



УДК 528.48:004

М. І. Тарасенко, А. Г. Тищенко

СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОТРЕБ РЕСТАВРАЦІЇ ІСТОРИЧНИХ СПОРУД

Рассматривается вопрос создания трехмерных моделей исторических сооружений по материалам геодезических наблюдений. Описывается технологическая схема построения таких моделей с использованием современных программных продуктов на примере культурно-художественного и музейного комплекса «Художественный арсенал» (г. Киев).

The article deals with the creation of three-dimensional models of historic buildings using geodetic observations. The technological scheme of such models creation using modern software is described on the example of cultural-artistic and museum complex "Artistic Arsenal" (Kyiv).

Постановка проблеми. Розвиток сучасних інноваційних технологій спричинює зміни і в технології проведення реставраційних робіт, зокрема в їх геодезичному забезпеченні. Застосування такого нового геодезичного обладнання, як сучасні електронні тахеометри, системи дистанційного зондування (наземні цифрові метричні камери, наземні системи лазерного сканування) і відповідного програмного забезпечення зумовило появу принципово нових можливостей для геодезичного забезпечення процесу реставрації історичних об'єктів. На зміну старим методам тривимірного проектування (макети, стенди) приходять нові, досконаліші, засновані на застосуванні систем автоматичного проектування (AutoCAD, MicroStation та ін.).

Але ці технології використовуються не завжди ефективно. Іноді їх використовують там, де можна обійтися набагато простішими та доступнішими методами. Наприклад, при створенні детальних тривимірних моделей для реставрування видовжених та складних за конфігурацією історичних об'єктів ефективно застосовування лазерного сканування. При меншій складності об'єктів реставрації чи обмеженому фінансуванні можна використовувати фотограмметричний метод. Для створення простих і невеликих моделей історичних споруд можуть використовуватись сучасні геодезичні методи збору інформації.

Застосування певної технології диктується такими вимогами :

- забезпечення якості отриманих результатів;
- дотримання рентабельності технології;
- мінімізація затрат часу на проведення робіт.

Зв'язок із важливими практичними завданнями. Культурно-історична спадщина є ключовим елементом розвитку суспільної свідомості. Дбайливе її збереження, відновлення та використання потребує науково-обґрунтованої державної політики. Для України, яка протягом тривалого часу не мала своєї державності та потерпала від варварського ставлення до об'єктів національної історико-культурної спадщини, питання їхнього відтворення стоїть дуже гостро [4]. Країна має досить підстав зайняти одне з провідних місць у світі як осередок слов'янської культури та одержувати значні

надходження до бюджету за рахунок поживлення туристичного бізнесу. Проте аварійний стан багатьох об'єктів історико-культурного значення та незрозуміле ставлення до них з боку громадськості та держави не дозволяє включити їх до фонду ЮНЕСКО [4]. Законодавча база, яка регулює ці питання, сформована давно [5], але вона фактично не діє. Крім того, не вистачає кваліфікованих спеціалістів, які б могли забезпечити потреби реставраційної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні такі методики, як побудова фізичних макетів історичних споруд, що реставруються, відходять у минуле, їм на зміну приходять технології тривимірного моделювання [1,5-12]. Все частіше для підготовки реставраційних робіт використовуються методи наземного лазерного сканування [5]. Застосовуються методи сумісного використання фотограмметричної зйомки архітектурних споруд з використанням даних тривимірного лазерного сканування [6]. Набуває поширення технологія віртуальної реконструкції історичних пам'яток архітектури, яка дозволяє створювати не тільки об'ємні моделі окремих об'єктів, а й цілих архітектурних ансамблів і навіть міст різних епох [7]. Дедалі ширше в процесі реконструкції використовується електронна тривимірна (3D) документація [11].

Всі перераховані вище технології наразі використовуються повсюдно, але досі не визначено обмеження при реставрації різного типу історичних об'єктів.

