УДК 528.48

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ МІСТА

[1]В. Артамонов, д. т. н.
ORCID ID: 0000-0001-5424-0040
[2]Д. Бушуєв
ORCID ID: 0000-0001-5575-1686
[1]М. Василенко
ORCID ID: 0000-0003-4632-4871
[1]П. Міхно, к. т. н.
ORCID ID: 0000-0001-8045-6478
[1]О. Хохлов, к. т. н.
ORCID ID: 0000-0002-1961-1675
[1]Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
[2]КП «Бюро містобудування та кадастру», м. Кременчук

https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.128

Артамонов В., Бушуєв Д., Василенко М., Міхно П., Хохлов О. Застосування сучасних геодезичних технологій під час проєктування та будівництва цивільних об'єктів міста

Проаналізовано традиційні геодезичні технології, що застосовуються під час проєктування та будівництва цивільних об'єктів міста; визначено нормативні вимоги до точності вимірів під час проведення геодезичних робіт; досліджено сучасні світові геодезичні технології, що застосовуються під час проєктування та будівництва цивільних об'єктів міста; визначено основні сучасні проблеми інженерної геодезії; аналізом наукових праць установлено загальні методичні підходи до застосування сучасних геодезичних технологій; виконано порівняльний аналіз застосування геодезичних методів, моделей, способів і засобів (на прикладі різних цивільних об'єктів); окреслено перспективи розвитку завдань інженерної геодезії.

Інтегрування інноваційних технологій виконується у випадках законодавчої необхідності та отримання економічної вигоди, за рахунок збереження фінансів і витрат праці. Після проведення будівельної реформи зменшився державний нагляд за виконанням геодезичного контролю під час будівництва цивільних об'єктів в Україні, що, своєю чергою, призвело до зменшення попиту на виконання геодезичних робіт і уповільнює технічний прогрес у галузі загалом. Тому потрібно розробляти заходи з інформування потенційних замовників виконання будівельних робіт щодо необхідності проведення геодезичних робіт. Доцільно організовувати маркетингові компанії для створення позитивного іміджу геодезичної галузі з економічного погляду.

Ключові слова: геодезичні технології, геодезичне обладнання, інженерна геодезія, геоінформаційне картографування, засоби вимірювань, 3D-моделювання, інформаційне моделювання.

Artamonov V., Bushuiev D., Vasylenko M., Mikhno P., Khokhlov O. Application of modern geodetic technologies while designing and constructing civil objects of the city

The object of research is the civilian objects of the city. The purpose of the work is to analyze, evaluate and develop proposals for practical implementation of traditional and modern geodetic technologies while designing and constructing urban civil facilities, and to identify existing problems of the engineering geodesy in Ukraine. In the paper, the traditional geodetic technologies used in the design and construction of civil facilities of the city are analyzed; normative requirements to the accuracy of measurements during geodetic works are determined; the modern world geodetic technologies applied during designing and constructing the civil objects of the city are investigated; the basic modern problems of engineering geodesy are defined. The analysis of scientific works establishes the general methodical approaches to application of the modern geodetic technologies; a comparative analysis of the application of geodetic methods, models, methods and tools (on the example of different civil objects); the prospects of development of tasks of engineering geodesy are outlined. To date, the integration of innovative technologies is carried out in cases of legislative necessity and economic benefits, by saving finances and labor costs. After the construction reform, the state supervision of the implementation of geodetic control during the construction of civil facilities in Ukraine decreased, which in turn led to a decrease in the demand for geodetic works and slows down technical progress in the industry as a whole. Therefore, it is necessary to develop measures to inform potential customers of construction work on the need for geodetic work. It is advisable to organize marketing companies to create a positive image of the surveying industry in the eyes of consumers from the economic point of view.

Key words: geodetic technologies, geodetic equipment, engineering geodesy, geoinformation mapping, measuring instruments, 3D-modeling, information modeling.

