

УДК 004.94: 72.025.4

Дунаєвський Є. Ю.¹, Дунаєвська А. В.², Тертичний А. А.³

¹ доктор філософії (PhD),
dunaevski.abs@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0003-4053-8000;

² доктор філософії (PhD),
dunaievskaabs@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0002-7876-0558;

³ кандидат технічних наук,
af.feihu89@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0001-7227-7445

*Кафедра Архітектури будівель та споруд
Одеська державна академія будівництва та архітектури*

АРХІТЕКТУРНА ФОТОГРАММЕТРІЯ, ЯК ІННОВАЦІЙНА СКЛАДОВА КОМПЛЕКСНОЇ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНИХ ФАХІВЦІВ АРХІТЕКТУРНОГО НАПРЯМКУ

© Дунаєвський Є. Ю., Дунаєвська А. В., Тертичний А. А., 2025

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.33.140-153>

Анотація: у статті представлений та проаналізований досвід впровадження нового освітнього компонента «Архітектурна фотограмметрія та комп'ютерне моделювання» для студентів першого рівня «Бакалавр». Дане дослідження наводить приклади теоретичного та практичного використання фотограмметричних методів, 3D-сканування внутрішніх та зовнішніх об'єктів, із використанням інших комп'ютерних технологій, що спрямовані для подальшого розвитку цифровізації культурної спадщини, консерваційних заходів, реставраційно-ремонтних рішень. Розглядаються теоретичні та практичні приклади фотограмметрії із залученням BIM-програм проєктування для подальшого тривимірного відтворення відсканованої моделі будинку, споруди або комплексу.

Стаття розкриває сутність нової освітньої програми, розглядає основні завдання курсу, виконуючі які, студент набуває фотограмметричних навичок та розвинутого розуміння проєктування, відтворення та моделювання складних форм й деталей. Студент, починаючи від сканування простих інтер'єрних предметів, елементів вуличних меблів й малих архітектурних форм, доходить до сканування, з подальшою розробкою креслень, фасадних частин будівель історичної спадщини міст. Стаття демонструє, що такий набір завдань надає студенту більший діапазон спеціалізованого інструментарію, та додаткові можливості розвитку 3D-моделювання й рендерінгу, а також знайомить з історичною спадщиною, що спонукає на подальшу ремонтно-реставраційну діяльність й відбудову країни.

Ключові слова: архітектурна фотограмметрія, комп'ютерне моделювання, освітня підготовка архітекторів, цифровізація архітектурної спадщини.

Вступ. Фотограмметрія, в цілому, як наука, займається визначенням таких характеристик об'єктів, як форма, розмір та розміщення в просторі, на базі їх фотографій. Із розвитком комп'ютерних технологій та вимог до отриманої інформації, методи фотограмметричних вимірювань набули

широкого спектру використання у таких галузях, як: картографія, геодезія, космографія, медицина, кінематограф, архітектура та інших. Архітектурна фотограмметрія складає окремий розгалужений сектор, який пройшов свій еволюційний процес від обмірів за фотографіями методом фотограмметричних засічок [1.ст. 18-22], до створення BIM-моделей будівлі будь-якого об'єму, шляхом сканування.

Фотограмметрія в архітектурі та містобудуванні, посідає важливе місце в цифровізації історичних пам'яток України, розглядає нові способи збереження, дослідження та популяризації культурної спадщини [2]. Збереження пам'яток архітектури в українських містах має високий ступінь актуальності, адже недбайливе ставлення до власного надбання, протягом останніх десятиріч, спричинило складну ситуацію для багатьох пам'яток культури. До, встановленого вище, аспекту актуальності, нажалі, додалася необхідність у відновленні тих пам'яток культурної спадщини України, які були пошкоджені, частково або повністю зруйновані в наслідок російсько-української війни. Загальна чисельність пошкоджених пам'яток культурної спадщини в Україні станом на кінець грудня 2024 року складає 1255 об'єктів. З них національного значення – 125, місцевого – 1055, щойно виявлених – 75. Пошкоджень зазнали пам'ятки культури у 18 областях та Києві, зокрема: у Харківській області – 324, Херсонській – 180, Донецькій – 164, Одеській – 137, Чернігівській – 65, Київській області та м. Києві – 83, Запорізькій – 57, Миколаївській – 44, Дніпропетровській – 49, Львівській – 60, Сумській – 33, Луганській – 32, Хмельницькій – 10, Полтавській – 6, Вінницькій та Житомирській – по 4, Кіровоградській – 2, Черкаській – 1. [3].

