

роботи з даними векторних і растрових форматів: графічне відображення карт у різних проєкціях; робота з шарами карт; оперування на карті атрибутивними і графічними даними з можливістю подальшого аналізу; додавання своєї геоінформації. Основну увагу приділено візуалізації даних з подальшою можливістю роботи з ними.

1. Любінський Б. Б., Бунь Р. А. Спеціалізоване програмне забезпечення для географічного аналізу та інвентаризації парникових газів // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2011. – № 59. – С. 129–135. 2. Любінський Б. Б. Архітектура спеціалізованих програмних модулів для географічного аналізу об'єктів при інвентаризації парникових газів / Б. Б. Любінський, Р. А. Бунь // *Штучний інтелект*. – Донецьк, 2011. – № 4. – С. 303–309. 3. SWIG: Simplified Wrapper and Interface Generator. Available at: <http://www.swig.org/>. 4. OGR: OGR Simple Feature Library. Available at: <http://www.gdal.org/ogr/>. 5. GDAL: Geospatial Data Abstraction Library. Available at: <http://www.gdal.org>.

УДК 528.72/73

В. Глотов, Х. Марусаж

Національний університет “Львівська політехніка”

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ПЛАНІВ ЛАЗЕРНИМ НАЗЕМНИМ СКАНУВАННЯМ ТА ЦИФРОВИМ ЗНІМАННЯМ

© Глотов В., Марусаж Х., 2013

Представлен анализ современных технологий создания фронтальных планов архитектурных памятников с помощью лазерного сканирования и цифровой съёмочной камеры.

The analysis of modern technologies to create the frontal plans of architectural heritages using laser scanning and digital camera is presented in the paper.

Постановка проблеми. Архітектурні пам'ятки є важливою частиною культурної спадщини. Основною умовою їх збереження і відновлення є проведення реставраційних робіт (Глотов та ін., 2008). Для їх виконання необхідно мати детальний і точний фронтальний план споруди. Сьогодні існує багато способів реалізації цієї задачі. Провідними методами впродовж останніх років є використання лазерного сканування та цифрового знімання. Комбінування цих методів має ряд переваг, оскільки лазерне сканування в архітектурі дає можливість дуже швидко провести знімання фасаду й одержати модель об'єкта з деталями розміром в декілька міліметрів, а цифрові зображення дадуть змогу покращити текстуру об'єкта. Але, на жаль, досі остаточно ще не розроблено оптимальних технологічних схем, із застосуванням якої можна отримати високоточні фронтальні плани архітектурних пам'яток. Тому актуальним є аналіз сучасного стану технологічних особливостей цих методів та способів їх реалізації.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Важливим етапом у процесі реставрації є проведення попередніх робіт, зокрема створення фронтального плану. Комбінування наземного лазерного сканування (НЛС) та цифрового знімання для вирішення цих завдань допоможе усунути недоліки кожного з цих методів і дослідити їх переваги. Отже, дослідження цієї технології дасть можливість надавати реставраторам та архітекторам необхідні матеріали.

Невирішені частини загальної проблеми. У вищевказаних методах є окремі невідповідності: отримання пропусків у лазерних «хмарах точок», неякісне відображення текстури об'єкта, об'єднання сканів з різних точок стояння сканера, похибки, що виникають при цифровому зніманні неметричними камерами, зв'язок між системами координат та поєднанням даних НЛС та цифрового знімання.

Постановка завдання. Виконати критичний аналіз літературних джерел, в яких висвітлюються технологічні аспекти та методики складання фронтальних планів за допомогою наземного лазерного сканування і цифрового знімання та зробити відповідні висновки з метою оптимізації вищевказаних технологічних схем.