Постановка проблеми. Останнім десятиліттям перелік завдань інженерної геодезії як прикладної науки незмінний, оскільки, як і раніше, ці завдання пов'язані з ключовими етапами будівництва та експлуатації інженерних споруд. Проте зазнали змін методи і способи, які вивчає інженерна геодезія.

В інженерній галузі (яка є сферою застосування технологій інженерної геодезії) відбулись не менш революційні зміни, оскільки ускладнилися конструктивні схеми інженерних об'єктів, а також змінились технологія і швидкість виконання робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичною базою дослідження є праці С. Войтенка, І. Колби, В. Пересадько, К. Прядки, М. Тернового, Р. Шульца, М. Аурангжеба, Г. Луа, К. Фразер.

Постановка завдання. Наше завдання – аналіз, оцінка та розроблення пропозицій щодо практичного впровадження традиційних і сучасних геодезичних технологій під час проєктування та будівництва цивільних об'єктів міста.

Виклад основного матеріалу. Геодезичні роботи супроводжують проєктування і будівельно-монтажні роботи. Вони також тривають під час експлуатації будівель (споруд). Від точності, повноти геодезичних робіт залежать якість, довговічність і терміни зведення будівель (споруд).

До загальних недоліків геодезичного забезпечення можна віднести відсутність конкретики в державних нормативно-правових актах і посилання на галузеві (відомчі) нормативні документи, що, своєю чергою, ускладнює роботу та може призвести до суперечностей в проєктах виконання геодезичних робіт.

Як уже зазначено, змін зазнали методи і способи, які вивчає інженерна геодезія [1]. Це сталося під впливом таких чинників:

1. Нові засоби вимірювань (глобальна навігаційна супутникова система ГНСС – GNSS (Global Navigation Satellite System), електронні тахеометри і фототахеометри, цифрові нівеліри, лазерні сканери, лазерні трекери, радарні інтерферометри тощо).

2. Програмне забезпечення (перехід до складніших і адекватніших моделей, використання строгих і числових методів).

3. Автоматизація вимірювань (перехід від екзотичних громіздких вимірювальних комплексів до компактних вимірювальних систем із можливістю інтегрування будь-яких засобів вимірювання).

Таким чином, для інженерної геодезії зміни в інженерній галузі стали значним випробуванням, оскільки змінилися не тільки технології, а й швидкість виконання робіт. Значно ускладнилися конструктивні схеми інженерних об'єктів.

У дослідженнях наголошено, що досі немає простого й ефективного рішення, яке б враховувало особливості сучасних видів аерознімань, зокрема з безпілотних літальних апаратів (БпЛА), та наявність програмних модулів для створення моделей поверхні місцевості високої щільності (Digital Surface Model – DSM), моделі рельєфу (*Digital Terrain Model* – DTM) та ортофотопланів безпосередньо в інструментальних геоінформаційних системах (ГІС).

У загальній тенденції розвитку геоматики – науково-технічного напряму, який об'єднує методи й засоби технології збирання, оброблення і використання просторових даних, одним із помітних явищ стала інтеграція методів цифрової фотограмметрії у середовище геоінформаційних систем [2]. До складу програмних комплексів ГІС уводяться програмні фотограмметричні інструменти, які забезпечують отримання високоточної тривимірної інформації про склад і геометричні параметри об'єктів місцевості зі знімків, отриманих різнотипними знімальними системами. Приклади такої інтеграції наявні в актуальних версіях як відкритого, так і пропрієтарного програмного забезпечення ГІС. Скажімо, до складу програми ArcGIS уходить програмний модуль Drone2Map – розроблений на основі технологій компанії Pix4D, програмний продукт, який дає змогу виконувати повний цикл автоматичного фотограмметричного опрацювання аерознімків. Масиви геоінформації – дво- та тривимірні моделі об'єктів і місцевості, ортофотоплани, векторні картографічні дані тощо – отримують відразу в структурах і форматах конкретної інструментальної ГІС. Це вигідно вирізняє інтегровані рішення серед традиційного імпорту в ГІС таких даних, отриманих спеціалізованим фотограмметричним програмним забезпеченням. Звичайно, провідна роль програмного модуля, як постачальника даних цифрових фотограмметричних станцій (ЦФС), зберігається під час виконання складних фотограмметричних проєктів, наприклад, оброблювання отриманих повноформатними камерами знімків, забезпечення збирання даних операторами-фотограмметристами у стереорежимі тощо. Дані, отримані на ЦФС, передаються для подальшого аналізу та візуалізації в геоінформаційні системи.