Руйнування культурної спадщини України в результаті війни, здійснили активний поштовх у розвитку використанні механізованих та дистанційних засобів на стадії дослідження об'єктів: фотограмметричні методи збору інформації та лазерне сканування. А також, активне залучення технологій на стадії опрацювання інформації і формування проєктної документації: опрацювання храми точок, відтворення моделі у BIM-програмах, створення 3D-турів та віртуальних експозицій і т.д.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В Україні на даний момент розвивається направлення фотограмметрії, 3D-сканування будівель та споруд, діджиталізація нерухомих пам'яток, серед діячів вирізняють: Громадську організацію «Skeiron» [4], яка спрямована на збереження та популяризацію культурної спадщини України через цифрові технології та імерсійні дослідження; Громадську організацію «Pixelated Realities» [5], одеська організація, створена у 2016 році, що займається безпосередньо цифровим збереженням культурної спадщини України, на їх рахунок близько 85 зацифрованих пам'яток, 2 сканування міст, 175 сканувань скульптур, монументів й пам'ятників тощо [6], [7]; громадську організацію «Україна Інкогніта» – київська організація, яка сформувалась у 2012 році. Основний напрямок діяльності направлений на створення найбільшого краєзнавчого порталу в Україні де була б змістовна інформація (візуальна та семантична) про усі пам'ятки природи та архітектури, про усі населені пункти, які мають туристично-краєзнавчу цінність для країни [8].

Серед останніх наукових досліджень в області сканування та фотограмметрії, можна виділити: стаття «Засоби та методи 3D-сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів» під авторством Товбича В.В. та Поповича Є.М., де розкривається питання 3D-сканування за допомогою наземних лазерних станцій, із подальшим моделюванням в САПР-програмах. У публікації автори стверджують, що даний метод надасть можливості створити фантомну базу відсканованих об'єктів для їх відтворення після звершення бойових дій в Україні, а також розвине нові технології для виконання реставраційних, ремонтних робіт [9].

Цікавим є дослідження Коцюбівської К. та Баранського С., де розглядається сукупність методів та технологій 3D-моделювання, цифрування об'єктів культурної спадщини фотограмметричними методами, особливо для фактичної реконструкції пам'яток історії та культури, таких як археологічні знахідки, тощо [10].

У 2019 році у Львові відбувся дискусійний форум «Синергія мистецтва, культури та технологій як джерело креативності та інновацій» участь в якому взяли 60 фахівців, результатом якого був розроблений оглядовий посібник «Європейський та український досвід використання цифрових технологій у сфері культури», в якому розглядаються: пріоритетні технології у секторі культурної спадщини; цифровізація спадщини як складова національної стратегії цифрового розвитку; базові світові системні підходи та нормативно-технологічні розробки щодо цифровізації в секторі спадщини тощо [11].

Дослідники Осипов С. та Осипов О. у своїй статті «Фотограмметричне моделювання технологій реставрації пам'яток архітектури», запевняють, що використання фотограмметричних технологій для моделювання технології будівельного виробництва, зокрема при реставрації пам'яток архітектури, де це найбільш доцільно, і в той же час найбільш відповідає вимогам часу, надасть інженерам-проектувальникам вивіреним механізм моделювання технології виконання будівельно-монтажних робіт на етапі прийняття проектних рішень, з одночасною можливістю візуалізації результату [12].

Існує декілька навчальних посібників «Фотограмметрія», серед яких: посібник 2021 року (Білоус В.В., Бондар С.П.), та 2019 року авторства Кочергіна Л.Ю. Якщо перший надає інформацію щодо фотограмметричних технологій, які можуть бути використані архітекторами, то в останньому випадку посібник призначений, виключно, для студентів спеціальності 193 «Гедезія та землеустрій».

