

УДК 528.482:[624:331.4]

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.290823.17.966

АКТУАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОМОНІТОРИНГУ ЯК ФАКТОРА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

БЕГІЧЕВ С. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ШУТІНА Г. С.², канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

² Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

Анотація. Отримання достовірних даних результатів геомоніторингу дозволяє своєчасно впровадити заходи щодо стабілізації деформацій будівель та споруд, виконати наукове обґрунтування розробки пропозицій для вжиття необхідних дій щодо підвищення стійкості споруд та захисту будівель у разі виявлення недопустимих деформацій. Серед причин виникнення деформацій можна виділити недосконалість конструкцій фундаментів та споруд, вплив природних умов (геологічні умови, зміна рівня ґрунтових вод, дія вітру та температури, сейсмічні явища) і антропогенний вплив (механічні навантаження). **Мета роботи** – дослідження існуючих методів геомоніторингу за деформаціями будівель та споруд особливо у щільній міській забудові, їх порівняльний аналіз та формування пропозицій щодо їх раціонального та обов'язкового використання. **Методика.** Аналіз нормативних та літературних джерел із геодезичного моніторингу будівель та споруд. Аналіз закордонного досвіду спостережень за вежами з використанням сучасних 3D-технологій лазерного сканування. Порівняльний аналіз точісних параметрів та економічних характеристик методів моніторингу будівель та споруд. **Наукова новизна.** Рекомендовано в процесі проектування закладати у проекти будівлі та споруди геодезичні марки для моніторингової мережі, щоб не псувати на стадії експлуатації їх архітектурний вигляд за потреби проводити геодезичний моніторинг. Шляхом використання сучасних геодезичних методів моніторингу з інноваційними сучасними технологіями можна отримати об'ємну картину деформування будівель та споруд, задля вживання своєчасних заходів для боротьби з ними та розроблення заходів запобігання подальшому руйнуванню будівель. **Практична значимість.** У наш час із розвитком технологій та появою сучасного обладнання поширеного використання набув комбінований метод геомоніторингу, що включає поєднання тахеометричної зйомки з наземним лазерним скануванням та цифровою стереофотографічною зйомкою, що дозволяє отримати об'ємну 3D-картину деформацій всієї будівлі (як фундаментів, так і стін). Проте часто трапляються випадки, коли геодезичними спостереженнями за деформаціями основ і фундаментів споруд нехтують задля економії бюджету будівництва. **Результати.** Проаналізовано види та причини виникнення деформацій інженерних споруд. Розглянуто сучасні технології проведення геодезичного моніторингу, виявлено їх переваги та недоліки. Звертається увага на дотримання вимог нормативних документів і раціонального вибору економічно доцільної технології проведення геодезичного моніторингу з використанням надійних геодезичних пунктів. У великих містах із різною щільністю забудови та наявністю різних архітектурних ансамблів під час розвитку будівельних робіт необхідно мати надійну геодезичну основу, яка може бути сформована шляхом регулярного моніторингу існуючої міської геодезичної мережі.

Ключові слова: геомоніторинг; деформація будівель і споруд; наземне лазерне сканування; цифрова наземна фототеодолітна зйомка; тахеометри; крени; осідання; горизонтальні зміщення

UPDATE OF GEOMONITORING TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF ENSURING THE SAFE OPERATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