Виклад основного матеріалу. Застосування методу наземного лазерного сканування для створення TIN-поверхні моделі комплексу печер Києво-Печерської Лаври описано у роботах (Белоус та ін., 2007, Ковтун та ін., 2009, Ковтун та ін., 2010). Метою проекту зокрема були отримання топографічного плану масштабу 1:500 у місцевій системі координат, побудова профілів та перетинів коридорів і приміщень печер. Роботи із лазерного сканування виконували лазерною сканувальною системою Leica ScanStation, а обробляли результати в програмному комплексі «Cyclone 5.6». Для знімання у важкодоступних місцях використовували електронний тахеометр Leica T1200 +400. Перед початком сканування в печерах було створено знімальну мережу з визначенням координат опорних точок. Варто зазначити, що значну увагу виконавці робіт приділяли координуванню стандартних візирних марок Leica Geosystems HDS, використовуваних у роботі для зв'язку сканів між собою. Крім того, для контролю періодично в процесі знімання координувалися «перекриття» сусідніх сканів марки. Роботи ускладнювалися тим, що коридори в печерах вузькі, а приміщення церков і допоміжних кімнат – невеликі за площею, крім того, доволі складної конфігурації. Обрана методика сканування за допомогою скриптів дала змогу отримувати однакоє розрізнення при зніманні об'єктів на різній відстані від сканера і значно скоротити загальний час сканування. Також значних незручностей для нормального функціонування сканера завдавали атмосферні умови в печерах, тому необхідно було застосовувати додаткові заходи для їх усунення.

Автори підкреслюють, що вміст печер було відображено з достатнім ступенем деталізації та реальними текстурами. Тому отримані в результаті тривимірного лазерного знімання геодані при правильному їх застосуванні можуть слугувати унікальним матеріалом для створення геоінформаційної системи комплексу печер, а згодом – і 3D ГІС Києво-Печерської Лаври. Підсумовуючи результати роботи, керівники проекту також зазначають, що 100 % покриття печер методом лазерного сканування дає змогу зробити точніший і глибший економічний аналіз проекту. З такими даними можна ретельніше аналізувати альтернативні економічні та інженерні рішення, які можна використати для прорахунку майбутніх стадій проекту, а також вирішувати інші проблеми.

Аналізуючи результати роботи, варто зазначити, що за допомогою лазерного сканера не можна отримати достатньо детальних внутрішніх планувань і вмісту печер (ніш, ікон та ін.). Також проблемним є застосування електронного тахеометра у важкодоступних місцях через невелику висоту та ширину проходів. Тому одним з шляхів вирішення цих проблем є паралельне застосування цифрового стереофотограмметричного методу.

Створення точкових моделей дерев'яних церков Львівської області XVI–XIX ст. за допомогою лазерного сканування описано в роботі (Третяк та ін., 2012). Під час знімання виконавцям необхідно було звертати увагу на певні зовнішні та внутрішні елементи, що зумовлено архітектурним стилем історико-культурної спадщини. Під час вибору станцій сканування враховували такі фактори: освітленість приміщення, відсутність сторонніх об'єктів, що перешкоджають видимості будівлі, взаємна видимість із сусідніх станцій сканування не менше 4 опорних точок, видимість покрівлі церкви та наявність електроживлення на території церкви. Результатом опрацювання даних сканування була точкова модель церкви, причому середні квадратичні похибки «зшивки» сканів не перевищували 1–2 см.

Сканували сакральні споруди за допомогою лазерного сканера FARO Laser Scanner Focus3D. Аналізуючи технічні характеристики цього сканера, варто зазначити, що роздільна здатність камери є недостатньою для отримання детального відображення об'єкта знімання.

Методику розрахунку оптимальних параметрів сканування запропоновано в роботі (Шульц, 2010). Ця методика враховує такі важливі характеристики, як відстань до об'єкта сканування, його геометричну форму та максимальний кут падіння лазерного променя. Використання наведених автором розрахунків дасть можливість визначити кількість станцій сканування, відстань між ними та відстань сканування залежно від заданого максимального кута падіння лазерного променя. Це дасть змогу за наближеними характеристиками об'єкта сканування визначити обсяги польових робіт і забезпечити оптимальну геометрію розташування станцій сканування.

