

УДК 72.1:528.837

## ПОБУДОВА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ КУЛЬТОВОЇ СПОРУДИ ЗА МАТЕРІАЛАМИ БЕЗПЛОТНОГО АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

**Л. В. Ліщенко**

здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня, група ГЗ-52м,  
навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою  
Науковий керівник – ст. викладач С. М. Трохимець

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

**У статті апробовано методику побудови 3D-моделі будівлі за матеріалами безпілотного аерофотознімання. Проаналізовано точність отриманої моделі. Відвекторизовано автоматично створену модель правильними геометричними фігурами. Як результат, створено точну 3D-модель для церкви Святої Покрови, що знаходиться в селі Бронники Рівненського району Рівненської області.**

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; аерофотознімання; фотозображення, 3D-модель, векторизація, хмара точок.

**In this article, a technique was tested to create a 3D building model using materials from unmanned aerial photography. Accuracy of the model was analyzed. The model was edited by vectorizing with the correct geometric figures. As a result, an accurate 3D model was created for the Church of the Holy Intercession, which is located in the village of Bronnyky, Rivne district, Rivne region.**

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; aerial photography; image, 3D model, vectorization, point cloud.

Створення тривимірних моделей сьогодні є широко розповсюдженим. Методи 3D-реконструкції об'єктів знаходять широке застосування в аерокосмічній галузі, робототехніці, ландшафтному дизайні, кінематографії, комп'ютерних іграх, рекламі і маркетингу, дизайні інтер'єрів, гірничому видобутку, будівництві, архітектурі та в багатьох інших сферах.

Одним із перспективних напрямів є використання 3D-моделювання для реконструкції споруд та відтворення втрачених архітектурних об'єктів [1].

**Особливо актуальною** ця проблема постала в сьогоденнішніх реаліях. Станом на 25 січня 2023 року 1271 об'єкт культурної інфраструктури України постраждав через агресію РФ, майже третина – 473 об'єкти, повністю зруйнована (за даними Міністерства культури та інформаційної політики).

Наявність достовірної тривимірної моделі об'єкта дозволяє досягнути максимальної автентичності реконструкції пошкоджених або утрачених деталей або ж відновлення об'єктів в цілому.

**Метою роботи** є побудова тривимірної моделі архітектурної пам'ятки за матеріалами безпілотного аерофотознімання на прикладі церкви Святої Покрови, розташованої в селі Бронники Рівненського району Рівненської області.

**Церква Святої Покрови** є одним з небагатьох прикладів архітектурної спадщини всесвітньо відомого архітектора Сергія Тимошенка на території Рівненщини і тому становить великий інтерес з точки зору збереження культурного надбання.

Технологія створення тривимірної моделі передбачала виконання аерознімальних та геодезичних робіт, опрацювання знімків та побудову і редагування моделі.

На етапі аерознімальних робіт було здійснене знімання квадрокоптером PHANTOM 4 Professional, яке попередньо було запроєктоване у програмі DroneDeploy.

З метою отримання геометрично коректної моделі паралельно з аерозніманням були виконані роботи з геодезичної прив'язки знімків. В результаті опрацювання даних геодезичного знімання в програмному комплексі Credo були отримані координати характерних точок будівлі, частина з яких була використана для прив'язки аерознімків, а частина – для контролю точності побудованої моделі.

Аерознімальні та польові геодезичні роботи були виконані під час навчальної практики з фотограмметрії та супутникової геодезії влітку 2021 року за безпосередньої участі автора статті.

Аерознімання виконувалось двічі: в стандартному надирному режимі з кутом нахилу камери  $90^\circ$  та в перехресному 3D-режимі з кутом нахилу камери  $65^\circ$ . Висота знімання становила 50 м, поздовжнє та поперечне перекриття – 90%.

В результаті виконання аерознімання було отримано 557 знімків церкви та прилеглої території високої роздільної здатності у форматі JPG.

На другому етапі виконувалось опрацювання знімків в програмі Agisoft PhotoScan, яке включало наступні процеси:

- завантаження знімків;
- побудова розрідженої хмари точок;
- оптимізація положення камер за координатами опорних точок;
- побудова щільної хмари точок;
- побудова первинної полігональної моделі об'єкта [3].

Оскільки одним із завдань роботи було отримання геометрично коректної моделі з дотриманням достовірних розмірів та пропорції елементів будівлі, нами було виконано аналіз точності створеної моделі. Для оцінки точності побудованої моделі порівнюються координати контрольних точок, виміряні електронним тахеометром та визначені у програмі PhotoScan за створеною моделлю.

Оцінка точності виконана за 18 контрольними точками. Визначення координат в натурі виконувалося геодезичним способом за допомогою тахеометра Leica 405 Ultra.