BEHICHEV S.V.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

ISHUTINA H.S.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

² Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

Abstract. Obtaining reliable data based on the results of geomonitoring allows timely measures to stabilize deformations of buildings and structures. Implementation of the scientific justification for the development of methodological recommendations is required to increase the stability of structures and take the necessary measures to protect buildings in case of detection of unacceptable deformations. Among the causes of deformations, it is possible to single out the imperfection of the structures of the building, the influence of natural conditions (changes in temperature, groundwater level, wind action, seismic events, geological conditions) and anthropogenic human influence (mechanical loads). *The purpose of the work* is to study research of existing methods of geomonitoring for deformations of buildings and structures in dense urban development. Comparative analysis of geomonitoring methods and the formation of proposals for their rational and mandatory use. *Methodology.* Analysis of regulatory and literary sources on geodetic monitoring of buildings and structures. Analysis of foreign experience of observation of towers using modern 3D laser scanning technologies. Comparative analysis of accuracy and economic characteristics of methods of monitoring buildings and structures. *Scientific novelty.* It is recommended during the design process to include geodetic marks for the monitoring network in the projects of buildings and structures, so as not to spoil their architectural appearance at the stage of operation, if necessary, to carry out geodetic monitoring. By using modern geodetic monitoring methods with innovative modern technologies, it is possible to obtain a three-dimensional picture of the deformation of buildings and structures. These actions are performed in order to take timely measures to combat them and develop protective measures to prevent further destruction of buildings. *Practical value.* Nowadays, with the development of technologies and the appearance of modern equipment, the combined method of geomonitoring has become widely used. This method involves a combination of tacheometric surveying with terrestrial laser scanning and digital stereo photography. This allows you to get a three-dimensional 3D picture of the deformations of the entire building (both foundations and walls). An analogue of this method is the use of traditional ground methods – leveling and plan-altitude surveying, and the prototype – ground stereo photography. However, there are often cases when geodetic observations of deformations of foundations and foundations of structures are neglected in order to save the construction budget. *Results.* Types and causes of deformations of engineering structures are analyzed. Modern technologies of geodetic monitoring are considered, their advantages and disadvantages are revealed. Attention is drawn to compliance with the requirements of regulatory documents and the rational choice of an economically feasible technology for conducting geodetic monitoring using reliable geodetic points. In large cities with different building densities and the presence of various architectural ensembles, during the development of construction works, it is necessary to have a reliable geodetic basis. A reliable geodetic network can be formed by regular monitoring of the existing urban geodetic network.

Keywords: *geomonitoring; deformation of buildings and structures; terrestrial laser scanning; digital terrestrial phototheodolite surveying; tachometers; rolls; sinking; horizontal displacements*

Постановка проблеми. Якість виконання інженерно-будівельних робіт і монтажу технологічного устаткування багато в чому залежить від точності виконання інженерно-геодезичних робіт на всіх етапах будівництва. Інженер-геодезист ще на стадії інженерно-геодезичних вишукувань створює планово-висотну геодезичну основу, пункти якої повинні буди надійними, стійкими, зберігати свої просторові координати протягом усього часу будівництва. На стадії інженерно-геодезичного проектування здійснюється підбір та складання топографічних планів, профілів, що необхідні для проектування інженерних споруд.

Для перенесення проекту споруди на місцевість потрібні прилади необхідної точності, за допомогою яких на стадії

розмічування інженерних споруд будуть винесені та закріплені на місцевості головні та основні вісі споруди, а потім виконують детальне розмічування споруди. Етап геодезичного забезпечення монтажу елементів будівельних конструкцій і технологічного устаткування характеризується високою відповідальністю і точністю виконання геодезичних робіт і включає [1]:

- виконавчу зйомку (геодезичні вимірювання відхилень від проектного планового положення, за висотою та вертикаллю елементів будівельних конструкцій і технологічного устаткування);
- розмічування планового положення монтажних осей і закріплення висотних маяків на монтажних горизонтах;

- перенесення осей споруд і висотних маяків на монтажні горизонти;
- геодезичні вимірювання під час установлення елементів конструкцій у плані, за висотою та вертикаллю;
- розмічування монтажних осей і контроль монтажу технологічного устаткування.

Система будівельного законодавства передбачає обов'язкове ведення науково-технічного супроводу та систематичного моніторингу будівельних об'єктів як у процесі будівництва, так і на стадії їх експлуатації. Це дозволяє значно зменшити ризику аварійних ситуацій внаслідок розвитку деформацій інженерних споруд. Результати геомоніторингу дозволяють обґрунтувати теоретичні розрахунки стійкості споруд і вжити необхідних заходів для захисту в разі виявлення недопустимих деформацій.

Виділення невирішеної проблеми.

Сучасний стан будівельної індустрії країни сформований за принципами ринкової економіки, що позначається на отриманні максимального прибутку за рахунок скорочення окремих статей будівельних технологій. Наразі часто трапляються випадки, коли геодезичними

спостереженнями за деформаціями основ і фундаментів споруд нехтують задля економії бюджету будівництва. Через це розвиток осідань, планових зміщень та кренів інженерних (висотних) споруд виявляють запізно. Отож, системний геомоніторинг дозволяє своєчасно виявити деформації та виконати наукове обґрунтування розроблення методичних рекомендацій щодо підвищення стійкості споруд для прийняття необхідних заходів та захисту будівель у разі виявлення недопустимих деформацій.