Проте в роботі ще не враховано такого важливого фактора, як щільність точок на 1 м^2 , що істотно впливає на якість результатів та швидкість виконання лазерного сканування.

Технологічну схему цифрового знімання фасадів архітектурних пам'яток наведено в публікації (Глотов та ін., 2007). Перед виконанням робіт розраховують точність отримання координат точок на споруді, враховуючи експериментальні роботи. Особливість знімання полягала в тому, що не було можливості виконувати знімання більш ніж на 20м. Тому, виникла проблема знімання нормальним випадком. В роботі наголошується на необхідності під час виконання польових робіт у співпраці з архітекторами. Це значно скоротить час виконання польових робіт та підвищить їх якість. Знімання виконувалось за допомогою цифрової камери з об'єктивами з фокусною віддаллю 18мм безпосередньо споруди і деталізації елементів – 55мм. Отримані знімки контролювались на якість зображення та на забезпеченість опорою. Для вирішення проблеми з великою висотою будівлі використали телескопічну штангу на якій встановлювалася цифрова камера. Також, виконавці акцентують увагу на доцільності виконання обміру споруди, де це можливо, за допомогою рулетки. Ці дані можуть бути використані для контролю при обробці знімків чи в деяких випадках для викреслювання на плані певної деталі споруди. Запропонований в роботі спосіб використання фототріангуляції дав можливість підвищити точність фасадних та інтер'єрних планів, а також спростив технологію приведення планів до єдиної системи координат.

Такий спосіб створення фронтальних планів потребує великого обсягу камерального опрацювання даних. Хоча автори наводять апріорну оцінку точності, проте порівняльного аналізу у висновках немає.

Технологію застосування стереофотограмметричного методу розглянуто в роботі (Шоломицький та ін., 2011). У цьому випадку будували геодезичну мережу, з точок якої створювали знімальне обґрунтування для тахеометричного знімання. На кожній станції вимірювали контурні точки для складання топографічного плану. Пізніше з них знімали характерні точки фасадів, які, своєю чергою, слугували опорними точками для фотограмметричного знімання. При цьому за попередньо отриманими цифровими знімками об'єкта створювали абрис фасаду.

Ця технологія вимагає великих затрат часу та коштів на тахеометричне знімання, а також громіздкого опрацювання результатів цифрового знімання.

Різні способи інтегрування даних фотограмметричного знімання та лазерного сканування наведено в публікації (Шульц, 2011). Автор розглядає чотири основні комбінації цих методів і наводить можливості при їх синтезуванні та створення 3D моделей архітектурних споруд за даними цифрового фотознімання та наземного лазерного сканування місцевості.

Проте робота має комбінаторний характер і не дає конкретної відповіді про застосування тих або інших процесів.

Аналіз технологічної схеми складання фронтальних планів архітектурних споруд наземним цифровим зніманням і лазерним скануванням описано у роботі (Глотов та ін., 2008). Експериментально-дослідницькі роботи виконувались із метою складання фронтального плану головного входу Палацу Потоцьких у місті Львові. Перед виконанням робіт автори обчислили апріорну оцінку точності отримання координат точок об'єкта. Ця технологія передбачала виконання наземного цифрового

знімання та геодезичних робіт для порівняння цих методів. Наземне цифрове знімання виконували цифровою камерою Canon EOS 350D, а для геодезичних робіт використовували лазерний сканер "Scan Station 2". Для планового знімання фасадів споруди, тобто для підвищення точності визначення координат точок об'єкта застосували телескопічну штангу. З отриманої множини точок за допомогою НЛС було обчислено 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. Камеральні роботи полягали у виборі опорних та контрольних точок і подальшому опрацюванні зображень на ЦФС "Дельта-2". Виконавці робіт зазначають, що при створенні фронтального плану потрібно акцентувати увагу на пониженнях споруди. Отримана точність визначення координат споруди відповідала вимогам щодо точності обмірів архітектурних пам'яток.

