a result of hostilities, with the use of BIM modeling as part of the technical survey of buildings and structures, were considered. The huge number of destroyed buildings on the territory of Ukraine leads to an increase in the potential of technical inspection, an increase in the labor intensity of works, and a shortening of the terms for issuing technical reports. Accordingly, the question arises of adjusting the existing methods of geodetic control taking into account the modern complex situation. Technologies of using modern geodetic methods, which allow collecting large arrays of data with high accuracy and efficiency, are considered. These methods are based on Autodesk software products (Revit, Autodesk Point Layout, Navisworks, VERITY). Monitoring is carried out by comparing the digital model with the cloud of points obtained after scanning the damaged structure. **The results**. The use of VIM geodesy in the monitoring of damaged objects increases the efficiency of technical inspection works several times, maximally excludes the human factor in complex calculations and improves the quality of the decisions made. **Scientific novelty and practical significance** BIM-geodesy technology has a significant potential for creating 3D models of buildings and structures in the process of technical survey. A technical expert no longer needs to draw a frame, fence, coating, landscape, etc. from dwg files. The VIM information model already contains all the necessary information, which can be exported to the desired data format and transferred to all performers and users at all stages of the object's life cycle. After determining all the estimated volumes, depending on the conclusion of the technical report, the employees of the relevant department develop the construction organization project (POB) and the geodetic work execution project (PVGR). The BIM program automatically compiles a calendar schedule for the execution of all works. Logistics data is entered into the VIM model, which determines the amount, types of materials and equipment that must be delivered to the construction site, and in what time. A significant saving of human resources when using modern high-tech geodetic technologies certainly allows us to talk about the prospects and, accordingly, the future development of VIM technology in solving construction tasks.

Key words: BIM-technology; geodetic monitoring; deformations of structures; visualization of information; damage as a result of combat operations.

References

Annenkov A. (2022). Monitoring the deformation process of engineering structures using BIM technologies. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLVI-5/W1-2022 Measurement, Visualisation and Processing in BIM for Design and Construction Management II, 7–8 Feb. 2022, Prague, Czech Republic. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-15-2022

Annenkov A. O. (2022). Perspektyvy zastosuvannia BIM-tekhnolohii pry heodezychnomu zabezpechenni budivnytstva. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Heoforum-2022"*, 6–8 kvitnia 2022 r., 23–26. http://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Oreni, D., Previtali, M., Roncoroni, F., Schiantarelli, G. (2015). BIM from laser clouds and finite element analysis: combining structural analysis and geometric complexity. Int. Arch. Photogramm. *Remote Sens. Spatial Inf. Sci*., XL-5/W4, 8103–8120. http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-345-2015

Crespi, P., Franchi, A., Ronca, P., Giordano, N., Scamardo, M., Gusmeroli, G., Schiantarelli, G. (2016). From BIM to FEM: the analysis of an historical masonry building. *WIT Transactions on the Built Environment*, 149, 581–592. https://doi.org/10.2495/BIM150471

Dinga L. Y., Zhonga B. T., Wub S., Luoa H. B. (2016) Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science*, Vol. 87, 202–213. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008

Isaev O., Annenkov A., Demianenko R., Chulanov P. (2022). Monitoring of the elements stability of building constructions by means of example of vertical elastic rod of high flexibility. Strength of Materials and Theory of Structures, No. 109 (2022), 416–425. DOI: https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.416-425

Li, H.-N., Yi, T.-H., Yi, X.-D., Wang, G.-X. (2007). Measurement and analysis of windinduced response of tall building based on GPS technology. *Advances in Structural Engineering*, 10(1): 83– 93.

Metodyka obstezhennia budivel ta sporud, poshkodzhenykh vnaslidok nadzvychainykh sytuatsii, boiovykh dii ta terorystychnykh aktiv (nakaz Minrehionu vid 06 serpnia 2022 roku No. 144).

Poriadok vykonannia nevidkladnykh robit shchodo likvidatsii naslidkiv zbroinoi ahresii Rosiiskoi Federatsii, poviazanykh iz poshkodzhenniam budivel ta sporud (postanova KMU vid 19 kvitnia 2022 r. No. 473).

Shults, R. (2020). The Models of Structural Mechanics for Geodetic Accuracy Assignment: A Case Study of the Finite Element Method. *In Contributions to International Conferences on Engineering Surveying*, 187–197. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_16

Shults, R.; Ormambekova, A.; Medvedskij, Y.; Annenkov, A. (2023).GNSS-Assisted Low-Cost Vision-Based Observation System for Deformation Monitoring. *Appl. Sci.*, 13, 2813. https://doi.org/10.3390/app13052813

Shults, R. (2022). Geospatial monitoring of engineering structures as a part of bim, Int. Arch. Photogramm. *Remote Sens. Spatial Inf. Sci*., XLVI-5/W1-2022, 225–230. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-225-2022, 2022

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19: 829–843. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007

Xu, W., Xu, X., Yang, H., Neumann, I. (2019). Optimized finite element analysis model based on terrestrial laser scanning data. *Composite Structures*, 207: 62–71. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.09.006

Zhao Na (2021). Research on the Management Mode of EPC Project of Prefabricated Building Based on BIM Technology [J]. *Open Access Library Journal*, 08(07): 85–98. https://doi.org/10.4236/oalib.1107616