Багаторічний досвід виконання геодезичного моніторингу показує, що доцільно ще на стадії проектування будівельних споруд планувати закладку пунктів майбутньої геомоніторингової мережі. Питання завчасного проектування розташування геодезичних деформаційних марок для геомоніторингу, що повинні бути внесені заздалегідь у розроблені ескізи фасадів споруд, заслуговує особливої уваги. Це дозволить зберегти оформлення зовнішнього вигляду будівель та споруд, не порушуючи їх архітектурного вигляду та благоустрій території населених пунктів у процесі геодезичного моніторингу.

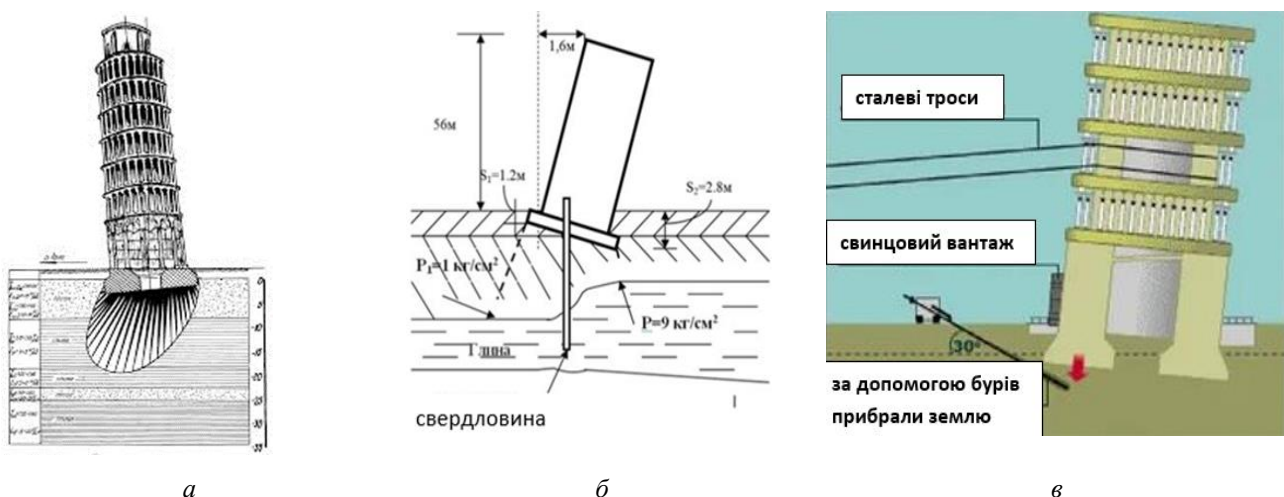


Рис. 1. Деформації Пізанської вежі: а – Пізанська вежа на ущільнених ґрунтах; б – нагнітання цементного розчину в 1932 р.; в – стабілізація деформацій у 2002 р.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед причин виникнення деформацій можна виділити недосконалість конструкцій фундаментів та споруд, вплив природних умов (геологічні умови, зміна

рівня ґрунтових вод, дія вітру та температури, сейсмічні явища) і антропогенний вплив (механічні навантаження). Під постійним тиском від ваги споруди ґрунти в її основі поступово

ущільнюються і виникає зміщення чи осідання споруди у вертикальній площині.

Внаслідок швидкої зміни структури пористих і пухких ґрунтів виникає швидка вертикальна деформація споруди, яку називають *просіданням*. Коли ґрунти під основою споруди стискаються неоднаково, осідання мають нерівномірний характер. Це, у свою чергу, може викликати *горизонтальні зміщення, перекоси, зсуви, прогинання* з появою тріщин та розламів у споруді. Відомо багато прикладів появи кренів унаслідок ущільнення ґрунту. На рисунку 1 зображена Пізанська вежа (м. Піза, Італія), будівництво якої розпочалося ще в 1173 р. і продовжувалось протягом 180 років.

