

АПРІОРНА ТОЧНІСТЬ СКЛАДАННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ПЛАНІВ МЕТОДОМ СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ТА НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ЗНІМАННЯ

© Глотов В.М., Смолій К.Б., 2009

Представлен анализ априорной точности определения пространственных координат планов фасадов архитектурных сооружений, составляемых с помощью лазерного сканирования и цифровой съемки, которые подлежат реставрации. Акцентировано внимание на влияние исследуемых ошибок лазерного сканера и цифровой съемочной системы.

The analysis of a priori accuracy of determine spatial co-ordinates of facade plans of architectural constructions that made by a digital survey and laser scanning and which are subject restoration is presented. The attention is focused on influence of the investigated errors of laser scanning and digital camera.

Постановка проблеми. В останні декілька років в Україні інтенсивно вживаються реставраційні заходи щодо пам'яток архітектури. Для виконання цих робіт необхідні високоточні фронтальні плани споруд.

Одним із методів складання фронтальних планів є сумісне використання лазерного сканування (ЛС) та наземного цифрового знімання (НЦЗ). Цей метод все більше використовується в реставраційно-обмірювальних роботах, ось чому так важливо дослідити, з якою точністю можна отримати координати точок фронтальних планів.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Для вирішення архітектурно-реставраційних робіт реставраторам необхідно мати точний фронтальний план споруди. Складання фронтальних планів методом сумісного використання ЛС та НЦЗ збільшує продуктивність праці до 10 разів [10]. Враховуючи цю перевагу, зменшується вартість виконання робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Автори роботи [9] описали методику створення тривимірної моделі методом наземного ЛС. Після рекогностування об'єкта, польові роботи виконували за допомогою наземного лазерного сканера Riegl LMS Z-420i, який оснащений цифровою камерою високої роздільної здатності Nikon D100. Перевагою цього сканера є те, що один оператор може керувати і сканером, і камерою за допомогою програмного забезпечення. Технологія виконання цього виду робіт об'єднувала тахеометричне знімання пунктів стояння сканера і марок, які надалі були використані для об'єднання “хмар точок” в одну сукупність. Під час камеральної обробки “сирих” даних для полегшення дешифрування об'єктів використовували дані, отримані з цифрової камери, що дають можливість розфарбувати “скани”. Розфарбовування виконували методом накладання каналів істинного кольору RGB на кожену точку “скана”. Варто зазначити, що після виконання камеральних робіт метод накладання каналів істинного кольору значно спростив оброблення, але у декілька разів збільшив обсяг інформації. У зв'язку з цим камеральний відділ потребував потужніших комп'ютерів.

У роботі [11] описано технологія побудови 3D моделі методом сумісного використання НЦЗ в сукупності з ЛС. Об'єктом досліджень була скульптура римського військового начальника. Поверхня об'єкта має складну геометричну форму, що істотно ускладнило її побудову. Всього було отримано 22 знімки і 10 “хмар точок” лазерного знімання з десяти точок стояння. У числі точок

перебували 29 зв'язуючих маркованих пункти на поверхні скульптури, координати яких були відомі з геодезичних розрахунків. Взаємне орієнтування "хмар точок" лазерного сканування виконували шляхом перетворення координат під час побудови фотограмметричної сітки, утвореної групами зв'язуючих пунктів в характерних місцях поверхні скульптури. Моделювання поверхні виконане за допомогою подальшого погодження границь окремих апроксимаційних поверхонь, внаслідок чого отримана тривимірна модель пам'ятника. Варто зазначити, що описаний спосіб моделювання поверхні значно спрощує етап камеральної обробки.

У працях [7, 12, 13] акцентується увага на тому, що у разі виконання наземного ЛС необхідно виконувати ще й додаткові фотограмметричні роботи. Це зумовлено тим, що реставраторам необхідно знати справжній колір об'єктів досліджень, а це не завжди можливо, адже кольорове відображення сканера не є достатньо інформативним. Тому необхідно виконувати НЦЗ. Також цифрове знімання виконують для подальшого простішого дешифрування контурів та декоративних елементів споруд.

Невирішені частини загальної проблеми. Дослідити вплив похибок на точність визначення координат точок під час складання фронтальних планів методом ЛС та НЦЗ на підставі розрахунків апріорної оцінки точності.

Постановка завдання. Завдання полягає в тому, щоб визначити апріорну оцінку точності та зробити аналіз похибок, які впливають на точність методу, який досліджується.

Виклад основного матеріалу. Подамо стислий аналіз похибок, що впливають на точність визначення координат під час створення фронтальних планів.