Книга «Фотограмметрія та дистанційне зондування» авторства Купріяничук І.П., Бутенко Є.В. наводить відомості про теорію аналітичної фотограмметрії та розв'язання головних фотограмметричних завдань, що становлять основу цифрової фотограмметрії. Висвітлено питання цифрової обробки зображень, детально описано технологію цифрової фотограмметрії. Подано теоретичні аспекти космічної фотограмметрії, розглянуто сучасні підходи до дистанційного зондування поверхні Землі [13].

Відомий дослідник в даній області Дорожинський О.Л. публікує та розробляє посібники, науково-методичну літературу за темою наземного лазерного сканування (далі НЛС) та фотограмметрії. Серед них, можна виділити два навчальні посібники: «Фотограмметрія» 2008 року у співавторстві з Тукай Р., а також посібник «Наземне лазерне сканування в фотограмметрії» 2014 року, у яких широко розкриваються теми пов'язані із теорії та практики НЛС, доробку сучасних пристроїв для НЛС, готові цифрові моделі та їх обробка та редагування, програмні засоби для опрацювання даних НЛС [14], [15].

Наразі Харківська Школа Архітектури (ХША) разом з іншими зацікавленими громадськими організаціями («Skeiron»), активно займається проблематикою збереження спадщини, консервацією історичних будівель, фотограмметриєю та методами 3D-сканування, впроваджує це в освітній процес та готує як студентів і аспірантів, так і викладачів вищих навчальних закладів.

Незважаючи на те, що існує достатня кількість напрацювань, досліджень та практик, але досі дане направлення цілком не інтегроване в освітні компоненти для студентів-архітекторів у профільних вищих навчальних закладах, що може позитивно вплинути на розвиток реставраційної галузі не тільки в Південному регіоні а й у всій Україні.

Мета статті. Метою даного дослідження є розкриття такої інноваційної складової при підготовці фахівців архітектурного напрямку, як впровадження дисципліни «Архітектурна фотограмметрія і моделювання об'єктів». Викласти зміст основних практичних блоків освітнього компонента; та продемонструвати перші результати студентських робіт. Сформулювати висновки та перспективи впровадження таких інноваційних методик в освітній процес.

Виклад основного матеріалу. Починаючи з 2024 року студенти 4 курсу (бакалаври) на кафедрі Архітектури будівель та споруд (АХІ, ОДАБА) було прийнято рішення розробити освітній компонент в рамках дисципліни «Архітектурна фотограмметрія та комп'ютерне моделювання». Таке рішення, окрім важливого міждисциплінарного методу вивчення дисциплін для архітекторів, було обумовлене

новими викликами суцільної цифровізації пам'яток культури та історії для подальшого їх вивчення та відновлення, а також для майбутньої відбудови пошкоджених й зруйнованих будівель та споруд. Таке рішення про розширення освітніх компонентів, деяке ускладнення завдань, на нашу думку, є позитивним бо кожне завдання цього курсу («Архітектурної фотограмметрії та комп'ютерного моделювання»), про які мова буде йти далі в статті, можна використовувати і в інших архітектурно-проектних цілях, що в свою чергу, надають студенту ще більший спектр можливостей у пізнанні комп'ютерних технологій.

Програма дисципліни розрахована на всебічне та широке ознайомлення із теоретичним та практичним інструментарієм архітектурної фотограмметрії [16]. Серед основних програмних результатів можна виділити:

- Реалізація творчих задач за допомогою комп'ютерних програм;
- Опанування методики вибору інструментів та програмного забезпечення, відповідно до поставленого технічного завдання;
- Отримання навичок у володінні необхідного функціоналу спеціалізованих комп'ютерних програм та ряду мобільних застосунків для фотограмметрії та дистанційного 3D-сканування;
- Засвоєння засобів створення та оформлення проектної документації будівлі на основі відтворення по фотографії або використовуючи реконструйовану модель 3D-сканування.

В рамках графічної роботи студенти виконують *три блоки завдань*, кожний з яких направлений на опанування різних методик опрацювання отриманої інформації, використання різного технічного оснащення і програмного забезпечення. Розглянемо детальніше кожний з блоків та отриманий результат.