Умови для зведення цієї високої споруди були складними з самого початку, зумовлені високим рівнем ґрунтових вод та структурно-нестійкими ґрунтами (глини та дрібний пісок). Основною причиною різного осідання та нахилу вежі стала підвищена деформативність і стисливість ґрунту основи в області під південною частиною вежі. Однак диференціальні осідання можуть викликати значні проблеми і для інших, нижчих структур, і необхідно знати потенційні причини, щоб усунути їх або принаймні зменшити їх вплив до прийняттого рівня.

У 1176 році після спорудження третього поверху Пізанської вежі завдяки геодезичним спостереженням був виявлений крен, що виник унаслідок ущільнення ґрунту в процесі будівництва.

Відтоді проводяться періодичні спостереження за станом вежі. В 1911 році було зафіксовано швидкість розвитку осідань вежі, що склала 1,2 мм у рік [2]. З метою стабілізації відхилень вежі від вертикалі ще в 1932 р. під її основу було зроблено нагнітання близько 1 000 т цементного розчину через 351 свердловину діаметром 50 мм (рис. 1, б). Зростання нахилу за останнє десятиліття минулого століття становило близько 1 мм за рік. Тільки у 2002 році відхилення вежі було стабілізоване шляхом вилучення ґрунту з основи та проведення додаткових заходів

щодо посилення основи (рис. 1, в). Сьогодні нахил вершини від центра Пізанської вежі у південному напрямку становить 5,3 м.

Отже, не зважаючи на те, що технології розвинутого середньовіччя поступаються сучасним методам, геодезичні методи спостережень дозволили ще у XII ст. на стадії будівництва третього поверху Пізанської вежі визначити її крен та вжити відповідних заходів до стабілізації розвитку деформацій.

Приклад впливу осідань поверхні на руйнування будівель у Чилі внаслідок техногенної діяльності людини у XIX столітті наведені на рисунку 2. Інтенсивна підземна розробка родовищ мідної руди та вугілля в районах Коронель, Швагер і Лота проводилась навіть під містами та поселеннями, що викликало численні осідання поверхні і руйнування будівель [3]. Цей випадок став прикладом відсутності своєчасного геодезичного моніторингу на згаданій території.



Рис. 2. Осідання поверхні, будівель та споруд внаслідок гірничих робіт (Чилі)



Рис. 3. 3D-зйомка будівлі (лазерне сканування) [4]

Сьогодні з метою своєчасного виявлення дефектів і деформацій стін, а в деяких випадках і дефектів будівель, використовують таку сучасну технологію як 3D лазерне сканування. Воно дозволяє найбільш детально уявити геометричні

форми і параметри приміщення для подальшого планування, дизайну об'єктів і проведення ремонтних робіт [4]. Лазерне сканування будівель, а також інших великогабаритних об'єктів – це ефективний і точний спосіб отримати детальну інформацію про їх просторові характеристики (рис. 3), а також це новітній метод отримання 2D- і 3D-моделей навколишнього простору.

У процесі роботи приладів створюється хмара точок із просторовими координатами, які в підсумку дають об'ємне зображення. Отримана модель об'єкта може містити від декількох тисяч до декількох мільйонів координатних точок. При цьому вимірювання виконуються з точністю до міліметра. Послідовність робіт із лазерного сканування така:

польові роботи:

- рекогносцировка місцевості;
- врахування перекриття хмар точок під час розмічувальних робіт;
- встановлення на місцевості обладнання та вимірювання координат станцій;
- процес сканування на станціях;

камеральні роботи:

- завантаження у програмне забезпечення даних сканування;
- зшивання хмар точок та їх зрівноваження;
- експорт даних в інші програмні продукти системи автоматизованого проектування.

У публікації [5] наведено результати моніторингу наземним лазерним сканером середньовічних веж (Гірландіна, Делла Сагра, Асінеллі), розташованих у регіоні Емілія-Романья (Італія) та внесені до списку культурної спадщини ЮНЕСКО.

Для моніторингу веж важливе визначення геометрії осей. Технологія наземного лазерного сканування, застосована до історичних пам'яток, – це корисний інструмент для встановлення геометрії структури, що забезпечує глобальний і точний аналіз архітектури, незважаючи на її складність. На думку авторів [5] визначення тривимірної цифрової моделі (рис. 4) являє собою важливу базу даних не лише для оцінення

структурних особливостей веж (дозволяє пізнати їх реальну геометрію), а також і для планування реставраційних робіт.

