УДК 528.72/73

В.М. Глотов, К.Б. Смолій
Національний університет "Львівська політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ПЛАНІВ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД НАЗЕМНИМ ЦИФРОВИМ ЗНІМАННЯМ І ЛАЗЕРНИМ СКАНУВАННЯМ

©Глотов В.М., Смолій К.Б., 2008

Представлен анализ технологической схемы составления планов фасадов архитектурных памятников, которые подлежат реставрации с помощью цифровой съемки и лазерного сканирования. Акцентируется внимание на недостаточность информации при использовании только лазерного сканирования. В то же время при совместной обработке материалов съемки и сканирования возникает возможность не только получить необходимые данные для дальнейших архитектурных измерений, но и повысить точность получения координат точек объекта за счет избыточного количества опорных и контрольных точек. Так же в этом случае возможно получать данные и про деформацию сооружений, что безусловно актуально при выполнении реставрационных работ.

The analysis of technological scheme for creation of façade plans of architectural monuments which are subject restoration by a digital survey and laser scanning is presented. Attention is accented on insufficiency of information at the use only of laser scanning. At the same time, there is possibility not only to get necessary information for the further architectural measuring but also increase accuracy of obtaining co-ordinates of object points due to the redundant amount of control points at joint treatment of processing of survey and scanning. Similarly in this case it is possible to get information about deformation of constructions that is actually when implementation of restoration works.

Постановка проблеми. Архітектура – це історична частина нашої культурної спадщини. Інші елементи культурної спадщини перебувають за склом в музеях, а архітектурні пам'ятки широко використовують, і вони наражаються на небезпеку кожного дня, а особливо коли йдеться про техногенну небезпеку. Архітектурні споруди щоденно піддаються атмосферним впливам: руйнівній силі вітру, дощу, снігу та температурним факторам. Ось чому так важливо постійно слідкувати за їх станом та ушкодженнями. Основним способом зберігання архітектурних пам'яток є безумовно реставраційні роботи. Але для виконання цих робіт, насамперед із технічного погляду, необхідно мати у наявності фронтальні та інтер'єрні плани споруд. По-друге, ці плани потрібні на момент створення проекту реставрації, тобто скласти їх безпосередньо на теперешній час. По-третє, матеріали треба мати оперативно. Однак, геодезичними методами (промірювання, засічки тощо) зробити це швидко не завжди технологічно, а деколи і не уявляється можливим. Стереофотограмметричний метод не має цих вад, але у разі застосування сучасних неметричних цифрових систем виникають складності щодо наявності систематичних похибок. До того ж наземне лазерне сканування зумовлює величезні можливості щодо застосування його у архітектурних обмірюваннях. Але і тут є багато питань та проблем під час складання планів.

Отже, необхідно дослідити та проаналізувати технологічну схему складання фронтальних планів споруд, із метою розробки виробничих процесів сумісного застосування цифрового знімання та лазерного сканування для реставраційних робіт архітектурних пам'яток.

Зв'язок із важливими науковими і **практичними завданнями.** Складання фронтальних планів необхідно передусім для вирішення архітектурно-реставраційних робіт, оскільки продуктивність праці під час обмірних роботіт складних споруд із застосуванням фотограмметрії

зростає до 10–15 разів та більше, причому, чим споруда складніша, тим більше зростає продуктивність робіт [1]. З іншого боку, вартість робіт знижується у значно більшому ступені за рахунок виключення необхідності риштування для вищезазначених видів робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Геодезичний метод знімань фасадів будівель запропоновано у роботі [2]. У ній запропоновано оперативну технологію виконання знімання фасадів будівель з використанням тахеометра з відбивачем. Знімання виконують з 2–5 станцій, які повинні забезпечувати вимірювання напрямків на всі фасади і віконні прорізи другого і решта поверхів, а також по одному із кутів всіх віконних і дверних прорізів першого поверху, вимірюються електронною рулеткою. Якщо напрямки вимірюються на два протилежних кути віконних прорізів, то розміри цих прорізів не потрібні. У цьому разі для контролю вимірюються простінки між крайніми вікнами фасаду і кутами будинку. Важливою ланкою цієї технології є камеральне комп'ютерне оброблення вимірювань.

