

## **Сучасні технології фотограмметрії для перетворення об'єкта на 3D-модель**

### **Modern photogrammetry technologies for object transformation on a 3D model**

**Гапонова Л.В., к.т.н, доцент, Іванов Є.М. к.т.н., доцент (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Haponova L.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ivanov E.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kharkiv national automobile-highway university, Kharkiv)**

*Сучасні технології фотограмметрії для перетворення об'єкта на 3D– модель, збереження форми об'єкта, його автентичності набувають особливої актуальності під час військової агресії на державу. Проведено вивчення, дослідження об'єктів з використанням сучасних методів візуалізації з метою впровадження у навчальний процес.*

*The task of preserving architectural monuments, urban planning objects, and engineering structures is prescribed in the Law of Ukraine on the Protection of Cultural Heritage. Within the framework of the modern state of engineering structures and the capabilities of modern software complexes, methods of preservation, visualization, and maximum reproduction of objects in Ukraine are being developed. The model of the bridge was chosen for the visualization studies of the structures. The available and accurate method proposed in the work, which is easy to apply in practice, is the reverse engineering digital photogrammetry method. The process is based on creating a three-dimensional model from two-dimensional photographs using software. With its help, the user uploads a set of photos to Autodesk servers and receives as a result a triangulated model of the object with preservation of all real dimensions and with high-quality textures. The obtained data was subsequently imported for further processing into another program of this family - the Autodesk Inventor package. The Autodesk Inventor package has a convenient interface and a large set of tools for modeling products. To demonstrate the scope and level of processing of ReCap Photo, the options included in the application are demonstrated in the work. The purpose of the article is to develop a sequence of scientific research using digital photogrammetry. Setting the task. Based on the stage of evaluation of priority processes, it is necessary to determine the key directions of research into the digitization of objects and, based on the results of the evaluation, to propose a rational model for the use of the reverse engineering method in the educational and scientific activities of the Department of Computer Graphics. Highlighting previously unsolved parts of the general problem. The Autodesk ReCap application processes DEM data. The*

*obtained DEM can be used in Autodesk Revit, etc. Autodesk packages for: the design and reconstruction of bridges; reconstruction of damaged housing stock; restoration of damaged infrastructure and much more. The application supports almost all laser scanning file formats. Clouds of points, in addition, can be edited arbitrarily - delete them, copy, highlight, or even add survey points. As a result, it demonstrated the possibility not only of creating technical documentation but also of reconstructing objects with millimeter accuracy. Visualization and design make it possible to exclude possible errors. Due to the identity of the spatial virtual model and the real physical object, the accuracy and quality of the design increase. Digitization of monuments of architecture and cultural heritage of Ukraine, establishment of a legislative framework, and preservation of UNESCO monuments are important scientific and practical tasks. Conclusions and prospects for further developments in this direction. The proposed algorithm makes it possible to use the Autodesk software complex to preserve the cultural heritage of Ukraine. It is worth noting that under safe conditions, the proposed algorithm for visualization of cultural heritage objects will be used in peacetime.*

*Ключові слова: фотограмметрія, 3D-модель, автентичність, дизайн, об'єкт.  
Keywords: photogrammetry, 3D model, authenticity, design, object.*

### **Аналіз відомих досліджень і публікацій, де розв'язувались завдання цієї проблеми**

Завдання збереження пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд прописані у Законі України про охорону культурної спадщини. В рамках сучасного стану інженерних споруд та спроможності сучасних програмних комплексів розробляються методи збереження, візуалізації та максимального відтворення об'єктів культурної спадщини України. В роботі [1] автори провели обстеження пам'ятки архітектури з використанням обладнання для 3D сканування і фотограмметрії (термін фотограмметрія походить від грецьких слів: photos - світло, gramma - запис, metreo - вимір, отже, його дослівний переклад - вимір світлозапису).

Результатом роботи є трьохмірна модель будівлі зі збереженням усіх фактичних розмірів і текстур, яка в результаті може бути застосована як для детального дослідження дефектів існуючих конструкцій і елементів будівлі, так і в якості підложки для розробки креслень для проекту реконструкції або проекту реставрації. Перспективам застосування фотограмметрії в аудіовізуальному мистецтві присвячена робота авторів О. Акерман, Н. Бедріна [2].