Масштаб фронтального плану задається на основі проектування реставраційних робіт споруди і визначається необхідністю запланованих архітектурних задач на заданій будівлі.

Істотно впливають на точність фронтального плану похибки отримання фотограмметричних координат точок об'єкта, що обумовлюються похибками виміру базису знімання, елементами орієнтування камери та точністю вимірів знімків. Згідно з теорією похибок наземного фотограмметричного знімання відомо, що найменш точно за наземними цифровими знімками визначається ордината Y_ϕ [1]. Тому розглянемо точність складання фронтальних планів на прикладі визначення точності ординати для поодинокі стереомоделі.

Точність складання фронтального плану залежить від ще одного чинника, а саме: від характеру зміни поверхні, що зображається щодо фронтальної площини проекції.

Отже, точність координат фронтального плану зумовлюють такі основні джерела похибок:

$m_{лз}$ – середня квадратична похибка (СКП) лазерного сканера;

m_ϕ – СКП за дисторсію об'єктива знімальної камери;

$m_{пзз}$ – СКП положення ПЗЗ-матриці щодо фокальної площини;

m_Y – СКП визначення ординати;

m_h – СКП за характер зміни поверхні.

Допускається, що всі ці похибки мають випадковий характер, тому сумарна формула для визначення сумарної СКП для поодинокі стереомоделі матиме такий вигляд:

$$m_\Sigma = \sqrt{m_{лз}^2 + m_\phi^2 + m_{пзз}^2 + m_Y^2 + m_h^2} . \quad (1)$$

Проаналізуємо всі вищезгадані похибки.

Похибка вимірів отриманих з результатів ЛС визначається формулою

$$m_{лз} = \sqrt{m_{пв}^2 + m_{мн}^2} \quad (2)$$

де $m_{пв}$ – похибка поодинокі виміру, $m_{мн}$ – похибка моделювання поверхні.

У нашому випадку експериментальні роботи будуть виконуватися наземним лазерним сканером "Scan Station 2" швейцарської фірми Leica. Згідно з технічними характеристиками сканера $m_{пв} = 4$ мм і $m_{мн} = 2$ мм [8]. Отже, за формулою (2) отримаємо: $m_{лз} = 4,5$ мм.

Похибка за дисторсію m_d не повинна перевищувати 2 мкм [4].

Відхилення ПЗЗ-матриці щодо фокальної площини – $m_{пзз} = 20''$, тобто для нашого випадку в лінійному значенні $m_{пзз} = 2$ мкм [2].

СКП ординати m_y обчислюється за формулою [5]:

$$m_y = \left\{ m_{y_s}^2 + \left(\frac{x}{f} \right)^2 \cdot m_{x_s}^2 + X^2 \cdot \left[\left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right)^2 \cdot m_\alpha^2 + \left(\frac{x \cdot z}{f^2} \right)^2 \cdot m_\omega^2 + \left(\frac{z}{f} \right)^2 \cdot m_\chi^2 - \left(\frac{1}{f} \right)^2 \cdot m_{x_0}^2 + \left(\frac{x}{f^2} \right)^2 \cdot m_f^2 + \left(\frac{1}{f^2} \right)^2 \cdot m_x^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

За розробленим проектом НЦЗ буде виконуватися цифровою камерою Canon EOS-350D. Відповідно до технічних характеристик знімальної камери: $x = 11$ мм, $z = 7$ мм [3]. Середній горизонтальний розмір об'єкта, що досліджується – $X = 25$ м. Точність виміру базису знімання $m_{x_s} = m_{y_s} = 1$ мм. Точність виміру на ЦФС “Дельта-2” координат точок на зображенні: $m_x = 5$ мкм [8]. Відповідно елементи внутрішнього орієнтування повинні визначитися із такою самою точністю, тобто $m_{x_0} = m_f = 5$ мкм. СКП кутових елементів зовнішнього орієнтування дорівнюють $m_\alpha = 3''.5$, $m_\omega = 3''.6$, $m_\chi = 2''.2$ [14].