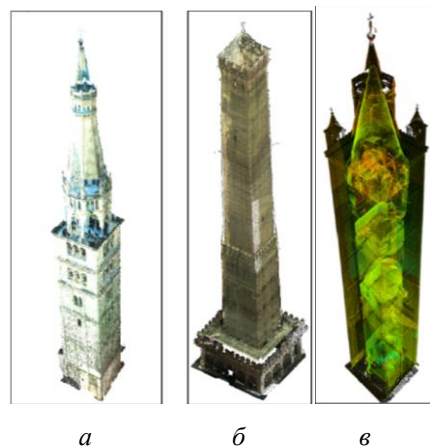


Рис. 4. Цифрові 3D-моделі веж:
а – Гірландіна; б – Асінеллі; в – Делла Сагра [5]

Процес вирівнювання та реєстрації сканів виконувався лише за допомогою кількох штучних маркерів, виділених у кожній хмарі точок. Були встановлені світловідбивні мішені-цілі як на вежах, так і на сусідніх будівлях. Це дозволило досягти високої точності (до сантиметра) 3D цифрової моделі. На кожен сканувальну станцію необхідно мати як мінімум три цілі, які також можуть бути виявлені з іншої позиції сканування, щоб мати можливість виконати вирівнювання. Для зменшення помилки сканування, підвищення точності реєстрації об'єкта зйомки на основі об'єднання усіх «хмар точок» в єдиний геометричний простір використовують п'ять або шість цілей з кожної станції.

3D-модель може бути збагачена за допомогою текстури фотографічних зображень високої роздільної здатності, що дозволяє детально аналізувати характеристики поверхні та генерувати фотореалістичні моделі, відомі як «віртуальна реальність». Визначення фактичної геометрії має велике значення для вивчення будівель і стало першим фундаментальним кроком до моніторингу веж.

Основною метою обстежень веж було:

- визначення фактичної висоти веж;

- визначення загального звису і максимального зміщення відносно вертикального напрямку;
- аналіз планово-альтиметричного тренду геометричного барицентра, пов'язаного зі зміною висоти.

У публікації В. М. Глотова [6] виконано аналіз літературних джерел, у яких висвітлюються технологічні аспекти та методики складання фронтальних планів за допомогою наземного лазерного сканування (НЛС) і цифрової зйомки. Автор приходить до висновку, що застосування цифрового стереофотограмметричного методу дозволяє поліпшити детальність зйомки НЛС у недоступних частинах будівлі та місцях із «мертвими зонами», а тахеометрична зйомка дозволяє отримати контрольні точки на споруді.

Мета роботи – дослідження існуючих методів геомоніторингу за деформаціями будівель та споруд, особливо у щільній міській забудові, їх порівняльний аналіз та формування пропозицій щодо їх раціонального використання.

Виклад основного матеріалу і отриманих наукових результатів. Згідно з ДБН В.1.3-2:2010 [7], комплекс робіт із геодезичного моніторингу виконується для спостереження за деформаціями основи, фундаменту, наземної частини та інженерних мереж. Під час геодезичного моніторингу визначають характеристики деформацій, наведені на рисунку 5.



Рис. 5. Визначення деформацій будівель

Існує багато методів проведення геодезичного моніторингу деформацій будівель та споруд [7], кожен з яких має свої переваги та недоліки:

- високоточне нівелювання дозволяє виявити вертикальні деформації фундаменту споруд;
- лінійно-кутові вимірювання – осідання та деформації споруд різних типів;
- спосіб GPS-вимірювань – деформації багатоповерхівок у динаміці;
- наземне лазерне сканування – кренів споруд та об'ємного деформування фасадів споруд;
- інклінометрія – контроль горизонтального зміщення споруд;
- вимірювання датчиками розкриття тріщин – контроль у режимі реального часу;
- стереофотограмметричний метод – визначення деформацій фасадів споруд.

За даними геодезичних вимірювань можна визначити досить малі, рознесені за часом переміщення точок об'єкта, що дозволяє оцінити його стан у цілому. Цифрові фотограмметричні методи за точністю не поступаються геодезичним, вони дозволяють фіксувати положення точок об'єкта, який вивчається, в один фізичний момент, що дає можливість оцінити взаємну деформацію точок об'єкта в цілому і окремих його частин.