Отже, інтегрування фотограмметричних методів і геоінформаційних технологій забезпечує геоінформаційні системи можливостями оперативного отримання цифрових моделей місцевості.

Подальшим етапом технологічного ланцюга є перетворення цих моделей місцевості на картографічний продукт. Для великомасштабного картографування основним способом отримання контурної частини топографічних планів досі залишається ручне оконтурення людиною-оператором об'єктів за ортофотопланом або за автоматично створеною 3D-моделлю. Ця процедура досі недостатньо автоматизована.

В окремих випадках існують суттєві обмеження щодо можливості отримання достовірних і точних контурів об'єктів. Це стосується насамперед об'єктів місцевості, закритої кронами рослин і частинами дахів будівель, які нависають [3]. Серед таких об'єктів вирізняють будівлі (споруди), контури яких відображають на картах і планах відповідно до вимог національних і галузевих нормативів.

За малої щільності моделі DSM для якісного сприйняття стін будівель (споруд) частина авторів пропонує виконувати додаткові знімання. Такий підхід, зокрема, використано в роботі [6]. Автори пропонують доповнити основний блок аерознімків перспективними знімками, отриманими з мультикоптера з відхиленням оптичної осі камери від вертикалі під кутом 45^{o}, і наземними знімками, отриманими камерою високого розрізнення. Обсяги додаткової інформації дуже суттєві, а її одержання істотно ускладнює і здорожчує проєкт. Описаний підхід неефективний ще й тому, що не вся додаткова інформація може бути використана для розв'язання задачі в реальних умовах. Під час установлення відповідних точок різнотипних знімків не обійтись без того, щоб їх перерозпізнав оператор, що вносить нові помилки і знижує рівень автоматизації загальної технології. Очевидно, вихід може стосуватись ретельнішого планування додаткових знімань, спрямовування їх не на отримання інформації про всі фасади, а передусім на конкретні елементи, такі як кути будинків. У роботі [5], як і у підході, описаному в дослідженні [3], використовується ефект ущільнення на плані XY точок тривимірної хмари точок у місцеположеннях, що належать фасадам. Автори пропонують будувати індексну карту, яка враховує за локальним перевищенням ще й кольорову інформацію щодо точки фасаду, а інші пікселі, що не належать фасаду, ігнорувати. Згодом це зображення сегментується з урахуванням середнього для кожного сегмента кольору. Метод ефективний у разі виділення фасадів із використанням перспективних знімків. Недоліком можна вважати пропозицію задіювати тільки одну стереопару – очевидно, ефект ущільнення хмари точок проявиться незначно; у структурі даних можливі пропуски через наявність зон затінення.

Таким чином, для вирішення завдання високоточного картографування будівель (споруд) необхідна інтеграція методів фотограмметрії як методу збирання інформації та аналітичних методів геоінформатики.

Застосування GNSS-технологій у геодезичних вишукуваннях останніх десяти років разом із передовими досягненнями в галузі засобів зв'язку забезпечує геодезистам виконання різних за специфікою робіт із високою продуктивністю. Сьогодні визначення просторових координат об'єктів на земній поверхні в режимі реального часу (Real Time Kinematic – RTK) стає найзатребуванішою технологією, завдяки якій геодезисти можуть отримувати координати з точністю до декількох сантиметрів безпосередньо в польових умовах.

GNSS-знімання ґрунтується на отриманні інформації зі супутникових сигналів. У разі виникнення фізичних перешкод на шляху проходження сигналу можлива втрата точності результатів GNSS. Розлогі дерева, будівлі та інші високі споруди, природні чи техногенні, можуть блокувати досягнення приймачем супутникових сигналів. Знімання не може здійснюватися на підземних об'єктах та будь-де в разі обмеженого огляду небесної поверхні.