Перше завдання складається з двох частин, та представляє собою початкове ознайомлення із фотограмметричними методами відтворення моделі. В першій частині до опрацювання пропонується обрати будь який предмет інтер'єру, із врахуванням всіх вимог, це можуть бути: ваза, м'яка іграшка, статуетка, кімнатна рослина, скульптура або невеликі предмети інтер'єру й декору. Серед основних вимог до предметів можна виділити – відсутність скляних, дзеркальних та атласних текстур й матеріалів; доступність з усіх сторін для повноцінного сканування, а також присутність різних контрастних кольорів або текстур. Студенти досліджують правила зйомки, саме в умовах інтер'єру, експериментують із використанням природнього та штучного освітлення, а також створюють умови, наближені до студійної зйомки із однотонним фоном або будь яким патерном. Найкращий результат йде в подальше опрацювання задля створення 3D-моделі (рис. 1).



Рис 1. Поетапна робота в програмі Reality Capture та Blender на основі 3D-сканування

Друга частина першого завдання передбачає роботу в польових умовах із більш габаритним елементом – будь яким окремо розташованим тривимірним об'єктом образотворчого мистецтва. Вимоги до обраного об'єкта такі самі, як і в першій частині, це має бути скульптура, монумент, пам'ятник або фонтан та його комплекс, без присутності прозорих та дзеркальних елементів та із доступністю з усіх сторін. На прикладі першого завдання студенти ознайомлюються із основними параметрами та можливостями такого програмного забезпечення як: 3DF ZEPHYR та REALITY CAPTURE. Ознайомившись на базовому рівні із функціоналом кожної програми, студенти обирають одну з них для роботи над своїми об'єктами.

З вищевикладеного матеріалу видно, що рівень актуальності розвитку, саме дистанційної форми дослідження та отримання інформації, високий, так як може забезпечити доступ у важкодоступні місця без ризику для фахівців. Отже отримання студентами теоретичних та практичних навичок в напрямку фотограмметричних вимірювань – буде важливим аспектом професійної підготовки.