Точки з моделі отримані у програмному продукті Agisoft PhotoScan та експортовані у формат dxf. Такий підхід дозволяє працювати з контрольними точками та переглядати їх тривимірні координати у будь-якому програмному продукті, що підтримує формат dxf [2].

Для оцінки точності розраховувалися відхилення еталонних координат контрольних точок (виміряні в натурі) від координат одержаних в камеральних умовах (за моделлю).

Результати відхилень за осями наведено у таблиці. Розраховані середні квадратичні похибки за осями  $m_x$ ,  $m_y$  та  $m_z$ , які становлять відповідно 0.016, 0.018 та 0.017 м. Середня квадратична похибка просторового положення контрольних точок, розрахована за відхиленнями еталонних та визначених координат склала 0.029 м.

Внаслідок автоматичної реконструкції з хмари точок первинна модель має певні недоліки й дефекти (рис. 1). Щоб їх виправити, потрібно відредагувати у додатковому ПЗ, яке спеціалізується на 3D-моделюванні (програма Blender). Відтворення моделі виконувалось шляхом векторизації геометрично правильних граней. Вигляд відредагованої моделі в різних ракурсах представлений на рис. 2.

На кінцевому етапі відредаговану модель назад експортували в PhotoScan для накладання текстур з метою надання моделі реалістичного вигляду. Текстурована 3D-модель церкви Святої Покрови зображена на рис. 3.

В ході виконання досліджень було:

- запроєктовано та виконано безпілотне аерофотознімання;
- здійснено обробку знімків у Agisoft PhotoScan;
- виконано аналіз точності моделі;
- відредаговано модель в програмі Blender.

Таблиця

Відхилення вимірних координат від визначених за моделлю

№	Вимірні координати, м			Координати за моделлю, м			Відхилення, м		
	X	Y	Z	X	Y	Z	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
A2	5009,04	5018,60	102,15	5009,03	5018,58	102,16	0,01	0,02	-0,01
A4	4991,98	5031,54	101,87	4991,97	5031,53	101,88	0,01	0,01	-0,01
A10	5017,83	5019,31	107,93	5017,85	5019,31	107,95	-0,02	0	-0,02
B1	5013,75	5014,82	104,70	5013,74	5014,82	104,70	0,01	0	0
B2	5010,79	5017,83	105,19	5010,78	5017,82	105,20	0,01	0,01	-0,01
B5	5000,41	5018,51	103,79	5000,41	5018,51	103,79	0	0	0
B8	4995,10	5024,60	104,22	4995,10	5024,61	104,22	0	-0,01	0
B11	4992,13	5031,32	105,51	4992,12	5031,34	105,53	0,01	-0,02	-0,02
B13	4998,47	5033,37	104,20	4998,47	5033,38	104,22	0	-0,01	-0,02
B15	5006,08	5032,33	103,68	5006,09	5032,32	103,69	-0,01	0,01	-0,01
B17	5009,98	5025,26	105,13	5009,98	5025,24	105,16	0	0,02	-0,03
C4	5000,65	5020,96	108,09	5000,64	5020,98	108,11	0,01	-0,02	-0,02
C12	5015,96	5020,29	108,33	5015,98	5020,27	108,36	-0,02	0,02	-0,03
D2	5009,45	5019,97	111,09	5009,47	5019,95	111,07	-0,02	0,02	0,02
D7	4999,66	5024,36	113,60	4999,64	5024,33	113,62	0,02	0,03	-0,02
D13	4994,94	5031,46	112,23	4994,93	5031,48	112,24	0,01	-0,02	-0,01
D19	5004,11	5028,69	113,61	5004,14	5028,72	113,63	-0,03	-0,03	-0,02
D23	5011,20	5023,11	112,14	5011,23	5023,13	112,15	-0,03	-0,02	-0,01