Тому можна зробити висновок про проблематичність ведення GNSS-знімання у великих містах через наявність перешкод супутникового сигналу.

На підставі аналізу застосування методів, моделей, способів і засобів під час виконання геодезичних робіт можна сформулювати висновки, які доцільно поділити на окремі групи щодо традиційних і сучасних технологій залежно від особливостей їх використання.

До традиційних технологій, на наш погляд, належать ті, що в умовах сьогодення стають рудиментальними та обмежено використовуються в процесі проведення геодезичних робіт, а їхні результати – сумнівної якості. До них також належать ті, що застосовані з достатньою точністю, але використання яких стає економічно невигідним, і ті, що використовують за наявної матеріальної бази.

До сучасних технологій належать ті, що змінили підхід до організації робіт, створили нові

методи та моделі виконання робіт та підвищили їх автоматизацію, але їх застосування в повному обсязі унеможливлюється за відсутності необхідного нормативно-правового забезпечення в Україні та необхідності фінансових інвестицій для інтегрування в сучасні процеси. Ці недоліки можна зарахувати до загальних проблем інженерної геодезії [4].

Висновки. Професійне визначення умов застосування, необхідної точності, технології виконання геодезичних робіт під час будівництва цивільних об'єктів має стати предметом досліджень у найближчі роки. Для цього потрібно створювати робочі групи з науковців і професійних виконавців, вивчати професійний досвід упровадження інноваційних технологій в Україні та за кордоном не тільки в теоретичній формі, а й у практичному застосуванні, для виявлення переваг, а головне – недоліків сучасних методів, моделей, способів і засобів під час виконання геодезичних робіт. Також потрібно сформувати комунікацію з міжнародними колегами для обміну досвідом застосування сучасних технологій. Необхідно професійно досліджувати з технологічних позицій швидкість виконання робіт, ефективність методів, доцільність використання залежно від різних топографічних умов і типів цивільних будівель (споруд). Варто зосередити увагу на комбінуванні різних методів, наприклад, наземного лазерного сканування та БпЛА. Водночас завжди треба враховувати, що для вишукувань велике значення мають швидкість і здешевлення виконання робіт.

Нині головним завданням інженерної геодезії загалом є розроблення нових алгоритмів і засобів комунікації геодезистів і будівельників для миттєвого аналізу результатів вимірювань у режимі реального часу. Така взаємодія істотно підвищить ефективність будівельно-монтажних робіт, а геодезичні роботи повністю інтегруються в будівельний процес.

Бібліографічний список

1. Войтенко С. П., Шульц Р. В. Сучасна інженерна геодезія. Виклики та нові горизонти. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Київ: КНУБА, 2016. Вип. 2 (32). С. 25–32.

2. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій: монографія / за ред. О. Л. Дорожинського. Львів, 2016. 400 с.

3. Дорожинський О. Л., Колб І. З. Специфічний спосіб побудови ортофотозображень. *Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку*: зб. наук. праць Восьмої наук.-практ. конф. (Львів, 14–16 вер. 2017 р.). Львів, 2017. С. 21–26.

4. Міхно П. Б., Кашуба С., Бушуєв Д. С. Проблеми застосування традиційних інженерно-геодезичних технологій в Україні в сучасних умовах. *Технічні та економічні рішення з протидії глобальним викликам:* матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Кременчук, Одеса, 17–20 вер. 2020 р.). Кременчук, 2020. С. 150–154.

5. Hsua Y.-C., Jhanb J.-P., Rau J.-Y. Facade detection in oblique aerial image using object based image anaylysis. Thailand, Pattaya: ACRS, 2012.

6. Trevoho I., Heger W., Lobmann Ch., Lisnyk O. Aerial data application for construction of large-scaleplans. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*. 2018. Вип. 1 (35). С. 158–163.

Стаття надійшла 30.06.2021