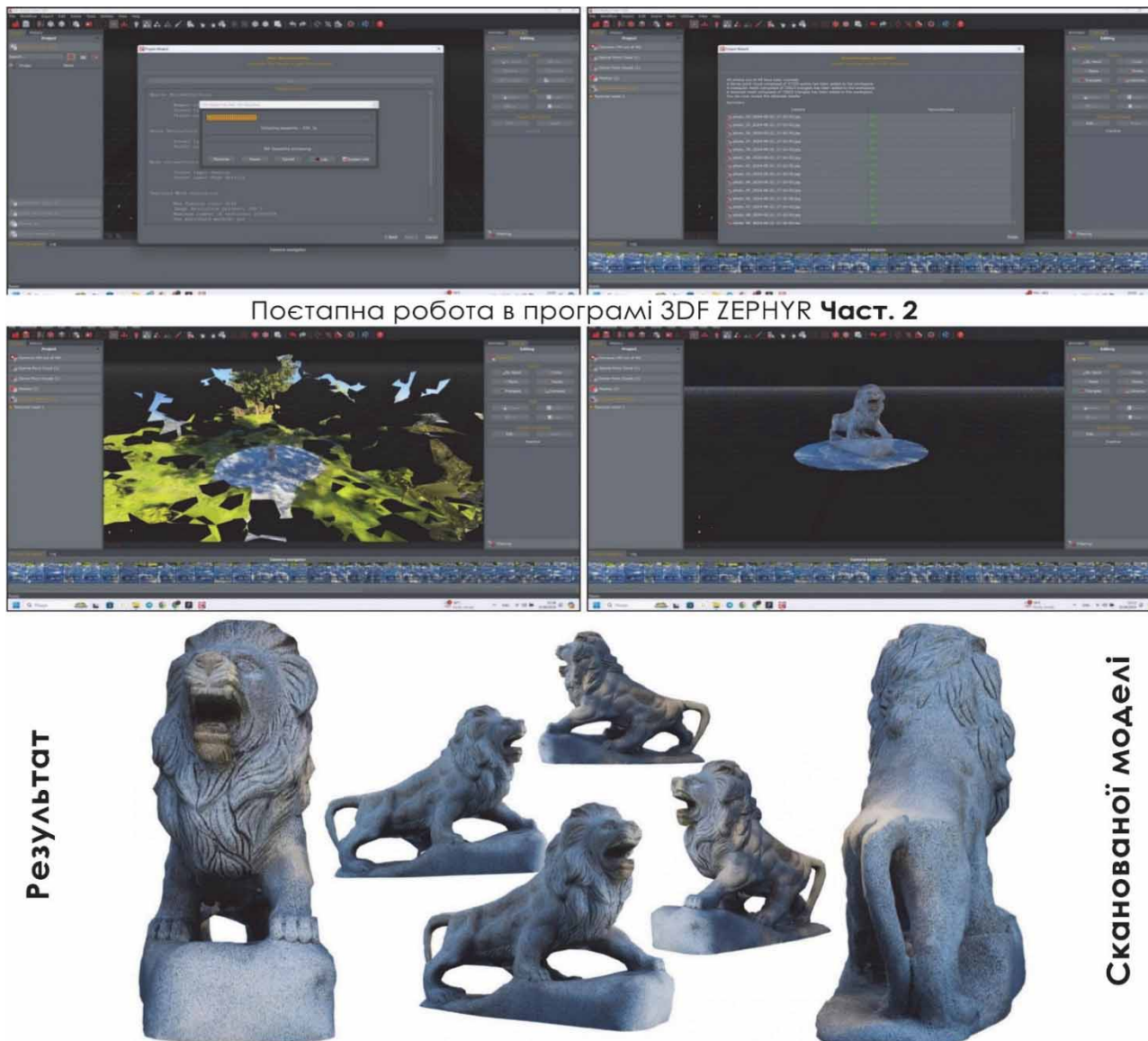


Рис 2. Поетапна робота в програмі 3DF Zephyr на основі 3D-сканування гранітної скульптури лева. Частина 2. Студентка гр. МБ-455 Бондар В.В.

Для опрацювання отриманої моделі викладається більш розширений функціональний інструментарій: поняття маскування, отриманої «хмари точок» (point cloud) та сітки (репотології) об'єкту в сцені; розуміння «обмежувальної рамки» для редагування «хмари точок»; інструменти

виділення та очищення, ручне редагування та видалення шуму у згенерованій «хмарі точок»; сіткова фільтрація редагування 3D моделі на прикладі всіх програм та ін. Після того як модель очищена від полігонального «сміття» генеруються розгортки та ретекстурування власних UV готової моделі задля експорту в інші програми моделювання та візуалізації.

Публікація результату сканування скульптурних елементів моделі. Фінальну модель завантажують на платформу Sketchfab PRO, яка дає можливість інтерактивного демонстрування. Отриману модель студенти представляють в якості 2D зображення а також відеозапису, закодованого в QR-code (рис. 2).

Друге завдання дозволяє студентам опанувати застосування методу 3D-сканування приміщення, такі вміння можуть знадобитися на будь-яких обмірах, в разі необхідності швидкого інтерактивного оцифрування, із можливістю використати для проектування робочих креслень архітектурного дизайн-проекту та розробки обмірного плану приміщень будь-якого простору.

Дане завдання надає навички фіксувати приміщення з різних ракурсів та отримувати об'ємні моделі в таких програмних засобах як Polycam, Scaniverse, Metascan, Pix4DCatch, Kiri Engine, при цьому використовуючи мобільні пристрої такі, як: смартфон, планшет та фотоапарат. Після того, коли студент обирає певне приміщення житлового, комерційного або рекреаційно-дозвілленого напрямлення – створює фотофіксацію всього об'єму обраного приміщення з підлоги до стелі. На рисунку 3 показані приклади результату такого сканування інтер'єрного простору із застосуванням програми для смартфонів на платформі Android та IOS (Apple) – Metascan (рис. 3).

