

DOI: 10.6084/m9.figshare.9783197

УДК 517.7

**Катушков Володимир Олексійович**

Доктор технічних наук, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії, [orcid.org/0000-0002-3264-413X](https://orcid.org/0000-0002-3264-413X)  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Сосса Богдан Ростиславович**

Старший геодезист, [orcid.org/0000-0003-4484-4865](https://orcid.org/0000-0003-4484-4865)

ТОВ «Проект-Інвестбуд», Київ

**Шульц Роман Володимирович**

Доктор технічних наук, декан факультету геоінформаційних систем та управління територіями, [orcid.org/0000-0003-2581-517X](https://orcid.org/0000-0003-2581-517X)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## СПРОЩЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОСНОВИ ПРИ ВИКОНАВЧИХ ЗНІМАННЯХ ПAM'ЯТОК ІСТОРИЧНОЇ СПАДЩИНИ

***Анотація.** Технологія сучасного геодезичного обґрунтування на архітектурно-історичних пам'ятках залежить від парку наявних геодезичних приладів, які має підприємство. Розглянуто використання сучасного електронного тахеометра з режимом безвідбивного вимірювання відстані для координування характерних точок православного собору зі спрощеною технологією польових робіт – без закріплення точок станцій стояння на поверхні землі. Характерними точками собору взято кути цокольних плит та підосви надкупольних яблук, які добре розпізнаються з різних боків.*

***Ключові слова:** станції стояння; характерні точки; кутові точки цокольних плит; надкупольні яблука; фронтальні та горизонтальні плани*

### Вступ

Геодезичне обґрунтування та виконавчі і фасадні знімання пам'яток історичної спадщини виконуються різними методами, які залежать від наявних на підприємстві приладів [6 – 8]. З наведених джерел видно, що на сьогодні найпоширенішим способом проведення таких робіт є наземне лазерне сканування. Проте, за відсутності необхідності отримання великого масиву надлишкової інформації про об'єкт, доцільніше використовувати традиційне обладнання, що дасть змогу зменшити ресурсоємність проекту.

Існує традиційний метод з використанням тахеометрів, або теодолітів з розбивкою навколо історичної пам'ятки замкнутого теодолітного полігону. Точки теодолітного полігону закріплюють на місцевості різними методами, які залежать від поверхні підстилення: дюбелі, маркування фарбою, контури поверхні, кілочки інше. З точок полігону виконуються спостереження на характерні точки споруди для їх координування.

Коли історичною пам'яткою є християнський православний собор, для характерних точок підходять надкупольні яблука, які добре дешифруються та спостерігаються з різних боків. Але тут виникає проблема – що у цьому яблуку брати за точку, на яку проводити спостереження. Яблука здебільшого мають великі розміри та кулеподібну

форму з різними розмірами (радіус 12–20 см). Теоретично можна брати за основу умовний центр яблука, на який зробити наведення практично неможливо, оскільки він невидимий. І хоча в сучасних приладах є можливість вимірювання точок зі зміщенням, у даному випадку виникають проблеми коректності планових і висотних координат отриманої точки через те, що вимірювання виконуються на великих відстанях і при значних величинах вертикальних кутів.

При використанні лазерного (лідарного) сканера за точку опори надкупольного яблука так само беруть умовну точку всередині яблука. В цьому випадку центр сфери апроксимується досить точно, хоча і з деякими застереженнями. По-перше, враховуючи вік описуваних конструкцій, їх форма далека від ідеальної сфери. По-друге, як уже зазначалося, вимірювання проводяться на значних відстанях, що в деяких випадках може спричинити проблеми визначення правильного геометричного центра фігури [3; 5].

При використанні електронного тахеометра з відбивним від приймаючої поверхні променем, можна використовувати іншу технологію координування характерних точок.

### Виклад основного матеріалу

У процесі виконавчих робіт на Успенському соборі Києво-Печерської Лаври випробувана система

визначення характерних точок із застосуванням електронного тахеометра Set 250RX та визначенням просторових координат в полі та без закріплення точок стояння на землі. За характерні точки взято умовні середини підшови надкупольних яблук та кутові точки цокольних плит. Підшови або плити, на яку опирається надкупольне яблуко і хрест, бувають різних конструкцій. Так, на Успенському соборі шість підшов мають круглу форму з різними радіусами, а одна плита на башті під номером 2001, яка не була підірвана у 1941 році, має квадратну форму.