Аналізуючи матеріали роботи, варто виділити недоліки кожного з методів. У результаті лазерного сканування було отримано недостатню кількість інформації про деталі споруди для створення фронтального плану об'єкта досліджень. Використання стереофотограмметричного методу зумовило ряд похибок, які потрібно визначити, дослідити та врахувати спотворення, які вони вносять у зображення. Тому необхідним є цифрове знімання як всього об'єкта, так і окремих архітектурних форм. Також множина точок, отриманих під час лазерного сканування, допоможе визначити похибки цифрового знімання.

У роботі (Núñez et al., 2011) представлено методологію створення 3D-моделі пам'ятника королеви Elisenda Tomb, на якому показано два різні і симетричні обличчя. Їх досліджували за допомогою стереофотограмметричного методу та лазерного сканера у порівнянні, з використанням геодезичного методу. Методологія роботи така: геодезичне знімання дає змогу встановити посилення на певні позиції для прив'язки кінцевої моделі; стереофотограмметричний метод дозволив отримувати виправлення, ортофотозображення і 3D-модель; наземне лазерне сканування було використано для отримання моделі хмари кольорових точок високої щільності. Процес отримання моделі поділили на фотограмметричні задачі, обробку даних лазерного сканування і САД моделювання. Лазерне сканування було проведене з використанням різних приладів. Після введення даних хмари точок були зареєстровані і зорієнтовані. Для цифрового знімання використовували неметричну дзеркальну цифрову камеру Nikon D300S з об'єктивом 20 мм 2,8 AF. Для того, щоб покрити весь об'єкт, цифрові зображення поділили на дві смуги на кожній стороні пам'ятника з 60–70 % поздовжніх і 50 % поперечним перекриттям. Кольори (RGB значення) були призначені автоматично відсканованим точкам.

Варто зазначити наявні в роботі неточності, викликані тим, що отвори в зонах збіглися з темно-червоним кольором на стіні. За результатами порівняння моделей можна зробити висновок, що обидва методи: стереофотограмметричний та лазерного сканування – можна використати для отримання документації з відновлення або збереження проекту. Проте вони мають недоліки, такі як «мертві зони» і велика кількість даних, що ускладнює опрацювання результатів.

Результати порівняння методів наземного лазерного сканування, цифрового та тахеометричного знімання для документації культурної спадщини наведено у роботі (Grussenmeyer et al., 2008). Об'єктом дослідження був середньовічний замок Haut-Andlau (Ельзас, Франція). Переважно дані було отримано наземним лазерним скануванням. Для доповнення цих даних було отримано цифрові зображення. Ця технологія не була оптимальною для знімання лінійних елементів, тому вирішили поєднати зазначені методи. Проте в роботі був ряд недоліків, які полягали в обмеженнях при використанні різного технічного обладнання. Для отримання недоступних частин будівлі для лазерного сканера було отримано близько 50 цифрових зображень з камери Zeiss SMK. Також було використано цифрову камеру Canon EOS 5-D для забезпечення повного покриття фасадів і остаточного відображення текстури замку. Тахеометричне знімання застосовували не лише для створення геодезичної мережі, а й для отримання контрольних точок на фасаді.

Застосування технології порівняння методів з подальшим їх комбінуванням має такі недоліки: складність отримання даних за допомогою лазерного сканування через складність знімання завдяки рельєфу місцевості, отримання низької щільності точок, «мертвих зон», низька якість відображення текстури об'єкта внаслідок лазерного знімання, великий обсяг робіт з тахеометричного знімання та багато матеріалів внаслідок використання стереофотограмметричного методу, що значно ускладнює процес опрацювання всіх цих даних.