За великої кількості визначених точок фотограмметричні методи більш економічні та продуктивні, ніж геодезичні, тому вони знаходили у минулому широке практичне застосування для визначення деформацій інженерних споруд, будівельних конструкцій, вузлів та моделей під час випробування статичними навантаженнями та динамічними впливами. Фотографії раніше отримували, як правило, за допомогою фототеодолітної зйомки.

Принцип визначення деформацій цим методом полягає в багаторазовому отриманні координат точок об'єкта, що досліджується, за вимірюваннями наземних знімків і порівнянні їх з вихідними або проектними даними.

У наземній фотограмметрії вивчення деформації об'єкта може проводитися за

вимірами одиночних знімків (метод нульового базису – *фотометричний*) або за результатами вимірів знімків стереопари (*стереофотограмметричний*).

Велику практичну цінність має застосування фотограмметрії в архітектурно-будівельних обмірах для реконструкції будівель. Зазвичай натурні методи виконання обмірів вимагають великих витрат часу та коштів, особливо у випадках, коли для обмірних робіт складних споруд необхідно зводити будівельні риштування.

Наразі з розвитком технологій та появою сучасного обладнання поширеного використання набув комбінований метод геомоніторингу, який включає поєднання тахеометричної зйомки з наземним лазерним скануванням та цифровою наземною стереофотозйомкою, що дозволяє отримати об'ємну 3D-картину деформацій всієї будівлі (як фундаментів, так і стін). Аналогом цього методу стало застосування традиційних наземних методів – нівелювання та планово-висотної зйомки, а прототипом – наземної стереофотозйомки.

Принцип роботи лазерного сканера аналогічний принципу роботи безвідбивачевого електронного тахеометра і полягає у вимірюванні часу проходження лазерним променем відстані від випромінювача до поверхні, що відбиває і назад до приймача [8]. Результатом роботи сканера стає масив (хмара) точок лазерних відображень від об'єктів, що розташовані в полі зору сканера, з п'ятьма характеристиками, а саме просторовими координатами (x , y , z), інтенсивністю і реальним кольором.

Сканер складається з лазерного далекоміра, адаптованого для роботи з високою частотою, і блока розгортки лазерного променя. В електронних тахеометрах відстані вимірюються за різницею фаз випускаючого і відбитого променя (фазовий метод), а іноді (у деяких сучасних моделях) – за часом проходження променя лазера до відбивача і назад (імпульсний метод).

До переваг лазерного сканування можна віднести [9]:

- можливість виконання робіт за будь-якого освітлення;
- швидке отримання результатів польових вимірювань;
- зниження витрат на виконання виконавчої і топографічної зйомки;
- визначення «мертвих зон» на стадії виконання польових робіт, завдяки тривимірній візуалізації в реальному часі;
- використання отриманих результатів сканування 3D для виконання інженерних завдань;
- сканування точок об'єкта лише з одного центра проектування;
- високий ступінь деталізації та підвищення якості результату;
- безпека під час зйомки небезпечних важкодоступних районів та зон.

У наш час лазерне сканування застосовують у таких сферах [9]:

- створення тривимірних моделей складних інженерних споруд і технологічного обладнання з високим ступенем деталізації і точності;
- зйомка фасадів історичних будівель, пам'яток та унікальних об'єктів для їх реконструкції;
- дорожня зйомка та зйомка тунелів;
- гірничодобувна промисловість;
- моніторинг будівель і споруд;
- визначення обсягів земляних робіт і / або технологічних ємностей;
- документування наслідків надзвичайних ситуацій.

Отже, шляхом застосування сучасних геодезичних методів моніторингу з інноваційними сучасними технологіями (електронного тахеометра, лазерного сканера, цифрової фотокамери) можна отримати об'ємну картину зрушення будівель та споруд (об'ємний вигляд деформацій) для вживання своєчасних заходів до боротьби з ними та запобігання подальшому руйнуванню будівель.

Порівняльні характеристики існуючих методів моніторингу наведені в таблиці. Кожен із розглянутих методів має свої переваги й недоліки. Проте більшість

дослідників рекомендують застосовувати саме комбінований метод на основі поєднання вказаних трьох методів. Поєднання наземної цифрової зйомки та НЛС дозволяє підвищити точність та читабельність 3D-моделей, виключити «мертві зони», які не може захопити сканер. Для реєстрації всієї будівлі потрібно встановити марки до стіни і виконати виміри за допомогою тахеометра.