Під час спостереження спочатку аналітичним способом обчислення недоступної лінії (обернена геодезична задача в умовній системі координат) визначався розмір підшови, потім у виміряну відстань вводилася поправка за асиметрію, яка впливає на координати умовного центра підшови. Далі у статті вираз підшови надкупольного яблука скорочена до надкупольного яблука.

Координати першої станції стояння тахеометра ST1 задані в умовній системі координат, яка прив'язана до магнітного азимуту. Магнітний азимут осі X визначений за допомогою 10' бусолі, т. т. умовна система координат зорієнтована за магнітною стрілкою бусолі.

Побачити усі надкупольні яблука з різних сторін території Лаври можна взимку, коли листя не затуляє зображення, або з лівого берега Дніпра, чи з інших віддалених місць, з яких точність координування буде значно гіршою.

З першої точки стояння ST1, яка розташована на відстані близько 130 м від собору, спостерігалися усі сім надкупольних яблук Успенського собору, позначених номерами 2001, 185, 184, 186, 181, 182, 183 (для чого проведено попереднє ретельне рекогностування). Але цоколь собору з цієї станції не спостерігався, бо був закритий іншими будівлями (рис. 1). Крім точок собору, було проведено спостереження на сусідні надкупольні яблука Трапезної церкви (ТЦ) та Дзвіниці (Д).



Рисунок 1 – Надкупольні яблука зі станції ST1: Трапезної церкви – 7, Дзвіниці – 1

Координати  $i$ -ї точки стояння тахеометра визначаються рішенням зворотної лінійно-кутової засічки (Патенота) з програмного забезпечення тахеометра при спостереженні на надкупольні яблука, які можна спостерігати з цієї станції. Так, просторові координати наступної точки стояння ST2 (рис. 2) визначені через спостереження п'яти точок: 182, 181, 186, 185, 2001. Зі станції ST2 визначені координати трьох нижніх: північно-західного (21), південно-західного (11), південно-східного (43) кутів собору, розташованих над цокольними плитами.



Рисунок 2 – Надкупольні яблука зі станції ST2: Успенського собору – 5; кути цоколя – 3

Третя точка стояння ST3 визначена через спостереження семи точок: 184, 186, 183, 182, 181, 21, 11 (рис. 3). Зі ST3 визначені координати північно-східного кута – 31. Стіни між точками 11 – 43, 11 – 21, 21 – 31 прямі. Стіна між точками 31 – 43 є східною (апсідною). Має ламану форму з виступаючими частинами.

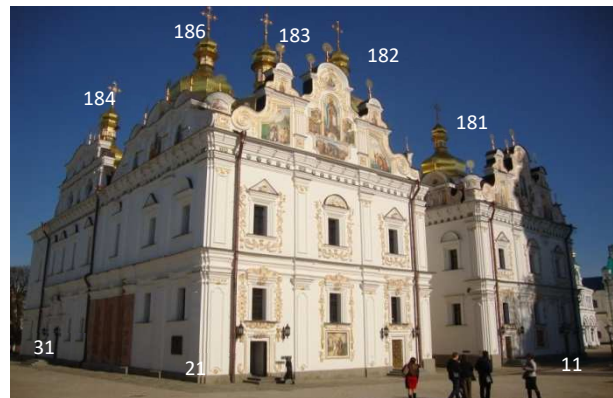


Рисунок 3 – Надкупольні яблука зі станції ST3: Успенського собору – 5; кути цоколя – 3

З другої та третьої станцій при координуванні точок цоколя зроблено спостереження на відбивну марку з комплекту тахеометра. Точки стояння на землі не закріплювалися. Двосекундна точність вимірювання кутів і  $\pm(3+2 \times 10^{-6}D)$  мм точність визначення віддалей в безвідбивному режимі та  $\pm(2+2 \times 10^{-6}D)$  при вимірюванні на марку, дають змогу

отримати просторові координати з середньою квадратичною похибкою 5–7 мм, що можна розрахувати за методикою, описаною в [4].

Наданій кількості характерних точок вистачає для оцінювання якості будівельних робіт. У табл. 1 надані просторові координати характерних точок Успенського собору  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , визначених за допомогою електронного тахеометра. Координата  $Z$  є висотою характерної точки відносно цокольного нуля. Бачимо, що в натурі висота рівня цоколю однакова на чотирьох протилежних кутах собору.