Метою даної публікації є визначення переваг, недоліків та обмежень сучасних технологій, які застосовуються в ході реставраційних робіт, на прикладі конкретного об'єкта, а саме споруди культурно-мистецького і музейного комплексу «Мистецький арсенал» (м. Київ).

Виклад основного матеріалу. Важливим етапом реставраційних робіт на історичних об'єктах є збір інформації про попередні спроби, фіксація їх поточного стану, а кінцевим результатом цих робіт є побудова тривимірної моделі історичної споруди. Така модель може служити для: модулювання зовнішнього вигляду історичної споруди (колір і текстура фасаду, конфігурація вікон та вітражів тощо), моделювання інженерної інфраструктури, розміщення технологічного обладнання, модулю-

© М. І. Тарасенко, А. Г. Тищенко, 2009



вання етапів експлуатації споруди. Це необхідна умова ефективної реалізації проекту реставрації, проведення поточного аналізу технічного стану об'єкта упродовж періоду реконструкції та в період експлуатації споруди. Крім того, модель дає змогу якомога повніше уявити кінцевий результат реставраційних робіт та знизити витрати на виправлення помилкових рішень.

Тривимірні моделі історичних споруд мають суттєві переваги над звичайними макетами. Це передусім їх динамічність (можливість практично одночасної візуалізації моделі під різними кутами огляду, швидкої зміни кольорів та зовнішньої текстури об'єкта тощо). До того ж, модель є метричною, тому її можна використати для різного роду проектних робіт, зокрема розглядати можливі варіанти монтажу конструкцій, усувати недоліки проекту (без залучення проектної групи) прямо на об'єкті тощо.

Основним при побудові тривимірної моделі історичної споруди є проведення її архітектурних обмірів. Залежно від геометричних параметрів об'єкта та характеру реставраційних робіт методи проведення обмірів можуть варіюватись. Сьогодні найперспективнішим методом проведення обмірів є спосіб, який ґрунтується на використанні систем дистанційного зондування (лазерні сканувальні системи). Головна його відмінність – отримання досить високої щільності точок об'єкта у тривимірному вигляді, які є базою для подальшого виготовлення цифрової моделі об'єкта у вигляді нерегулярної TIN-сітки [5]. До переваг даного методу слід віднести: високу оперативність отримання даних, багатофункціональність використання системи, високу деталізацію даних, високу точність та суттєве зменшення затрат праці при реставрації складних об'єктів.

Проте цей метод не позбавлений недоліків, до яких слід віднести: високу вартість комплексу обладнання – сканер, комп'ютер, електронний тахеометр, спеціалізоване програмне забезпечення (його загальна вартість може перевищувати декілька сотень тисяч доларів), значний час на проведення камерального оброблення отриманих даних, складна технологія зведення даних в єдину тривимірну систему та видалення помилкових результатів, складна процедура оптимального розміщення контрольних марок. Зрозуміло, що використання даної технології потребує високої кваліфікації персоналу, а дороге обладнання може собі дозволити далеко не кожна організація.

Лазерне сканування можна застосовувати на великих та складних за конфігурацією об'єктах реставрації, де потрібна висока точність і детальність отриманих результатів (при обмірах довгих і вузьких споруд – тунелів та печер), тут дана технологія ефективна та рентабельна.

Відмінністю фотограмметричного методу від попереднього є отримання цифрового ортофотоплану об'єкта, за яким потім визначають просторове положення точок для побудови тривимірної моделі об'єкта. Вартість комплексу фотограмметричного обладнання значно нижча в порівнянні з обладнанням для лазерного сканування, але й нижча

точність отриманих даних. Крім того, забезпечити однаково високий рівень деталізації об'єкта фотограмметричним методом практично неможливо. До основних особливостей застосування фотограмметричного методу слід віднести значну тривалість проведення камеральних робіт (тривимірні координати об'єкта отримують шляхом тривимірної векторизації відтрансформованих знімків), наявність високої кваліфікації виконавців. Фотограмметрична зйомка може використовуватись самостійно чи поєднуватись з лазерним скануванням.