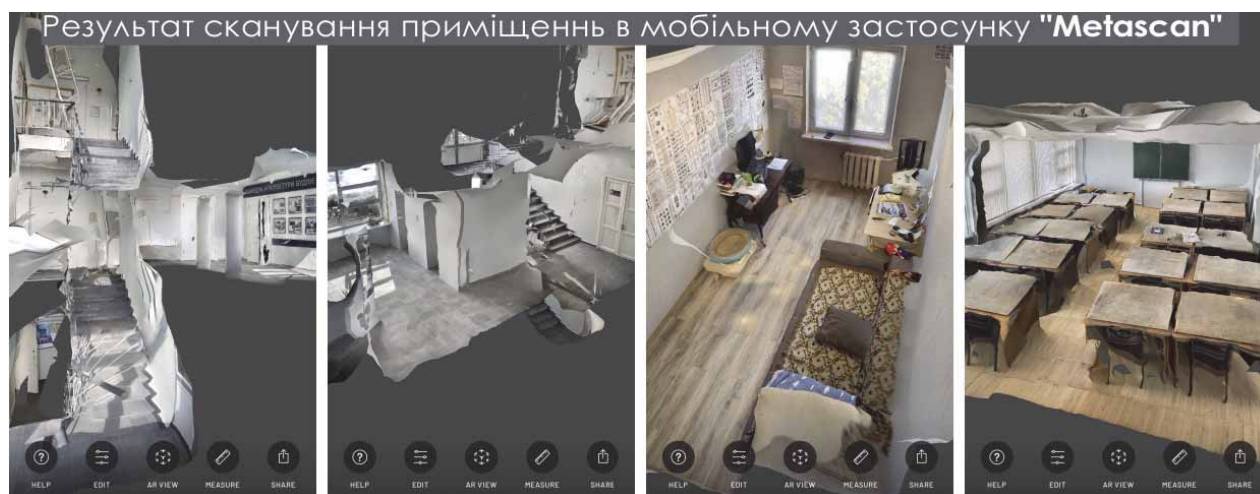


Рис 3. Результат сканування житлового приміщення, студентської аудиторії архітектурного проектування, ліфтового холу й сходової клітини. Виконали автори статті.

Після того, як було відскановане приміщення, приступаємо до етапу «рендерінгу», тобто, переходимо до процесу надання геометричній сітці – об'єму приміщення кольорової текстури. Кольоровий, відсканований об'єм експортується, враховуючи доступні формати файлу опису геометрії такі, як: OBJ, FBX, або GLTF, для того, щоб ці формати можна було б імпортувати в програми САПР, а саме: Graphisoft Archicad (далі Archicad) або Autodesk Revit (далі Revit) (рис. 4).



Рис 4. Результат сканування приміщення кухні в програмах для мобільного застосунку: Reality Scan, Polycam, Reality Capture. Студентка гр. ДАС-454 Домошей О.І.



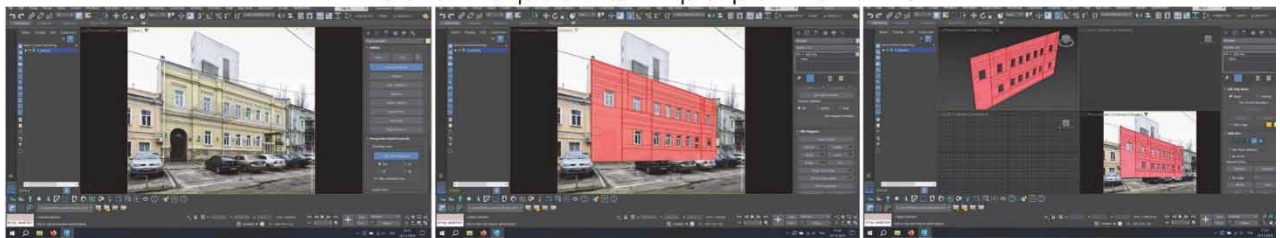
Рис 5. Процес відбудови приміщення кухні в програмі ArchiCAD на основі об'єму сканованої моделі. Студентка гр. ДАС-454 Домошей О.І.

Відсканований об'єм приміщення, що був експортований у BIM-програми, надалі використовується як основа для моделювання: стін, колон, перекриття, стелі, балок, віконних та дверних отворів, а також моделювання меблів у комп'ютерних програмах Revit або Archicad. Безпосередньо, внутрішніми засобами програмного забезпечення моделювання та проектування студент відтворює загальний об'єм відсканованого приміщення зі всіма його деталями та елементами, задля створення точної копії останнього для подальшого використання в проєктному сенсі (рис 5).