Виконавче знімання допомагає провести порівняння просторового розташування характерних точок собору з проектними даними.

Таблиця 1 – Просторові координати характерних точок собору та станцій стояння

Номер точки	Просторові координати, м		
	$X$	$Y$	$Z$
2001	342.854	512.224	233.688
181	334.259	489.469	232.576
182	349.812	484.597	238.677
183	365.284	477.662	232.478
184	374.434	499.998	234.526
185	358.512	508.018	236.905
186	355.076	498.254	248.092
11	324.150	480.099	200.250
21	365.773	463.728	200.255
31	381.537	500.775	200.231
41	338.988	518.125	200.246
ST1	500.000	500.000	200.000
ST2	283.261	476.031	200.627
ST3	383.064	450.715	200.645

Для аналізу з отриманих просторових координат характерних точок собору підраховані відстані в горизонтальній площині за формулою:

$$S_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}, \quad (1)$$

де  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $X_j$ ,  $Y_j$  – координати двох точок  $I$ ,  $J$ ,  $S_{ij}$  – відстань між ними.

Ті самі відстані було знято з проекту відновлення Успенського собору, що був розроблений науково-дослідним підприємством «УКРПРОЕКТРЕСТАВРАЦІЯ» до 2000 року і зараз зберігається в архіві Києво-Печерської Лаври. Співробітники архіву дали можливість знайти і ознайомитись з проектною документацією, за що їм велика вдячність.

На проектних кресленнях координати  $X$ ,  $Y$  були відсутні та знімалися з горизонтальних планів масштабу 1:50. З точністю до сантиметра на фронтальних (вертикальних) планах такого ж масштабу вказані тільки висоти  $Z$  відносно умовного нуля на цоколі. При роботі з кресленнями зустрічаються випадки, коли цей нуль показана на різних рівнях, що вносить плутанину і призводить до

додаткових помилок. Звідси випливає те, що недоцільно казати про точність висот із сантиметровою точністю, яка надана у спеціально розроблених нормативах [1]. Точність висот у 2–3 дециметра ближча до дійсної.

Проектні креслення надано в двох типах: фронтальні (вертикальні) та горизонтальні (планові). З планових креслень було визначено проектні відстані між проекціями осей куполів, з якими співпадають координати надкупольних яблук, та сторонами фундаменту. З фронтальних креслень було визначено проектні висоти верха цокольних плит та надкупольних яблук.

На рис. 4 наведена горизонтальна схема розташування характерних точок Успенського собору, між якими обчислені відстані при виконавчому зніманні. Під номерами 11, 21, 31, 41 показані кутові точки на цоколі собору. Номери характерних точок на усіх наведених рисунках співпадають.

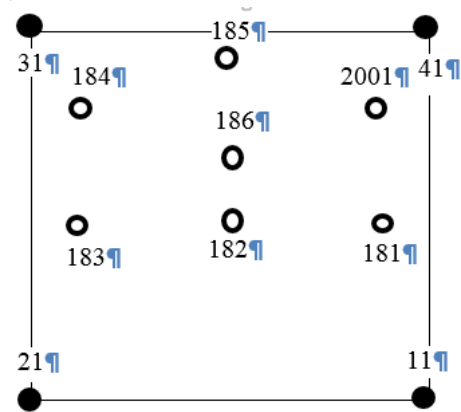


Рисунок 4 – Розташування характерних точок собору:

● – точка цоколя; ○ – точка купольного яблука

На рис. 4 показано чотири кутові цокольні точки та сім точок надкупольних яблук. Оцінка схожості ідентичних розмірів знятих з проекту реставраторів та отриманих з виконавчого знімання наведена у табл. 2. В деяких випадках розходження малі, а інколи досягають значних, з геодезичної та фотограмметричної точок зору, величин.

Можна побачити, що планові розміри співпадають з проектними краще ніж висотні (див. стовпчик СКП у табл. 2). Цьому є пояснення. Під час вибуху фундамент був порушений менше, ніж верхня частина собору, яка перетворилася у купи цеглин, що можна побачити на післявоєнних знімках. Із семи куполів та опорних башт собору втрималася тільки одна, з надкупольним яблуком під номером 2001. Висота цього надкупольного яблука включалася в основу при дослідженні архівних знімків для визначення розмірів вже неіснуючого собору. У той час дослідження виконувалися фотограмметричним способом під керівництвом професора В.М. Сердюкова.