Застосування наземного лазерного сканування для збереження культурних пам'яток в Yungang Grotto представлено у роботі (Keqin et al., 2008). У статті запропоновано технологічний метод для збереження гротів за допомогою наземного лазерного сканування та цифрових зображень і представлено етапи опрацювання процесів для створення 3D-моделі грота. Важливим фактором дослідження було калібрування зразків лазерної точки, що має значний зв'язок з точністю хмари точок. Велика кількість призводить до низької точності моделі, на противагу малій кількості, яка є однією з причин великої кількості надлишкових даних. Робота полягала у встановленні відображення моделі з 2D цифрового зображення на 3D-моделі хмари точок. У роботі варто виділити проблему отримання загальної картини даних. У результаті зшивання сканів зростала похибка накопичення даних, яка призвела до відповідних неточностей результату. Для скорочення похибки було побудовано контрольну мережу на основі сканування марок з відомими просторовими координатами.

Аналізуючи результати роботи, варто зазначити, що лазерне сканування не дає змоги отримати необхідної інформації для створення 3D-моделі грота. Крім того, для знімання використовували лазерний сканер, роздільна здатність якого не задовольняє вимоги, поставлені в завданнях. Тому в цьому випадку можливе застосування цифрової камери з кращим розрізненням.

Інноваційні методи дослідження культурної спадщини наведено у статті (Agnello et al., 2008). 3D-модель дерев'яної стелі було отримано за допомогою лазерного сканування та цифрового стереофотограмметричного методу. Тахеометричне знімання було використано для визначення розмірів стелі та огляду залу, виміру контрольних точок для фотограмметричного трансформування, реєстрації та орієнтації хмари точок. Стереофотограмметричний метод полягав у трансформуванні зображень у вертикальних і горизонтальних площинах і створенні ортофотопланів стелі. Щоб зменшити отвори в областях, не охоплених лазерним променем, численні сканування були виконані з різних точок всередині залу. У зв'язку з низькою роздільною здатністю вбудованої камери і відстані між сканером і стелею автори застосували інший сканер, який розташовували в трьох різних точках залу для того, щоб отримати хороше освітлення видимої області стелі. Перетворення координат хмари точки на геодезичну систему відліку дало змогу інтегрувати дані, отримані з двох різних сканерів.

Ця технологія є доволі складною з погляду опрацювання отриманих даних. Як видно з матеріалів роботи, застосовувалось декілька цифрових камер та лазерних сканерів, що потребує значних коштів.

Результати дослідження руйнувань розпису і ортофотоплан галереї фресок наведено в роботі (Hu et al., 2012). Автори статті розглядають апаратне та програмне забезпечення системи для цифрового 3D-дослідження фресок храму в Тибеті. Ця система використовує лазерні триангуляційні сканери, лазерні імпульсні сканери, цифрові камери та набір програмного забезпечення для отримання, автоматизованого моделювання матеріалів звітності щодо пошкоджень. Пропонується систематичний метод дослідження фресок інтегрувати до 3D-лазерного сканування та стереофотограмметричного методу. Отримували дані за допомогою лазерного сканера в різних масштабах. Всі відскановані дані зберігалися як ряд зображень.

Подібний метод дослідження передбачає співпрацю з фахівцями у галузі архітектури та живопису. Це потрібно для розпізнавання і маркування пошкоджень, оскільки оператор, який не є спеціалістом у цих галузях, не зможе виявити всіх типів руйнувань фресок. Варто звернути увагу й на те, що цифрові зображення не відображають реального розміру і розташування понищень – їх потрібно визначати на 3D-моделі.