У деяких випадках для побудови простих моделей архітектурних елементів історичних об'єктів, перевірки даних попередніх методів виникає необхідність у застосуванні звичайних геодезичних методів.

Загальна технологія створення тривимірної моделі (геодезичними методами) складається з наступних етапів:

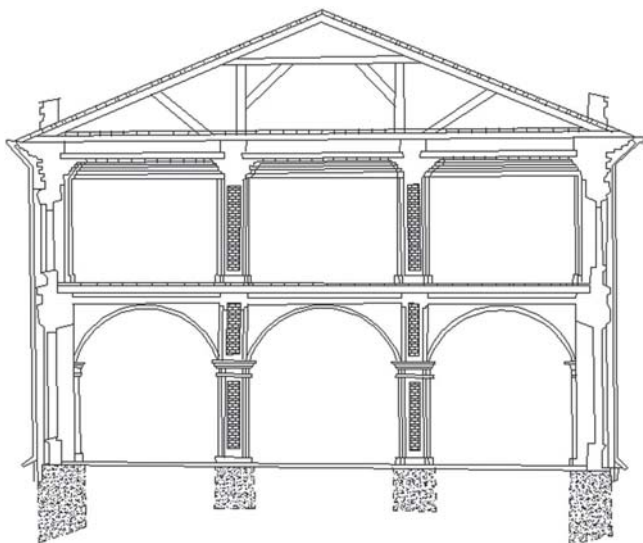
- попередній аналіз стану об'єкта;
- розроблення загальної стратегії геодезичного забезпечення реставрації;
- створення тривимірної моделі об'єкта;
- розроблення і апробація проектних рішень на основі побудованої тривимірної моделі.

Аналіз стану об'єкта передбачає максимально повний збір інформації про його технічний стан. Цей етап включає: визначення технічних параметрів споруди, ознайомлення з архівними матеріалами, перевірка наявної технічної документації, оцінка загального стану.

Наприклад, досліджуючи споруду «Мистецький арсенал», було виявлено численні відхилення в її технічному стані. Значної руйнації зазнала південно-східна частина споруди: секція кам'яних склепінь першого поверху була відсутня, дах споруди перебував в аварійному стані тощо.

Виходячи з результатів аналізу технічного стану історичної споруди визначається загальний напрям та ступінь її реставрування, складається відповідне технічне завдання на проведення комплексу робіт. Так, для споруди «Мистецького арсеналу», згідно з розробленим технічним завданням, було визнано необхідність геодезичного забезпечення відтворення склепінь першого поверху. Ці склепіння за геометричними параметрами мали відповідати первісному вигляду. Обґрунтуванням для такого рішення став аналіз архівних матеріалів, який підтвердив, що всі склепіння першого поверху мали однаково геометричну форму (див. мал. 1).

Наступним етапом після відтворення склепінь та відновлення перекриття між першим та другим поверхами було вироблення стратегії геодезичного забезпечення встановлення колон другого поверху. Точність геодезичного забезпечення для відтворення архітектурних елементів не повинна була перевищувати 5 мм. Виходячи з вимог технічного завдання і обирався оптимальний метод створення тривимірної моделі історичної споруди. Перед початком побудови тривимірної моделі визначалось її функціональне призначення, на основі чого уточнювався рівень її деталізації. Основ-



Мал. 1. Відреставрований архівний знімок склепінь першого поверху

ним завданням моделі, яка створювалась, була фіксація основних архітектурних елементів склепінь та колон частини споруди першого поверху для наступного їх відтворення та відновлення перекриття другого поверху.

Метод проведення архітектурних обмірів та необхідне обладнання диктувались рівнем деталізації і точністю, які повинна була забезпечувати майбутня модель. Через те що частина споруди мала невелику площу та нескладні архітектурні елементи, було прийнято рішення обмежитись геодезичними методами. В роботі було застосовано електронний тахеометр Торсон 3005N в режимі знімання без відбивача. Точність визначення відстаней у такому режимі для цього приладу дорівнює $\pm(3 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км})$. Виходячи з вимог технічного завдання, точність, яку необхідно було забезпечити при побудові тривимірної моделі, мала бути в межах 5 мм.