В.В. Білоус, С.П. Боднар у своїй роботі [3] висвітлили основні положення теорії та практики отримання фотограмметричних знімків; особливості побудови зображення кадрових знімків; розглянуті сучасні методи та технічні засоби аерофотознімання, принципи та методи камеральної обробки фотоматеріалів.

Розглянутий в роботах [4 - 14] доступний і точний метод, який легко застосувати на практиці – метод цифрової фотограмметрії реверс-

інжинірингу. Метод заснований на створенні тривимірної моделі з двовірних фотографій за допомогою програмного забезпечення. Користувач завантажує на сервер Autodesk комплект фотографій і отримує в результаті триангульовану просторову модель об'єкта зі збереженням усіх реальних розмірів і з текстурами високої якості. Отримані дані для подальшого опрацювання імпортуються в іншу програму цього сімейства - пакет Autodesk Inventor. Пакет Autodesk Inventor має зручний інтерфейс та великий набір інструментів для моделювання об'єктів.

**Мета роботи** – впровадження сучасних технологій фотограмметрії реверс-інжинірингу в освітній процес та наукову діяльність кафедри комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

**Постановка завдання.** Завдання збереження пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд прописані у Законі України про охорону культурної спадщини. Класифікація об'єктів культурної спадщини: археологічні; історичні; об'єкти монументального мистецтва; об'єкти архітектури; об'єкти містобудування; об'єкти садово-паркового мистецтва; ландшафтні; об'єкти науки і техніки.

Воєнний стан в Україні та пов'язані з ним обмеження змусили навчальні заклади перейти на дистанційну форму навчання, що значно ускладнює традиційні методи викладання.

Для студентів інженерно-технічних спеціальностей, які вивчають графічні дисципліни, важливо зберігати доступ до якісних освітніх матеріалів, що допомагають їм опанувати візуальні й технічні навички. Відеоуроки стали одним із основних інструментів у цьому процесі, адже вони дозволяють наочно та детально пояснювати складні графічні концепції навіть за умови відсутності фізичної присутності.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів**

Для відтворення об'єкта дослідження у вигляді віртуальної моделі використаний метод цифрової фотограмметрії. Зауважимо, об'єкт знаходиться у захисному склі, що ускладнює виконання формування об'ємної моделі. Для формування об'ємної моделі робимо серію знімків, кружляючи навколо реального фізичного об'єкта. Рекомендується робити знімки після кожного невеликого переміщення ( $\sim 5^0$ ) і в місці з постійним освітленням і відсутністю тіней. При цьому на задньому плані не повинно бути рухомих об'єктів.

Під час фотозйомки необхідно зберігати перпендикулярне положення щодо об'єкта. Потрібно змінювати висоту під час кожного кругового проходу, поки не захопиться вся поверхня об'єкта. Фотографії мають бути чіткими і без відблисків, як зображення на рисунку 1.



Рис. 1. Виконання фотозйомки пам'ятника Григорію Сковороді у м. Полтава

Фотограмметрія не потребує дорогого обладнання, можна використовувати звичайний телефон для фотографування об'єкта. Формується база фотографій об'єкта, що цікавить (фотографують об'єкт із різних боків), з подальшим обробленням для визначення просторових координат точок об'єкта.

Програмне забезпечення ReCap Photo [15] – спеціалізований інструмент настільних і хмарних рішень, призначених для створення тривимірної моделі за даними лазерного сканування або фотографіями. З його допомогою користувач може завантажити на сервер Autodesk результат сканування або комплект фотографій і отримати в результаті 3D-модель об'єкта з текстурями високої якості. Щоб оцінити масштаб і рівень опрацювання, досить поглянути на закладені в нього опції, насамперед, додаток підтримує майже всі формати файлів. Хмари точок, крім цього, можна редагувати довільно – видаляти їх, копіювати, підсвічувати або додавати точки обстеження. При цьому отримані дані згодом можуть бути імпортовані в інші програми сімейства Autodesk.

На рисунку 2 наглядно продемонстровано можливість отримання віртуальних моделей з використанням хмарного сервісу Autodesk ReCap Photo.