Похибка m_y обчислена для різних фокусних віддалей f . Це зумовлено тим, що для знімання фасаду споруди застосовують короткофокусний об'єктив, а для складних елементів знімання виконують знімання при фокусній віддалі 35–53 мм. Результати обрахунків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення СКП координати Y

№	f , мм	m_y , мм
1	53	1,2
2	35	1,6
3	18	4,4

Похибка за характер зміни поверхні, що зображається щодо фронтальної площини проєкції, обраховується за формулою [6]:

$$\delta h = \frac{r \Delta Y}{Y - \Delta Y} \quad (4)$$

Об'єктом експериментальних досліджень є фасад Палацу Потоцьких (м. Львів). У зв'язку з тим, що поверхня об'єкта розташована на різних відстанях до фронтальної площини проєкції, похибка за характер зміни поверхні розраховується для максимальної й мінімальної віддалі ΔY . Отже, для $r = 13$ мм, $Y = 30$ м, $\Delta Y_{\min} = 4$ м, $\Delta Y = 9$ м похибка $m_{h_{\min}} = 2$ мм, $m_{h_{\max}} = 5.57$ мм.

Розрахуємо тепер сумарну СКП m_Σ . Результати для відповідних фокусних віддалей наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Сумарна похибка визначення координат точок об'єкта

№	f , мм	$m_{\Sigma \min}$, мм	$m_{\Sigma \max}$, мм
1	53	7,7	11,3
2	35	8,1	11,7
3	18	10,9	14,5

Висновки. 1. Похибки за дисторсію знімальних неметричних камер вже достатньо досліджені і поправки вводяться по-піксельно, що і обумовлює мінімальне її значення.

2. Дослідження нахилів ПЗЗ-матриць стосовно фокальної площини також дало підтвердження про мінімальну похибку цих величин, якими можна нехтувати.
3. Як очевидно із розрахунків за формулою (3) на точність складання фронтальних планів впливають похибки визначення просторових координат X_ϕ , Y_ϕ , Z_ϕ точок об'єкта. Зменшити ці величини можна за рахунок збільшення фокусної віддалі знімальної камери.
4. Максимальні похибки під час складання фронтальних планів виникають при відповідних ΔY , тому необхідно складати плани так, щоб ця величина була мінімальною. Це можливо реалізувати під час знімання фрагментів фасаду.
5. У подальшому планується виконати експериментальні роботи та зробити порівняльний аналіз априорної та апостеріорної точності.

1. Бруевич П.Н., Кириленко В.С., Лысков Г.А. Наземная фототопографическая съёмка при инженерных изысканиях. – М.: Изд-во “Недра”. 1979. 2. Глотов В., Пацетник О. Аналіз впливу похибок елементів внутрішнього орієнтування при коротко базисному стереофотограмметричному зніманні // Зб. наук. пр. Західного геодезичн. товариства УТІК “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів. – 2008. – Вип. II (16). – С. 117–122. 3. Глотов В., Смолій К. Дослідження технології складання фронтальних планів архітектурних споруд наземним цифровим зніманням і лазерним скануванням // Укр. Міжвідомч. наук.-техн. збірн. “Геодезія, картографія й аерофотознімання”. – Львів. – 2008. – Вип. 70. – С. 46–50. 4. Глотов В.М., Чижевський В.В. Вдосконалений спосіб визначення дисторсії цифрових знімальних систем // Наук.-техн. журн. “Вісник геодезії та картографії”. – К. – 2005. – № 2. – С. 42–45. 5. Лобанов А.Н. Аналитическая фотограмметрия. – М.: Изд-во “Недра”, 1972. 6. Метелкин А.И. Фотограмметрия в строительстве и архитектуре. – М.: Изд-во “Стройиздат”, 1981. 7. Рой Д.Н. Опыт применения метода наземного лазерного сканирования для работ в области историко-культурного наследия. Геопрофи 2’2007. – С. 20–23. 8. Руководство оператора. Digitals для Windows версия 5.0. Ч. 2. – Винница, 2003. 9. Ковров А.А. Создание трехмерной модели электроподстанции методом наземного лазерного сканирования // Геопрофи 3’2006. – С. 51–53. 10. Смолій К.Б. Аналіз сучасних технологій архітектурних обмірів цифровим стереофотограмметричним методом та наземним лазерним скануванням // Укр. Міжвідомч. наук.-техн. збірн. “Геодезія, картографія та аерофотознімання”. – № 71, 2009. – С. 258–262. 11. Haring A., Briese Ch., Pfeifer N. Modellierung terrestrischer Laserscanner-Daten am Beispiel der Marc-Anton-Plastik. VGI: Östter. Z. Vermess. Geoinf. 2003. 91, № 4. – С. 288–296. 12. M. Schulze-Horsel 3D landmarks – generation, characteristics and applications International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 3D-ARCH 2007. 13. Bohm, J., 2004. Multi-image fusion for occlusion-free facadetexturing. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXV-5. – P. 867–872. 14. <http://www.specpribor-perm.ru/9348694217>.