Технологія створення тривимірної моделі для потреб реставрації за результатами геодезичного моніторингу має свої особливості, відображені на мал. 2.

Так, після проведення виконавчого знімання стін та колон на першому поверсі монтажного горизонту споруди «Мистецький арсенал» було досліджено просторове положення елементів конструкції. Знімання архітектурних елементів провели в умовній системі координат. Передавання (експортування) даних до персонального комп'ютера здійснювалось за допомогою програмного модуля WinPCOM 32. Всі дані про просторове положення елементів записувались у текстовий формат файла.

Надалі результати вимірювань опрацьовувались у програмному пакеті CredoDAT. Наслідком обробки вимірювань стало відображення точок у попередньому вікні перегляду. Аналіз протоколу попереднього опрацювання даних засвідчив, що грубих помилок вимірювань немає (див. мал. 3).

Після опрацювання даних виконавчого знімання елементів споруди настав час вибору оптимального програмного модуля для побудови просторової моделі. Перевага була надана програмному пакету AutoCAD 2008 через те, що він має необхідні функції тривимірного моделювання та підтримує достатньо комунікативні можливості в роботі з іншими програмами.

Наступний етап створення 3D-моделі – передавання даних з файла формату «.dxf» у програмний пакет AutoCAD 2008 (див. мал. 4).

Після перенесення точок у програмний пакет AutoCAD 2008 будувався каркас майбутньої тривимірної моделі з'єднанням точок у просторі за допомогою функції 3D-полілінія (див. мал. 5).

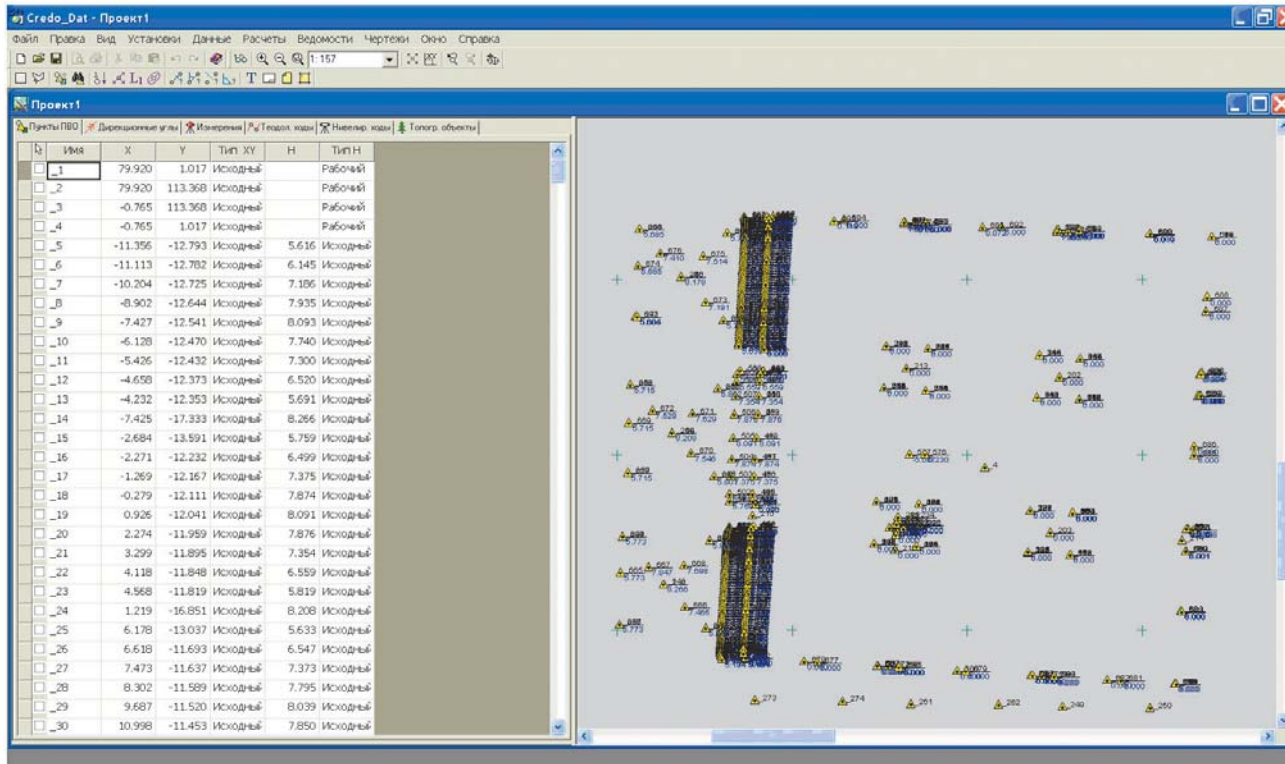
Для дублювання елементів конструкції використовувалась функція тривимірного перенесення, що значно зменшувало кількість необхідних операцій. Для перевірки просторового положення елементів моделі використовувалась функція 3D-навігації.