Доволі інтенсивно впроваджуються методи цифрової фотограмметрії для складання планів інтер'єрів архітектурних пам'яток. Так, в роботах [6, 7] розглядаються питання вдосконалення створення 3-D моделей старовинних дерев'яних оздоблень. З цією метою була вибрана цифрова фотограмметрична система, за допомогою якої можливо детальніше відтворити цю модель, а це своєю чергою дозволить реставраторам якісніше виконати відновлювальні роботи. У роботі відзначено, що для реставрації інтер'єрів необхідно використання фотограмметричної системи для високоточного моніторингу впродовж реставрації з використанням технологій маршрутних урівнювань, калібрування камери та аналізу стохастичних деформацій. Метод дає можливість відслідковувати дискретні точки на поверхні об'єкта з точністю до 20 мкм. У подальших роботах описуються методи, що дозволяють автоматично відтворювати поверхні моделі за цифровими зображеннями. Ці процеси передбачають інтеграцію алгоритмів точок, розпізнавання ідентичних точок на знімках, засобами яких автоматично генеруються масиви точок. Ці способи інтегруються з моделлю розповсюдження похибок для контролю точності та надійності отриманих даних. Після оброблення модель інтегрується в базу даних реставрованих витворів мистецтва, що дасть змогу реставраторам здійснити порівнювальний аналіз за якісно-кількісними параметрами об'єкта, що досліджується.

У роботі [4] наводиться порівняльний аналіз фототеодолітного знімання і знімання без використання штативу. Автор акцентував увагу на порівнянні затрат часу під час виконання знімання цими методами та встановив, що загальний метод знімання "з руки" є в чотири рази економніший в часі та менш трудоємкий. Наводиться оцінка точності визначення просторових координат під час використання некаліброваної та каліброваної камер і відзначається, що розбіжність значень координат відповідає нормативним вимогам інструкції для складання фронтальних планів масштабу 1:50.

Об'єктом досліджень авторів у роботі [5] є виконання обмірів статуй Моа на острові Пасхи. У 1995 р. ці статуї отримали статус Культурної спадщини світу та перебувають під захистом ЮНЕСКО, але поки що пам'ятки все більше наражаються на небезпеку. Вони руйнуються під впливом техногенних факторів, ось чому так важливо слідкувати за їх станом. Плани створені із застосуванням наземного лазерного сканера. Отримано "хмару" точок поверхні трьох статуй, а в 2008 р. – восьми. Процес сканування вимагав, щоб один і той самий об'єкт сканувався з декількох сторін, що в деяких випадках було доволі незручно, адже деякі статуї розташовані на березі моря, отже, і сканер встановлювали близько до води, що є шкідливим для оптичної системи приладу. Окрім того, планується у подальших дослідженнях визначити деформаційні процеси об'єктів.

Невирішені частини загальної проблеми. На підставі розробленої технологічної схеми необхідно визначити її особливості під час складання фронтальних планів стереофотограмметричним методом з застосуванням лазерного сканування у разі реставраційних робіт архітектурних пам'яток.

Постановка завдання. Завдання полягає в тому, щоб остаточно з'ясувати всі нюанси технології цифрового наземного знімання в сукупності з лазерним скануванням для складання фронтальних планів споруд .