Комплексне використання лазерного сканування і цифрової камери застосоване при археологічних розкопках наведено у роботі (D'Urso et al., 2008). Технологічну схему можна підсумувати так: створення геодезичної мережі; позиціонування марок і додаткових контрольних пунктів; лазерне сканування; отримання високоточних цифрових зображень. Дослідження, яке виконували за допомогою лазерного сканера, було обумовлене складністю об'єкта для спостереження, і тому модель було реконструйовано з кількох сканів, отже, необхідно було планувати набір сканувань з різних точок спостереження. Для отримання повної 3D-моделі всі скани були зорієнтовані відповідно із загальною системою відліку. Недоліки, отримані в результаті лазерного сканування, було більшою мірою усунуто внаслідок інтеграції даних з цифровими зображеннями.

У роботі (Menna et al., 2012) розглянуто використання високоякісного цифрового зображення і автоматичних стереофотограмметричних методів. Триангуляція на основі лазерного сканування також використовується, щоб заповнити «мертві зони» в отриманих зображеннях на основі 3D-даних і для виконання геометричних порівнянь. Основні проблеми зустрічаються в 3D-текстурі. Для того, щоб перевірити якість зображення безпосередньо на місці, камеру під'єднували до ноутбука за допомогою відкаліброваного екрана і контролювали у спеціальному програмному забезпеченні.

Незважаючи на високий рівень виконання робіт, роздільна здатність зображень викликала неточності в результатах роботи, зокрема в автоматизованих відповідностях зображення, де основні труднощі виникли під час текстурування. Щоб домогтися однорідної текстури, можна виконувати цифрове знімання з постійної відстані.

Отримання високої точності відображення текстури 3D-моделі скульптури описано в роботі (Gašparović et al., 2012). Реконструкція з високим ступенем точності 3D-моделі скульптури передбачає два аспекти: моделювання геометрії і текстур. Переважно мали на меті відновлення просторового положення камери в момент захоплення зображення – так було зареєстровано побудову їх моделей у перспективній проекції. У роботі запропоновано метод накладання текстур на моделі лазерного сканування на основі нежорсткого перетворення. Цей метод реєстрації точно вирівнює текстуру і модель глобально і локально.

Ця технологія є доволі трудомісткою за обсягом опрацювання даних. Проблема полягає у відборі контрольних точок, що відповідно передбачає необхідність висококваліфікованих спеціалістів у роботі з зображеннями та велику затрату часу.

Автоматичну процедуру для об'єднання цифрових зображень і даних лазерних сканерів наведено в роботі (Moussa et al., 2012). Автори статті пропонують технологічну схему для об'єднання фотограмметричних зображень і хмари точок лазерних сканерів, засновану на базі даних, що зберігається в точці середовища моделі. Це дає змогу вилучити точну інформацію управління для безпосереднього орієнтування камери. У цьому дослідженні використовували лазерні сканери Leica ScanStation HDS 3000 і Faro Laser Scanner Focus3D. Експерименти в цьому дослідженні були продемонстровані з використанням різних наборів даних. Набори даних отримали камерою Leica HDS 3000 на приблизну відстань вибірки 2 см і 5 см відповідно на поверхні об'єкта. Цифрові зображення було отримано стандартною каліброваною цифровою фотокамерою NIKON D2X (12 Мрх) з об'єктивом 20 мм. Зібрані цифрові зображення вимагали таких процесів: коригування спотворень зображення, враховуючи лише зелений канал для того, щоб отримати подібні значення інтенсивності у створеному із зображення з камери і зменшити відмінності освітленості; зміни розмірів цифрових зображень якомога ближче до землі.

Аналізуючи роботу, варто зазначити, що технологію розроблено лише для визначення точкових об'єктів, а для її використання потрібно багато програмних і апаратних засобів.