Черговий етап роботи – це відтворення поверхонь за точками і гранями створеного раніше тривимірного каркасу (див. мал. 6).

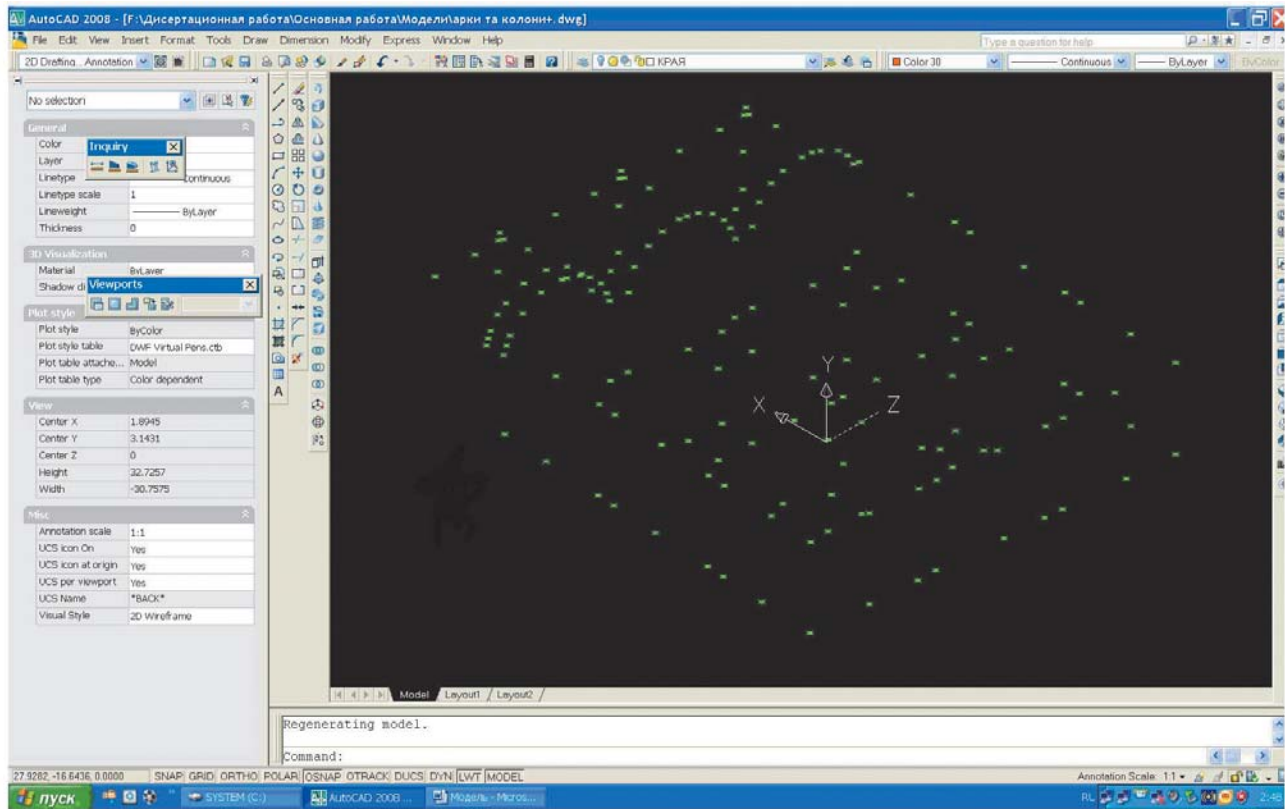
На завершальній стадії створення тривимірної моделі деталі споруди «Мистецький арсенал» було проведено контроль елементів моделі. Для цього