Таблиця 2 – Порівняльні розміри Успенського собору Києво-Печерської лаври

Планові, м				Висотні, м			
Відстані	Проект	Натура	Різниця	Точки	Проект	Натура	Різниця
2001 – 11	37.35	37.17	0.18	2001	32.65	33.44	0.79
11 – 21	44.1	44.73	0.63	181	31.33	32.33	1.00
21 – 184	37.35	37.29	0.06	182	37.09	38.43	1.34
31 – 41	44.1	45.81	0.71	183	31.86	32.23	0.37
2001 – 181	24.5	24.35	0.15	184	32.93	34.28	1.35
181 – 183	33.10	33.20	0.10	185	36.03	36.66	0.63
183 – 184	24.5	24.14	0.36	186	47.32	47.84	0.52
184 – 2001	33.1	33.86	0.76	цоколь	0~0.3	0	±0.3
		СКП <sub>план</sub> =	±0.18			СКП <sub>висота</sub> =	±0.39

Один з авторів статті був відповідальним виконавцем науково-дослідної роботи і разом з кібернетиком Б.П. Довгим запустив програму для обчислення архівних знімків. Отримані тоді висоти [2] так само трохи не збігаються з проектними та натурними, які надані у табл. 2. Ці різниці мають величини, які на загальну картину собору не впливають.

### Висновки

Практично, відрізнити нинішній собор від підірваного в 1941 р., дивлячись на архівні знімки та

теперішню споруду, неможливо. З цього можна зробити висновок, що відроджений у 2000 р. собор є копією попереднього і продовжує історію собору, який був побудований 10 років тому.

Розглянутий метод геодезичного забезпечення без закріплення точок стояння дає змогу значно скоротити час проведення польових робіт, а також дає можливість при скороченому часі польових робіт зібрати потрібну кількість характерних точок історичної споруди, на стіни якої треба викреслити високоточні фронтальні плани.

### Список літератури

1. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 312 с.
2. Опыт составления архитектурных чертежей по архивным снимкам / В.М. Сердюков, Г.А. Патыченко, В.А. Катушков // Геодезия и картография, № 9, 1985. – С. 38-41.
3. Визначення оптимального типу і розміру площинних марок, що застосовуються під час калібрування наземних лазерних сканерів / Б.Р. Сосса // Інженерна геодезія. – №65, 2018, – С. 227-238.
4. Співвідношення між очікуваною точністю наземного лазерного сканування та вимогами до точності виконання інженерно-геодезичних робіт / В.О. Катушков, Р.В. Шульц, Б.Р. Сосса // Містобудування та територіальне планування: науково-технічний збірник. – №44, 2012, – К.: КНУБА. – С. 238-248.
5. Investigations about the accuracy of target measurement for deformation monitoring / M. Alba, F. Roncoroni, M. Scaioni // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008. – Beijing, 2008. – С. 1053 – 1059.
6. Integration of Laser Scanning and Photogrammetry for Heritage Documentation / Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) 2006. – Stuttgart, 2006. – 98 p.
7. Surveying and Monitoring for Vulnerability Assessment of an Ancient Building [Електронний ресурс] / L. Fregonese, G. Barbierim L. Biolzi, M. Vocciarelli, L. Tafferelli. // SENSORS. – 2013. – No 8. – С. 9747 – 9773. – <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/8/9747>
8. Горизонтальная съемка застроенных территорий методом блочной тахеометрии / Ю.О. Карпинский, С.И. Гордышев // Инженерная геодезия. – Вып. 34. – 1991. – С. 59-61.