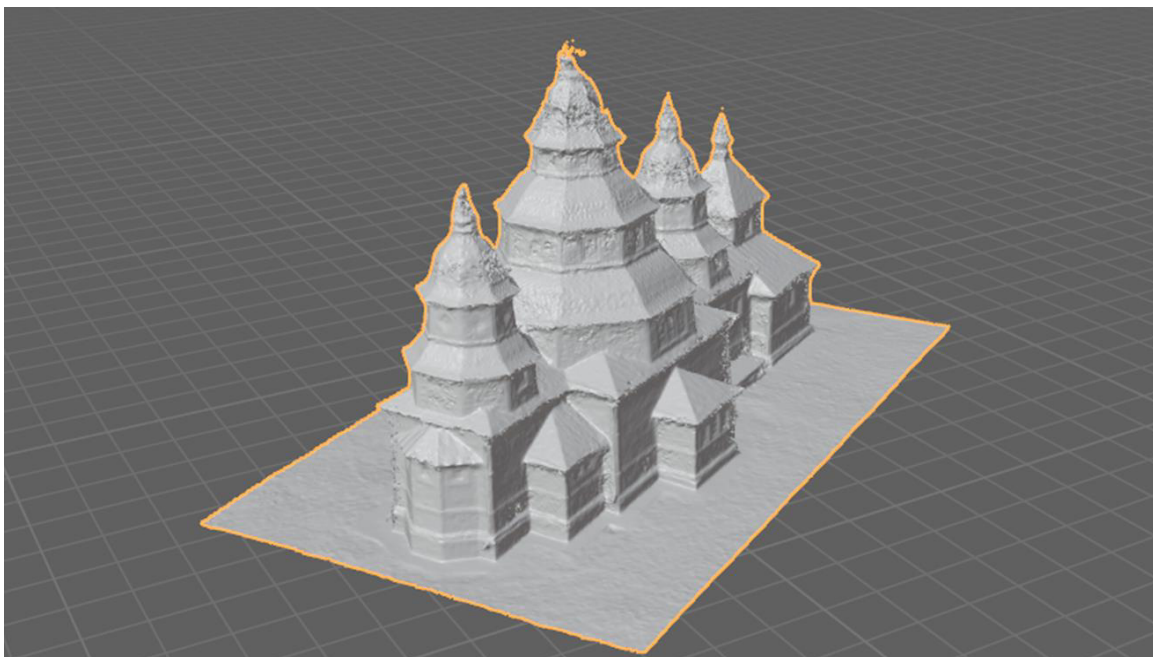


Рис. 1. Результати автоматичної реконструкції моделі

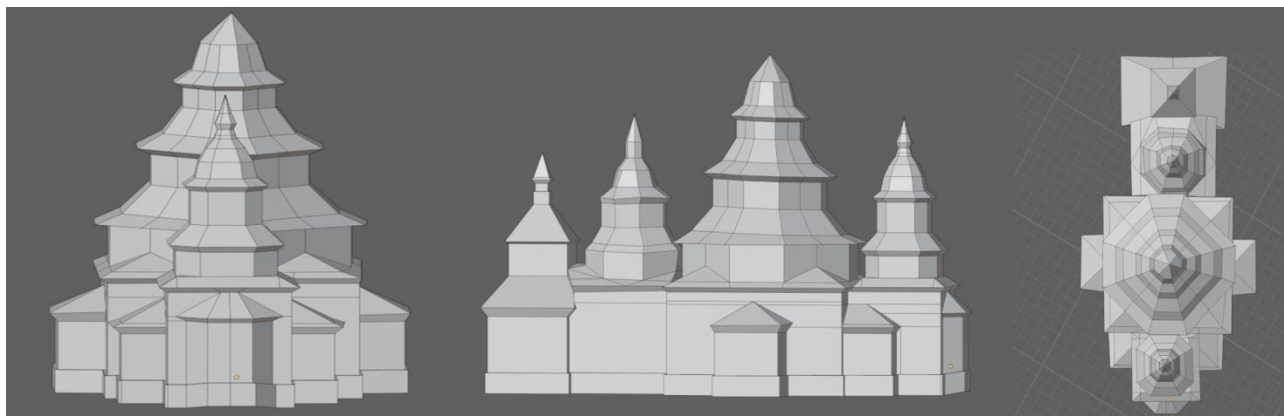


Рис. 2. Результати векторизації геометрично правильних граней



Рис. 3. Текстурована 3D-модель церкви Святої Покрови в селі Бронники Рівненського району Рівненської області

**Остаточним результатом** виконаної роботи стала відредагована текстурована тривимірна модель церкви з реалістичною візуалізацією та точними геометричними параметрами. Модель кульової споруди, тепер буде зберігатись в цифровому форматі і може бути використана як для перегляду, так і для вирішення низки інших важливих завдань. Модель у подальшому може бути застосована як для детального дослідження дефектів існуючих конструкцій і елементів будівлі, так і як основа для розроблення креслень для проєкту реконструкції або реставрації залежно від мети дослідження.

1. Орещенко А. В. Стан тривимірного картографування в Україні та інших країнах світу. *Часопис картографії*. 2011. Вип. 2. С. 10–31. 2. Янчук О. Є., Трохимець С. М., Дмитрів О. П. Дослідження точності тривимірних моделей створених за фотозображеннями. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2021. Вип. 1(93). С. 248–258. 3. Янчук Р. М., Трохимець С. М. Створення картографічної основи для розробки генеральних планів населених пунктів за матеріалами аерознімання з непрофесійних БПЛА. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2017. Вип. 1(17). С. 32–39.