Виклад основного матеріалу. Експериментально-дослідницькі роботи виконували із метою складання фронтального плану архітектурної памятки – колишнього Палацу польських магнатів Потоцьких у місті Львові. Цей палац – яскравий зразок палацової архітектури зрілого історизму, одна з найцікавіших архітектурних пам'яток Львова і України взагалі [8]. Територію, на якій побудований палац, було куплено Потоцькими в 1822 р. Палац збудований з цегли на підвалах, композиція плану центрально вісьова з головним і двома бічними ризалітами. Двоповерховий з мансардовим додатковим поверхом в центральній частині, ризаліти – триповерхові, завершуються т. зв. "французькими дахами". Конструкції перекриття були дерев'яними: фасади рустовані, з пластичним декором з гідравлічного бетону. Головний вхід оформляє портик іонічного ордеру, з протилежної (східної) сторони – напівокругла тераса.

Центральну вісь підкреслюють металеві ворота, фланковані двома портьєрками з "французькими дахами". Палац Потоцьких дослідники називають "найбільш французьким за своєю структурою". Після швидкої реставрації палацу А. Корманом 1919 р. (був пошкоджений під час листопадових боїв у 1918 р.) у ньому планували розмістити резиденцію країн Антанти. Але 22 жовтня 1919 р., у річницю перемоги поляків над українцями в битві за Львів, американський пілот, демонструючи фігури вищого пілотажу над центром міста, втратив управління літаком і врізався в праве крило палацу Потоцьких. Виникла пожежа. Повністю згорів дах, було сильно пошкоджене західне крило палацу. Граф подав позов про відшкодування, виграв судовий процес та отримав від польської держави компенсацію через понесені втрати (1921 р.). У 1921–1924 рр. виконували роботи з ремонту палацу, в інтер'єрах реставрація тривала до 1931 р. Потім здійснили інвентаризацію палацу з метою його продажу. Під час німецької окупації граф Потоцький лояльно поставився до "нового порядку" і цілком затишно почував себе у Ланцутському маєтку. Штаб італійської армії квартирував тут під час Другої світової війни. Після приходу радянської влади в приміщенні палацу розміщуються наукові заклади АН СРСР, зокрема Інститут фізики та механіки. Після реставраційних робіт 1973–1975 рр. і часткової реконструкції приміщень палац став "Палацом урочистих подій".У 2001 році в палаці розташовано картинну галерею.

Сьогодні виконують реставрацію споруди та дослідження її деформації. Для реставрації головного входу в палац був створений за запропонованою технологією фронтальний план.

Складаючи проект робіт, було обчислено апріорну оцінку точності отримання координат точок об'єкта [1]. Оскільки зображення будуть оброблятися на цифровій фотограмметричній станції "Дельта-2", то в цьому випадку координати на знімку вимірюються із точністю $m_x = m_z = m_p = 5 \cdot 10^{-6}$ м, а кутові елементи – $m_a = m_w = m_k = m_n = 3''$, тоді для $f = 55$ мм, $Y_\Phi = 30$ м отримаємо: $m_{X_\Phi} = 16$ мм, $m_{Y_\Phi} = 45$ мм, $m_{Z_\Phi} = 11$ мм, що відповідає другому класу точності архітектурних обмірів.

Тепер беспосередньо проаналізуємо технологічну схему методу.

Польові роботи

1. Для цього експерименту польові роботи передбачали наземне цифрове знімання та геодезичні роботи. Наземне цифрове знімання виконували цифровою камерою Canon EOS 350D з об'єктивом із фокусною віддаллю 55 мм. Варто зазначити, що знімали в похмуру погоду, отже, на отриманих зображеннях немає тіней, що значно спрощує подальше оброблення. Оскільки висота центрального входу в Палац сягала вісьми метрів, то для зменшення кута нахилу цифрової камери (ω) було запропоновано використовувати телескопічну штангу заввишки чотири метри [1]. Камеру закріплювали на верхньому кінці телескопа та було з'єднано USB-кабелем з ноутбуком, який був

розташований на столику, що закріплений на нижній частині телескопа. За допомогою ноутбука виконували керування камерою і контроль якості отриманого знімка (рисунок, б). У результаті було отримано 6 знімків, з яких вибрали одну стереопару для подальшого створення фронтального плану ганку. Під час опрацюванні знімків були визначені кутові елементи зовнішнього орієнтування (α =1,3˚, ω=1,6˚, к=0,7˚), що відповідає плановому зніманню.