Інтеграцію даних лазерного сканера із зображеннями з цифрової камери для застосування їх в архітектурі відображено в роботі (Kochi et al., 2012). Для реєстрації всієї будівлі було встановлено марки до стіни і проведено виміри за допомогою тахеометра Topcon. Для побудови 3D-моделі було отримано цифрові зображення з областей одного і того самого об'єкта, які сканер захопити не міг. Варто зазначити, що у цьому випадку зображення повинні перекриватися. Отже, отримана нова

ефективна методика створення 3D-моделі внаслідок інтегрування хмари точок, отриманих НЛС і 3D-даними за стереофотограмметричним методом. За допомогою такої технології авторам вдалося автоматизувати всі етапи отримання цифрових зображень, зокрема орієнтування, виявлення контурів і побудову 3D-моделі.

Підвищення точності та читабельності 3D-моделей за допомогою поєднання наземного цифрового знімання та лазерного сканування запропоновано у статті (Zhang et al., 2012). Слід зазначити, що отримати 3D-моделі археологічних артефактів лазерним скануванням є повністю можливим в масштабі 1:1. З іншого боку, текстура і RGB поверхні об'єкта, отриманого за допомогою лазерного сканера, мають значно нижчу роздільну здатність порівняно з текстурами, отриманими цифровою камерою. Важливо підкреслити, що оцінка апостеріорної точності глобальної реєстрації хмар точок у вигляді стандартного відхилення становила $\pm 0,136$ мм, а середня відстань була лише $\pm 0,080$ мм. Також дослідження показали, що якість текстур моделі прогнозовано збільшує читабельність. Запис археологічних артефактів робить 3D-моделі об'єктивно реальними, що значною мірою сприяє розвитку археології як науки, прискорює обробку та реконструкцію. Отримання віртуальної моделі також дає змогу представити результати не лише фахівцям.

У статті (Salo et al., 2008) розглянуто компоненти калібрування наземних лазерних сканерів Faro LS880 HE80. Калібрування полягає у вимірюванні відносних відстаней та орієнтоване на вимірювання компонент віддалі від сканера. Діапазон вимірювання 1–30 м було поділено на дві частини залежно від використовуваного інтервалу дискретизації та спостереження порівняно з результатами, отриманими з тахеометра. Відмінності було проаналізовано за допомогою перетворення Фур'є. Варто зазначити, що довжина хвилі, де виявлено періодичні похибки, часто корелює з довжиною хвилі модуляції частоти приладу або їх гармонік.

Аналізуючи результати роботи, потрібно підкреслити, що для визначення закономірностей поширення похибок та їх причин було отримано недостатньо даних.

Висновки:

1. Проаналізувавши літературні джерела, в яких розглянуто технологічні процеси створення фронтальних планів архітектурних пам'яток, потрібно зазначити, що обрана тематика є актуальною сьогодні та існує багато методів вирішення поставленого завдання, які широко висвітлюються в сучасних публікаціях.

2. Застосування методу комбінування наземного лазерного сканування та цифрового стереофотограмметричного знімання має такі переваги: технологічну оперативність, складені фронтальні плани порівняно з іншими методами мають велику інформаційність та можливості тривимірної візуалізації створення 3D-моделей, максимально наближених до реальних об'єктів, що підлягають реставрації.

3. До недоліків методу належать отримання «мертвих зон» у лазерних хмарах точок, неякісне відображення текстури об'єкта, проблема об'єднання сканів з різних точок стояння сканера, отримання похибок внаслідок цифрового знімання (дисторсія, похибки елементів орієнтування тощо).

4. На наш погляд, нівелювати ці недоліки можна, використовуючи зображення, отримане цифровою камерою для заповнення «мертвих зон» у хмарах точок лазерного сканера, телескопічної штанги для цифрового знімання та якісне виконання камеральних робіт.

5. Надалі заплановано дослідити похибки, що виникають під час лазерного сканування та цифрового знімання та розробити технологічну схему застосування лазерного сканера та цифрового стереофотограмметричного методу, яка буде оптимальною для створення фронтальних планів архітектурних пам'яток.