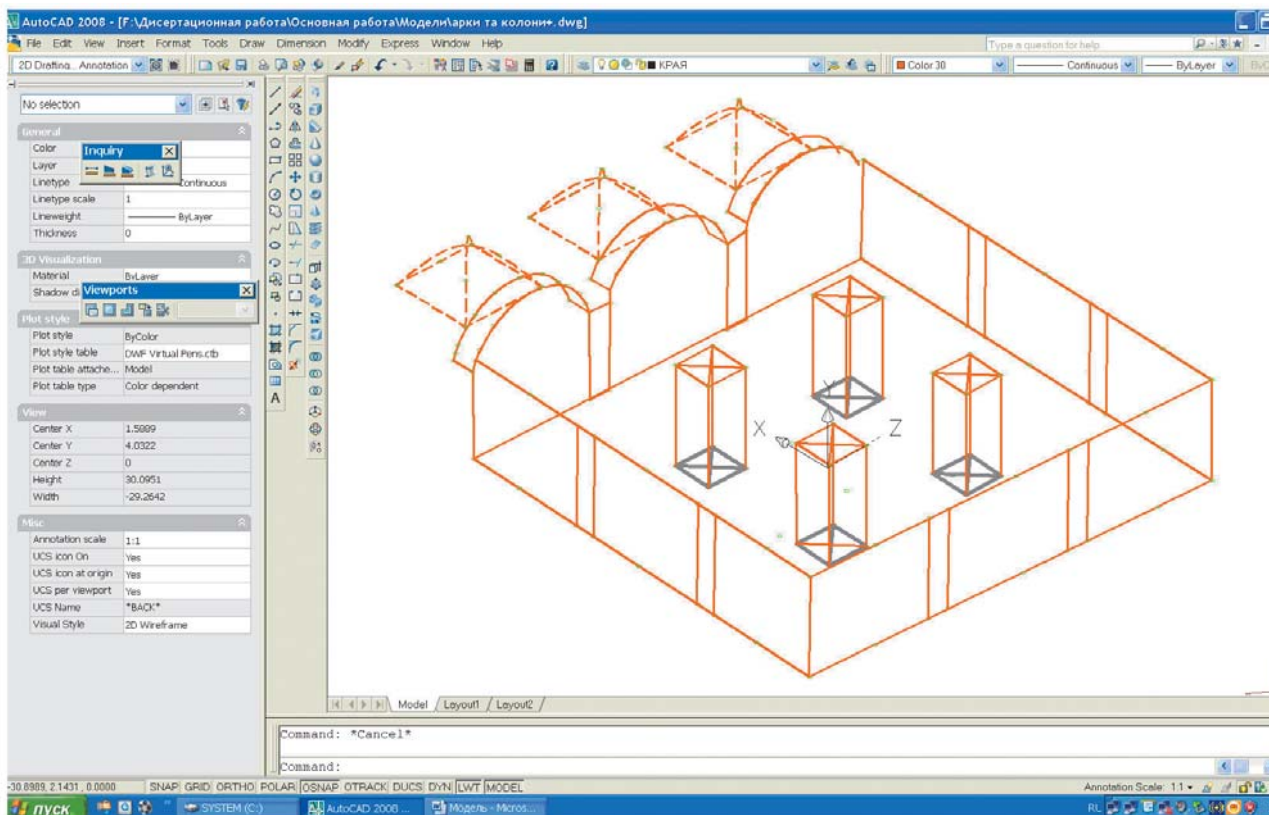
Мал. 2. Технологічна послідовність етапів створення тривимірної моделі