2. Геодезичні роботи виконують для визначення просторових координат опорних та контрольних точок. Для цього експерименту виконувалось лазерне сканування фасаду палацу лазерним сканером “Scan Station 2” швейцарської фірми Leica (рисунок, а). Основні технічні параметри наземного лазерного сканера “Scan Station 2” швейцарської фірми Leica наведені нижче:

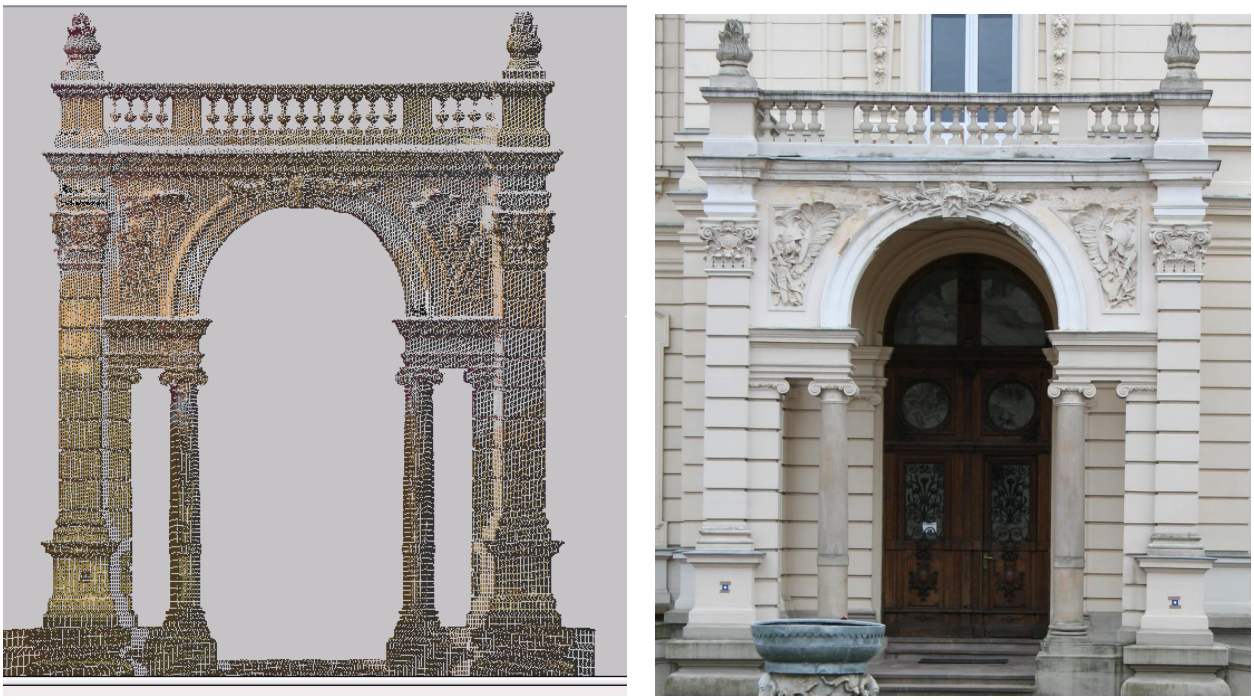
– діапазон віддалі – 0,10–300 м;

– планова точність – 4 мм;

– кут сканування (гориз./верт.) – $360^0/270^0$;

– час сканування – 50000 точок за с.

З отриманої множини точок обчислені просторові координати опорних та контрольних точок в умовній системі координат, що значно спростило оброблення зображень, адже в будь-який момент часу можна було отримати координати додаткової опорної точки.