1. Белоус Н., Горб А., Ковтун В. Лазерное 3D сканирование в Дальних и Варяжских пещерах Свято-Успенской Киево-Печерской Лавры // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Львів, 2007. – Вип.1 (13). – С. 139–145. 2. Глотов В., Дубик Ю., Чижевський В. Аналіз технології створення фронтальних та інтер'єрних планів при проектуванні реставраційних робіт

архітектурних пам'яток // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – Вип. 68. – С. 17–183.

3. Глотов В.М., Смолій К.Б. Дослідження технології складання фронтальних планів архітектурних споруд наземним цифровим зніманням і лазерним скануванням // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2008. – Вип. 70. – С. 46–50.

4. Ковтун В., Серебряний Ю. Священні печери в 3D // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. I (19). – С. 39–40.

5. Ковтун В.Я., Серебряний Ю.Л. 3D-сканирование в святых пещерах древнего Киева // Журнал Reporter. – 2009. – Вип. 61.

6. Третьяк К., Голубінка Ю., Маліцький А., Яхторович Р. Досвід виконання наземного лазерного сканування для створення точкових моделей дерев'яних церков // Збірник матеріалів XVII Міжнародного науково-технічного симпозиуму “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології” (АР Крим, м. Алушта), 2012 – С. 39–42.

7. Шоломицький А., Луньов А., Сірих О., Тарасова О. Геодезичне забезпечення реконструкції та будівництва // Вісник Львівського національного аграрного університету Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2011. – № 12.

8. Шульц Р.В. Інтегрування даних наземного фотограмметричного знімання та лазерного сканування // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: матеріали науково-практичної конференції. – М.–Київ, 2011. – С. 70–73.

9. Шульц Р. Розрахунок параметрів наземного лазерного сканування // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. I (19). – С. 166–169.

10. Agnello F., Cannella M., Gentile A., Lo Brutto M., Santangelo A., Villa B. Innovative Techniques for Survey and Communication of Cultural Heritage // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 411–416.

11. D'Urso M. G., Russob G. On the integrated use of laser-scanning and digital photogrammetry applied to an archaeological site // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 1107–1113.

12. Gašparović M., Malarić I. Increase of readability and accuracy of 3d models using fusion of close range photogrammetry and laser scanning // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXIX congress ISPRS. Melbourne, 2012. P. 93–98.

13. Grussenmeyer P., Landes T., Voegtle T., Ringle K. Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 337–340.

14. Hu Sh., Gao F., Zhang A., Chen Y., Cai G., Duan W., Zhou X. 3D Digital Investigation on Diseases of Tibet Murals // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 1007–1012.

15. Keqin Zh., Xu Zh., Junzhao Zh., Fei W., Song H. Application of Terrestrial Laser Scanning For Heritage Conservation in Yungang Grotto // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 337–340.

16. Kochi N., Kitamura K., Sasaki T., Kaneko S. 3d modelling of architecture by edge-matching and integrating the point clouds of laser scanner and those of digital camera // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXIX congress ISPRS. Melbourne, 2012. – P. 279–284.

17. Menna F., Rizzi A., Nocerino E., Remondino F., Gruen A. High resolution 3d modelling of the behaim globe // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXIX congress ISPRS. Melbourne, 2012. – P. 115–120.

18. Moussa W., Abdel-Wahab M., Fritsch D. An automatic procedure for combining digital images and laser scanner data // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXIX congress ISPRS. Melbourne, 2012. – P. 229–234.

19. Núñez M. A., Buill F., Regot J., Mesa A. Metric survey of the monument of queen Elisenda's Tomb in the Monastery of pedralbes, Barcelona, 2011.

20. Salo P., Jokinen O., Kukko A. On the Calibration of the Distance Measuring Component of a Terrestrial Laser Scanner // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Beijing, 2008. – P. 1067–1072.

21. Zhang F., Huang H., Zhang Z., Fang W., Li D. High precision texture reconstruction for 3d sculpture model // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXIX congress ISPRS. Melbourne, 2012. – P. 139–143.