Рис. 2. Віртуальна модель пам'ятника Григорію Сковороді

Autodesk ReCap Pro давно і міцно увійшла в топ популярних додатків завдяки рівню свого виконання і вбудованим опціям. З її допомогою можна не починати роботу з чистого аркуша, а відразу переходити до обробки отриманої триангульованої просторової моделі об'єктів культурної спадщини. Це програмне забезпечення складається з двох додатків. Додаток Autodesk ReCap Photo є хмарним сервісом. Autodesk ReCap Photo дає змогу завантажувати масиви фотографій на сервер Autodesk (рис.3).



Рис. 3. Цифрові моделі поверхонь об'єкта (міст)

Як видно, разом із 3D-моделлю об'єкта (міст) оброблено багато зайвої інформації. Застосовуючи інструменти редагування, рекомендується видалити всю зайву інформацію для зменшення кількості точок обстеження (рис. 4).



Рис. 4. Редагування цифрових моделей поверхонь

#### **Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми**

Додаток Autodesk ReCap обробляє дані цифрової моделі пам'яті (ЦМП). Отримані ЦМП можна використовувати в Autodesk Revit та ін. пакетах Autodesk для: проектування та відбудови мостів; відбудови пошкодженого житлового фонду; відновлення пошкодженої інфраструктури та для багатьох інших.

Завдяки ідентичності ЦМП та реального об'єкта, точність та якість проектування підвищується. Dodatok підтримує майже всі формати файлів. Хмари точок, крім цього, можна редагувати довільно – видалити їх, копіювати, підсвічувати або навіть додавати точки обстеження. У результаті продемонстровано можливість проводити реконструкції об'єктів з достатнім ступенем точності. Цифровізація пам'яток архітектури, культурної спадщини України, встановлення законодавчої бази, збереження пам'яток ЮНЕСКО є важливими науковими та практичними завданнями.

#### **Висновки та перспективи подальших розробок у цьому напрямку**

Виконано впровадження проведених досліджень нових технологій і методик, які покращують процес навчання та наукові дослідження, а саме: адаптація дистанційних курсів, особливо для практичних занять; отримання практичних навичок побудови віртуальних просторових моделей пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд культурної спадщини з можливістю відновлення та реконструкції на основі реальних об'єктів з високим ступенем точності; вивчення можливостей використання віртуальної реальності, інтерактивних симуляцій та інших інноваційних рішень.

Опанування сучасними технологіями фотограмметрії з використанням програмного комплексу Autodesk, під час перетворення об'єкта на віртуальні просторові моделі, у майбутніх фахівців формує здатність творчо мислити та розвиває просторову уяву, що необхідна при професійній підготовці студентів.