а) *б)*

Результати наземного лазерного сканування
(а) та цифрового знімання (б) головного входу палацу

Камеральні роботи

1. Після виконання польових робіт в камеральних умовах були вибрані за стандартною схемою розташування опорних та контрольних точок на зображеннях, а саме: чіткий контур, який в подальшому обробленні буде точно переопізнаватися на стереопарах і який повинен перебувати в одній площині [1]. Це може бути кут цегли, тріщина в тинку, кут штапика вікна тощо. Не бажано вибирати за опорні точки об’ємні елементи, наприклад, кут карнизу, кут підвіконня тощо.

2. Наступним кроком було опрацювання зображень на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС) “Дельта-2”. Орієнтувати доцільно відразу із зовнішнього орієнтування: для поодиноких

знімків у вікні “аерофотознімання”. Це пояснюється тим, що система координат лазерного сканера є геодезична, отже вісь Z розташована “на об’єкт”. У результаті орієнтування СКП відповідно становили: $m_{X_\Phi} = 11$ мм, $m_{Y_\Phi} = 44$ мм, $m_{Z_\Phi} = 6$ мм.

3. Стереоскопічний збір виконувався в програмі Digitals. Цей програмний продукт має достатній ресурс для того, щоб викреслювати достатньо складні архітектурні форми, які присутні на архітектурних пам’ятках. Оператор має можливість редагувати і самостійно створювати робочі шари та умовні знаки, що значно спрощує збирання. Під час створення фронтального плану треба акцентувати увагу на понищеннях.

4. Оцінювання точності отриманих матеріалів. Для її виконання на створеному плані було вибрано 23 контрольні точки та переопізнано на множині точок лазерного сканування. СКП: $m_{X_\Phi} = 14$ мм, $m_{Y_\Phi} = 50$ мм, $m_{Z_\Phi} = 8$ мм, що є одного порядку із апріорною оцінкою.

Висновки. 1. Застосування телескопічної штанги дало можливість виконати планове знімання фасадів споруди, тобто підвищити точність визначення координат точок об’єкта.

2. Результати лазерного сканування містять **недостатньо** інформації про деталі споруди для створення фронтального плану об’єкта дослідженнь (рисунок), тому **необхідно** застосовувати цифрове знімання як всього об’єкта, так і знімання малих архіектурних форм, а саме ліпнин, барельєфів тощо.

3. Множина точок отриманих під час лазерного санування, дає можливість визначити наявність похибок щодо цифрового знімання і за необхідності дослідити та врахувати спотворення, які вони вносять у зображення (дисторсія, похибки елементів орієнтування тощо).

4. Отримана точність визначення координат споруди відповідає вимогам щодо точності обмірів архітектурних пам’яток.

1. Глотов В., Дубик Ю., Чижевський В. Аналіз технології створення фронтальних та інтер’єрних планів при проектуванні реставраційних робіт архітектурних пам’яток // Укр. міжвід. наук.-техн. збірн. “Геодезія, картографія і аерофотознімання”. – №68. – 2007. – С. 177–183. 2. Зайцев А., Шмелин Н. Исполнительная съемка фасадов зданий. Геод. и картогр. 2005, №12, С. 32–34. 3. Звиблис Р. Особенности использования цифровых методов в архитектурной фотограмметрии // Тр. по геод. Вильнюского инж-стр. и-та. – Вильнюс, 1985. – №13 – С. 116–122. 4. Катушков В.О. Загальний випадок знімання для складання фронтальних цифроавихь моделей // Вісник гкодкзії та картографії – 2008. – №4. – С. 31–34. 5. Kersten T. P., Lindstaedt M., Vogt B. Preserve the past for the future – terrestrial laser scanning for the documentation analysis of easter island’s Moil XXXVI congress ISPRS. Beijing, – 2008. P. 271-277. 6. Oesterle M., Hahn M. A case study for updating land parcel identification systems (IACS) by means of remote sensing // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul,2004 y. P.515-521. 7. Otani H., Aoki H., Yamada M., Ito T., Kochi N. 3D model measuring system // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul, – 2004. P. 165-171. 8. www.uk.wikipedia.org/wik.