Стаття надійшла до редакції 21.01.2019

#### Катушков Владимир Алексеевич

Доктор технических наук, профессор кафедры геоинформатики и фотограмметрии, [orcid.org/0000-0002-3264-413X](https://orcid.org/0000-0002-3264-413X)  
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

#### Сосса Богдан Ростиславович

Старший геодезист, [orcid.org/0000-0003-4484-4865](https://orcid.org/0000-0003-4484-4865)

ООО «Проект-Инвестбуд», Киев

#### Шульц Роман Владимирович

Доктор технических наук, декан факультета геоинформационных систем и управления территориями, [orcid.org/0000-0003-2581-517X](https://orcid.org/0000-0003-2581-517X)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

## УПРОЩЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ В ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКЕ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ

**Аннотация.** Технология современного геодезического обеспечения архитектурно-исторических памятников зависит от имеющегося на предприятии парка геодезических приборов. Рассмотрено применение современного электронного тахеометра с отвесным лучом для координирования характерных точек православного собора с упрощенной технологией полевых работ – без закрепления точек стояния на земной поверхности. За характерные точки приняты точки надцокольных плит и подошвы надкупольных яблок, которые хорошо видны с разных сторон.

**Ключевые слова:** станции стояния; характерные точки; угловые точки цокольных плит; надкупольные яблоки; фронтальные и горизонтальные планы

### **Katushkov Volodymyr**

DSc, Professor of Department of Geoinformatics and Photogrammetry, [orcid.org/0000-0002-3264-413X](https://orcid.org/0000-0002-3264-413X)  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

### **Sossa Bogdan**

Senior Surveyor, [orcid.org/0000-0003-4484-4865](https://orcid.org/0000-0003-4484-4865)  
Proekt-Investbud Ltd., Kyiv

### **Schultz Roman**

DSc, Dean of Faculty of geoinformacionnih systems and control of territories, [orcid.org/0000-0003-2581-517X](https://orcid.org/0000-0003-2581-517X)  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

## SIMPLIFICATION OF THE GEODETIC BASIS IN HISTORICAL HERITAGE MONUMENTS AS-BUILT SURVEYING

**Abstract.** The technology of modern geodetic support networking of architectural and historical monuments depends on the geodetic equipment available at the enterprise. The using of a reflectorless total station to determinethe coordinates of characteristic points of an orthodox cathedral with simplified technology without station points fixing on the earth's surface is considered. The basement points and over-domed frame points are taken as definitive as they are visible well from all sides. The spatial coordinates are computing via consistent traverse and inverse solutions in the field. Those points are needed in further horizontal and frontal (facade) plans making.

**Keywords:** station, characteristic points, domedomes, basement cornerpoints, over-domed frames, frontal and horizontal plans

### References

1. Guidance on the application of photogrammetric methods of engineering blueprints. (1984). Moscow: Stroiizdat, 312.
2. Serdyukov, V.M., Patychenko, G.A., Katushkov, V.V. (1985). Experience in preparing architectural drawings on archival images. *Geodesy and cartography*, 9, 38-41.
3. Sossa, B. (2018). Determination of the optimal type and size of Planar marks that are used during the calibration of terrestrial laser scanners. *Engineering surveying*, 65, 227-238.
4. Katuskov, V., Schultz, R., Sossa, B. (2012). The relationship between the expected accuracy of terrestrial laser scanning and requirements to accuracy of performance engineering and surveying. *Urban planning and territorial planning: scientific and technical collection*, 44, 238-248.
5. Alba, M., Roncoroni, F., Scaioni, M., (2008). Investigations about the accuracy of target measurement for deformation monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B5, Beijing 2008, 1053–1059.
6. *Integration of Laser Scanning and Photogrammetry for Heritage Documentation*. (2006). Institut fur Photogrammetrie der Universitat Stuttgart, Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing). Stuttgart, 98.
7. Fregonese, L., Barbierim, G., Biolzi, L., Bocciarelli, M., Tafferelli, L. (2013). Surveying and Monitoring for Vulnerability Assessment of an Ancient Building [Electronic resource]. *SENSORS*, 8, 9747–9773. <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/8/9747>
8. Karpinski Y., Gordyshev S. (1991). T-block method of horizontal surveying of built-up areas. *Engineering Geodesy*, 34, 59-61.

### Посилання на публікацію

- APA Katushkov, Volodymyr, Sossa, Bogdan & Schultz, Roman. (2019). Simplification of the geodetic basis in historical heritage monuments as-built surveying. *Management of Development of Complex Systems*, 37, 73 – 77, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9783197](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783197).
- ДСТУ Катущиков В.О. Спрощення геодезичної основи при виконавчих зніманнях пам'яток історичної спадщини [Текст] / В.О. Катущиков, Б.П. Сосса, Р.В. Шульц // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 37. – С. 73 – 77, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9783197](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783197).