Рекомендується також у процесі будівництва закладати у будівлі та споруди геодезичні пункти для моніторингової мережі, щоб не псувати на стадії експлуатації їх архітектурний вигляд.

Висновки та перспективи розвитку напрямку. Метод 3D-сканування на сьогоднішній день – один із найефективніших для отримання даних про об'єкти будівництва, однак він і найдорожчий.

Своєчасно виконаний геомоніторинг будівель та споруд дозволяє виявити розвиток деформацій та застосувати технічні рішення з інженерного захисту будівлі, а отримана об'ємна 3D-картина за результатами фасадної зйомки будівлі дозволяє визначити всі недоліки чи переваги елементів фасаду.

Таблиця

Порівняльна характеристика методів моніторингу будівель та споруд

Назва методу	Вартість приладів	Вартість програмного забезпечення	Точність визначення	Переваги	Недоліки
Традиційний геодезичний	електронний тахеометр Leica TS07 5" R500; 644 689 грн	ПЗ Leica FlexField 28 050 грн	Кутів – 5" Відстаней $\pm (2.0 \text{ мм} + 2.0 \text{ ppm})$	Вартість	Час виконання зйомки, великий обсяг робіт
Цифровий фотограмметричний	цифрова камера Nikon D300S 17 546 грн	ПК «Digitals Professional/ Stereo/ Ortho» 14 850 грн	координат $m_x = m_z = m_p = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, кутів $m_\alpha = m_\omega = m_\kappa = m_\nu = 3''$	Точність, можливість отримання 3D-моделі	Необхідне коригування спотворень зображень
Наземне лазерне сканування	лазерний сканер Leica BLK360 918 400 грн	ПЗ Leica Cyclone 700 088 грн.	від 5 мм до 5 см	Швидкість зйомки (від 15 с до 15 хв.)	Висока вартість обладнання, наявність «мертвих зон»

Лазерне тривимірне сканування дає більш повну та точну інформацію та уявлення про об'єкт, аж до міліметрів. Велика кількість вимірів із малим проміжним кроком допомагає отримати детальну інформацію про вигини, вади. Проте у разі виконання моніторингу в міських ущільнених умовах за відсутності видимості (огляду) не завжди є можливість застосувати цей метод. Також висока вартість цього методу становить суттєву перепону для його широкого застосування та впровадження.

Натомість застосування методу комбінування НЛС із цифровою стереофотограмметричною і тахеометричною зйомками дозволяє отримати низку переваг: технологічну оперативність, інформаційність, можливість тривимірної візуалізації створення 3D-моделей, виключення «мертвих зон» у лазерних хмарах точок та похибок орієнтування й дисторсії цифрових зображень, якісне відображення текстури об'єкта, надійність об'єднання сканів із різних точок стояння сканера.

Для фіксування контрольних точок на фасаді будівлі, за якою проводиться моніторинг, широко застосовується тахеометричний метод прив'язки із використанням високоточних електронних тахеометрів.

Щоб не псувати архітектурного вигляду будівлі, рекомендовано заздалегідь планувати закладення деформаційних марок майбутньої геомоніторингової мережі, особливо у випадку з висотними будівлями (вежами). Для цього потрібне відповідне обладнання (підйомники) або спеціалісти (альпіністи).

Необхідно підвищити контроль за дотриманням вимог нормативних документів стосовно організації геомоніторингу і раціонально обирати економічно доцільну технологію його проведення.