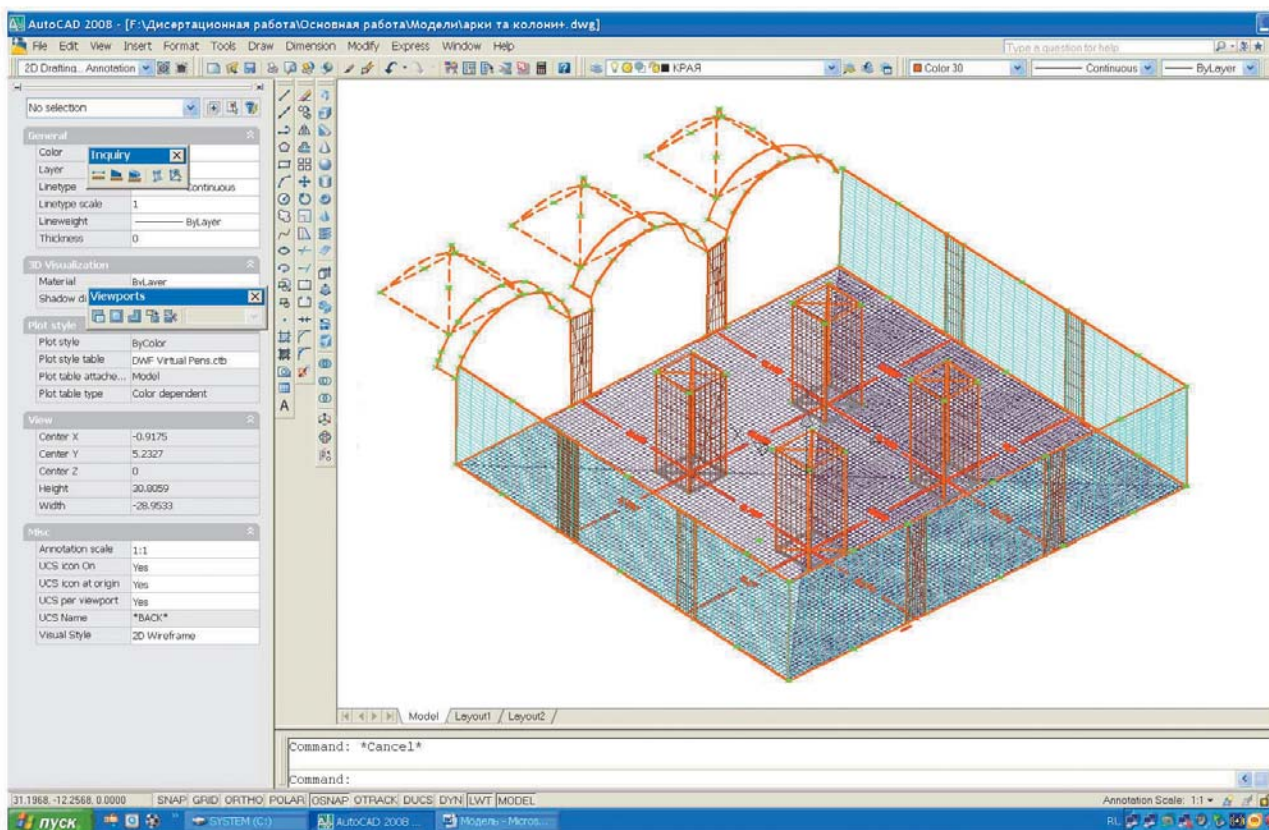
Мал. 3. Приклад опрацювання даних у програмному пакеті Credo DAT