### References

1. Markova M, Kravchenko D. Zastosuvannya 3D fotogrammetriyi dlya obstezhennya ob'ektiv kulturnoyi spadshini // Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnictva ta arhitekturi, 2018, No 1. S.90-95. <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/141162>
2. Akerman O., Bedrina N. Zastosuvannya fotogrammetriyi v audiovizualnomu mistectvi (na prikladi OPP "Reklama ta videoart" u HDADM) // Ukrayinskij zhurnal z mistectva i dizajnu. HUDPROM, 2023, XXV(2). S.108-114.
3. Bilous V.V., Bodnar S.P. Fotogrammetriya. Navchalnij posibnik. – K.: Kiyivskij nacionalnij universitet imeni Tarasa Shevchenka, 2021 r. – 137 s
4. Ye. M. Ivanov. Zastosuvannya fotogrammetriyi pri zvorotnomu proektuvanni ob'ektiv mashinobudovnoyi galuzi. // Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». Seriya: Mashinoznavstvo ta SAPR. №1.S.52-57.2024 <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/301604>.
5. Ivanov Ye.M. Mist ta hmarni servisi // Vseukrayinska naukova konferenciya «MOSTI: SUCHASNIJ STAN TA PERSPEKTIVI ROZVITKU. Prisyachenoyi do 120-richchya vid dnya narodzhennya Volodimira Oleksijovicha Rosijskogo», Harkiv, 7-8 grudnya 2023 r.: Tezi dopovidej. Harkiv: HNADU, 2023. S12-15.
6. Vanin V.V. Ofornlennya konstruktors`koyi dokumentaciyi: navch. posib. / V. V. Vanin, A. V. Bliok, G. O. Gnitez`ka. - K.:Karavela, 2018. - 200 s.
7. Dorozhy`ns`ky`j O.L. Fotogrammetriya: Pidruchny`k / O.L. Dorozhy`ns`ky`j, R. Tukaj. - L`viv: Vy`d-vo L`viv. politexniky`, 2008. - 332 s.
8. Dorozhy`ns`ky`j O.L. Fotogrammetriya ta dy`stancijne zonduvannya: pidruchny`k / O. L. Dorozhy`ns`ky`j; M-vo osvity` i nauky` Ukrainy`, Nacz. un-t «L`viv. politexnika». – L`viv:Vy`d-vo L`viv. politexniky`, 2019. – Kn. 1. – 176 s.: il.
9. Pen`kov V. O. Fotogrammetriya: konspekt lekcij dlya ba-kalavriv special`nosti 193 – Geodeziya ta zemleustrij) / V. O. Pe-n`kov; Xarkiv. nacz. un-t mis`k. gosp-va im. O. M. Beketova. – Xarkiv : XNUMG im. O. M. Beketova, 2019. – 100 s.
10. Autodesk Inventor 2022 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator Paperback. Independently published, 2021. 235 p.
11. Banach Daniel T. Autodesk Inventor 2022 Essentials Plus / Daniel T. Banach, Travis Jones, Shawna Lockhart. – New York. 2021. – 550 r.
12. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2022: A Tutorial Introduction.SDC Publications, 2021. 490 p.
13. DSTU ISO 1122-1:2006 Peredachi zubchasti. Slovny`k terminiv. Chasty`na 1. Vy`znachennya, shho stosuyut`sya geometriyi (ISO 1122-1:1998, IDT).
14. Cyganek, B. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms / B. Cyganek, J. Siebert // John Wiley & Sons, 2009. – R. 59-60, 194-196.

15. Ліцензійне програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro:  
<https://bimpartner.com.ua/recap-pro/>.

### Література

1. Маркова М, Кравченко Д. Застосування 3D фотограмметрії для обстеження об'єктів культурної спадщини // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2018, № 1. С.90-95.  
<http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/141162>
2. Акерман О., Бедрина Н. Застосування фотограмметрії в аудіовізуальному мистецтві (на прикладі ОПП “Реклама та відеоарт” у ХДАДМ) // Український журнал з мистецтва і дизайну. ХУДПРОМ, 2023, XXV(2). С.108-114.
3. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021 р. – 137 с.
4. Є. М. Іванов. Застосування фотограмметрії при зворотному проектуванні об'єктів машинобудівної галузі. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР.№1.С.52-57.2024  
<http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/301604>
5. Іванов Є.М. Міст та хмарні сервіси // Всеукраїнська наукова конференція «МОСТИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ». Присвяченої до 120-річчя від дня народження Володимира Олексійовича Російського», Харків, 7-8 грудня 2023 р.: Тези доповідей. Харків: ХНАДУ, 2023. С12-15.
6. Ванін В.В. Оформлення конструкторської документації: навч. посіб. / В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. - К.: Каравела, 2018. - 200 с.
7. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія: Підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. - Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2008. -332 с.
8. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія та дистанційне зондування: підручник / О. Л. Дорожинський; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2019. –Кн. 1. –176 с.: іл.
9. Пеньков В. О. Фотограмметрія: конспект лекцій для бакалаврів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / В. О. Пеньков; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 100 с.
10. Autodesk Inventor 2022 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator Paperback. Independently published, 2021. 235 p.
11. Banach Daniel T. Autodesk Inventor 2022 Essentials Plus / Daniel T. Banach, Travis Jones, Shawna Lockhart. – New York. 2021. – 550 p.
12. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2022: A Tutorial Introduction.SDC Publications, 2021. 490 p.
13. ДСТУ ISO 1122-1:2006 Передачі зубчасті. Словник термінів. Частина 1. Визначення, що стосуються геометрії (ISO 11221:1998, IDT).
14. Cyganek, B. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms / B. Cyganek, J. Siebert // John Wiley & Sons, 2009. – P. 59-60, 194-196.
15. Ліцензійне програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro:  
<https://bimpartner.com.ua/recap-pro/>.