У великих містах з різною щільністю забудови та наявністю різних архітектурних ансамблів у процесі будівельних робіт необхідно мати надійну геодезичну основу, яка може бути сформована шляхом регулярного моніторингу існуючої міської геодезичної мережі [10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтенко С. П. Інженерна геодезія : підруч. Київ : Знання, 2009. 557 с.
2. Пізанська вежа. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%B2%D0%B5%D0%B6%D0%B0
3. Історія освоєння мінеральних ресурсів Чилі. URL: <http://surl.li/hxfnm>
4. 3D зйомка будівлі (лазерне сканування). URL: <http://geodet.com.ua/services/3d-ziomka-lazerne-skanuvannya/>
5. Bertacchini Eleonora, Bohi Emanuele, Cappa Alessandro, Castagnetti Cristina, Dubbini Marco. Terrestrial Laser Scanner for Surveying and Monitoring Middle Age Towers. *FIG Congress*. 2010. Facing the Challenges. Building the Capacity Sydney, Australia, 2010. Pp. 1–13. URL: http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2010/papers/ts04d%5Cts04d_cappa_bertacchini_et_al_4445.pdf
6. Глотов В., Марусаж Х. Аналіз методів створення фронтальних планів лазерним наземним сканування та цифровим зніманням. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Вип. 78. 2013. С. 30–37. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1471/gka78201305.pdf>
7. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_3_2_2010_geodezichni_roboti_u_budivnictvi/1-1-0-787
8. Беля-Кемінь М. В., Ничвид М. Деформації історичних будівель та споруд, під техногенним навантаженням. URL : https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/9112/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F_2016-%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8F%20%D0%9A%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%8C.pdf
9. Принцип лазерного сканування. URL: https://ngc.com.ua/ua/info/whats_hds.html
10. Антоненкова А. В., Ішутіна Г. С., Бегічев С. В. Створення геодинамічного полігону на території м. Дніпро на базі існуючих пунктів полігонометрії. *Молодь: наука та інновації : зб. матер. X Міжнар. наук.-техн. конф. студ., аспір. та мол. вч.* Дніпро : НТУ «ДП», 2022. С. 137–138.

REFERENCES

1. Voitenko S.P. *Inzhenerna heodeziia* [Engineering geodesy]. Kyiv : Znannia Publ., 2009, 557 p. (in Ukrainian)
2. *Pizanska vezha* [Tower of Pisa]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%B2%D0%B5%D0%B6%D0%B0 (in Ukrainian)
3. *Istoriia osvoiennia mineralnykh resursiv Chyli* [History of development of mineral resources of Chile]. URL: <http://surl.li/hxfnm> (in Ukrainian)
4. *3D ziomka budivli (lazerne skanuvannya)* [3D building survey (laser scanning)]. URL: <http://geodet.com.ua/services/3d-ziomka-lazerne-skanuvannya/> (in Ukrainian)
5. Bertacchini Eleonora, Bohi Emanuele, Cappa Alessandro, Castagnetti Cristina and Dubbini Marco. Terrestrial Laser Scanner for Surveying and Monitoring Middle Age Towers. *FIG Congress*, 2010. Facing the Challenges – Building the Capacity Sydney, Australia, 2010, pp. 1–13. URL: http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2010/papers/ts04d%5Cts04d_cappa_bertacchini_et_al_4445.pdf
6. Hlotov V. and Marysazh Kh. *Analiz metodiv stvorennia frontalnykh planiv lazernym nazemnym skanuvannia ta tsyfrovym znimanniam* [Analysis of methods of creating frontal plans by laser ground scanning and digital shooting]. *Heodeziia, kartografiia i aerofotoznimannia* [Geodesy, Cartography and Aerial Photography]. 2013, pp. 30–37. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1471/gka78201305.pdf> (in Ukrainian)

7. *DBN V.1.3-2:2010. Heodezychni roboty u budivnytstvi* [DBN V.1.3-2:2010. Geodetic works in construction]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_3_2_2010_geodezichni_roboti_u_budivnictvi/1-1-0-787 (in Ukrainian)

8. Belia-Kemin M.V. and Nychvyd M. *Deformatsii istorychnykh budivel ta sporud, pid tekhnohennym navantazhenniam* [Deformations of historical buildings and structures under man-made load]. URL : https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/91112/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F_2016-%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8F%20%D0%9A%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%8C.pdf (in Ukrainian)

9. *Pryntsyp lazernoho skanuvannia* [Principle of laser scanning]. URL: https://ngc.com.ua/ua/info/whats_hds.html (in Ukrainian)

10. Antonenkova A.V., Ishutina H.S. and Biehichev S.V. *Stvorennia heodynamichnoho polihonu na terytorii m. Dnipro na bazi isnuichykh punktiv polihonometrii* [Creation of a geodynamic polygon on the territory of the city of Dnipro on the basis of existing points of polygonometry]. *Molod : nauka ta innovatsii : zbirnyk materialiv konferentsii* [Youth : Science and Innovation : coll. of mater. of the conf.]. Dnipro, 2022, pp. 137–138. (in Ukrainian)

Надійшла до редакції: 23.06.2023.