Мал. 4. Приклад імпортування даних у програмний комплекс AutoCAD



Мал. 5. Створення каркасу тривимірної моделі за отриманими даними



Мал. 6. Обшивання каркасу тривимірної моделі та порівняння її параметрів з натуральними



за раніше визначеними та закоординованими точками виконувались лінійні проміри. Результати порівнювались із фактичними даними, одержаними безпосередньо на об'єкті.

Обґрунтування отриманих результатів. Вищеписана технологія враховує чинні технічні нормативи. Запроектвані архітектурні елементи було відтворено з обґрунтованою точністю, тож архітектурну єдність історичної споруди було збережено. Це дало змогу ефективно провести реставраційні роботи.

Висновки та перспективи дослідження. Результатом нашого дослідження став аналіз переваг та недоліків сучасних методів проведення виконавчих знімань історичних споруд. Як певний зразок подається технологія створення тривимірної моделі «Мистецького арсеналу» в Києві з використанням даних, отриманих одним з методів. Технологія дала змогу значно покращити якість реставраційних робіт, скоротила термін їх проведення. Проте сфера її застосування обмежується об'єктами дуже простої форми.

Зараз автори працюють над удосконаленням технології геодезичного забезпечення реставраційних робіт з використанням тривимірних моделей.

Література

1. Гостев В., Проценко А., Скребнев М., Разумова Т. Опыт трехмерного моделирования промышленных объектов Медного завода ЗФ ОАО «ГМК "Норильский никель"» // САПР и графика. – 2003, май. – С. 86-89.
2. Закон України «Про охорону культурної спадщини» від 8 червня 2000 року № 1805-III // Офіційний збірник України. – 2000. – № 27.
3. *Історична* записка старого арсеналу Києво-Печерської фортеці – пам'ятки військово-оборонної архітектури 1783-1803 рр. / ДП «УкрНДІпроектреставрація». – К., 2005.
4. *Пятнадцатая* Генеральная Ассамблея государств-сторон об охране всемирного культурного природного наследия. – Париж, штаб-квартира ЮНЕСКО, 10-11 окт. 2005 г.
5. Рой Д.Н. Опыт применения метода наземного лазерного сканирования для работ в области историко-культурного наследия // Геопрофи. – 2007. – № 2. – С. 20-23.
6. Синькова М.Г. Фотограмметрическая съемка архитектурных сооружений с использованием данных трехмерного лазерного сканирования // Геодез. и картогр. – 2002. – № 9. – С. 29-33.
7. Киссель О.М., Потапенко Н.В. Виртуальные реконструкции как интерпретация художественного наследия // Тез. докл. к 11-й Междунар. конф. «EVA-2008». – http://www.rusmuseum.ru/files/teoria_4.pdf
8. Клаус Лютер. Применение трехмерного фасадного строительства при возведении музея Mercedes-Benz в Штутгарте / Пресс-релиз. – <http://fasadinfo.com/articles/releases/1452>
9. Мельников С.Р. Дроздов О.В. Инновации в создании цифровых моделей – трехмерные лазерные безотражательные сканирующие системы. – http://www.geokosmos.ru/files/12_Neftyanoe_hozyaistvo_6_2001.pdf
10. Опалько Ю.В. Збереження культурно-історичної спадщини в сучасній Україні. – <http://www.niss.gov.ua/book/StrPryor/2/2-3-Opalko.pdf>
11. *Создание* электронной 3D-исполнительной документации. – <http://www.project-srv.ru>
12. Шульц Р.В. Преимущества и недостатки различных методов сшивки лазерных сканов. – http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Npdntu/Gir_g/2009_9/articles%5CShulz2.pdf

Надійшла 25.11.09