Третє завдання має значний об'єм виконання на що виділяється більше академічного часу для студента. Суть даної частини розробки графічної роботи включає в себе основну частину програмного моделювання, яке націлене на відтворення фасадної частини будівлі пам'ятника місцевого або національного значення. Студенти отримують поглиблені знання з використання BIM-програми Graphisoft Archicad, Reality Capture та Autodesk 3dsMax. Під час виконання даного завдання розглядається 2 методи відтворення, один із яких студент може вибрати для подальшого опрацювання та моделювання свого об'єкту (рис 6).

Перший метод: відтворення фасадної частини будівлі за допомогою однієї фотографії даної будівлі. Для цього використовується програма полігонального моделювання Autodesk 3Ds Max в якій демонструється метод «Perspective Match», задля формування правильного та виміряного масштабу й перспективного скорочення моделі фасаду по наявній фотографії. Альтернативна версія відтворення об'єму на основі фото виконується за допомогою такого програмного забезпечення, як: Blender (версії 4.2) + доповнення fSpy.

Поетапна робота в програмі 3Ds Max



Поетапна робота в програмі Archicad

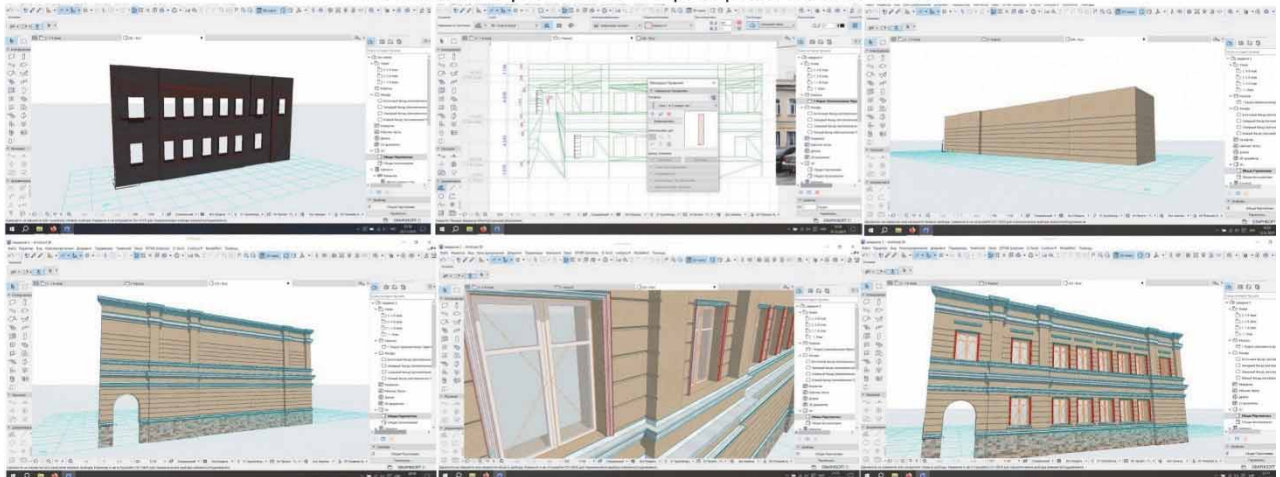


Рис 6. Процес відтворення фасадної частини будівлі за допомогою першого методу, використовуючи такі програмні забезпечення, як: Autodesk 3Ds Max та Graphisoft ArchiCAD.

Студентка гр. АБС-453 Хоменко А.Є.

Після цього виконується експорт об'єкта фасаду з основними габаритними розмірами розташування лінії карнизів, вікон, рустів, сандриків тощо, до BIM-програми. У BIM-програмі виконується детальне моделювання головного фасаду будівлі, зі всіма необхідними елементами, деталями, декорованими частинами пам'ятки.

Другий метод: На основі загальних відомостей та засобів фотограмметрії, а також основних рекомендацій щодо підготовки фотографій на ділянці об'єкту виконується детальна фотофіксація всіх елементів будівлі задля подальшого відтворення. Виконується підготовка та обробка фотографій для подальшої роботи в програмі Reality Capture (рис 7).

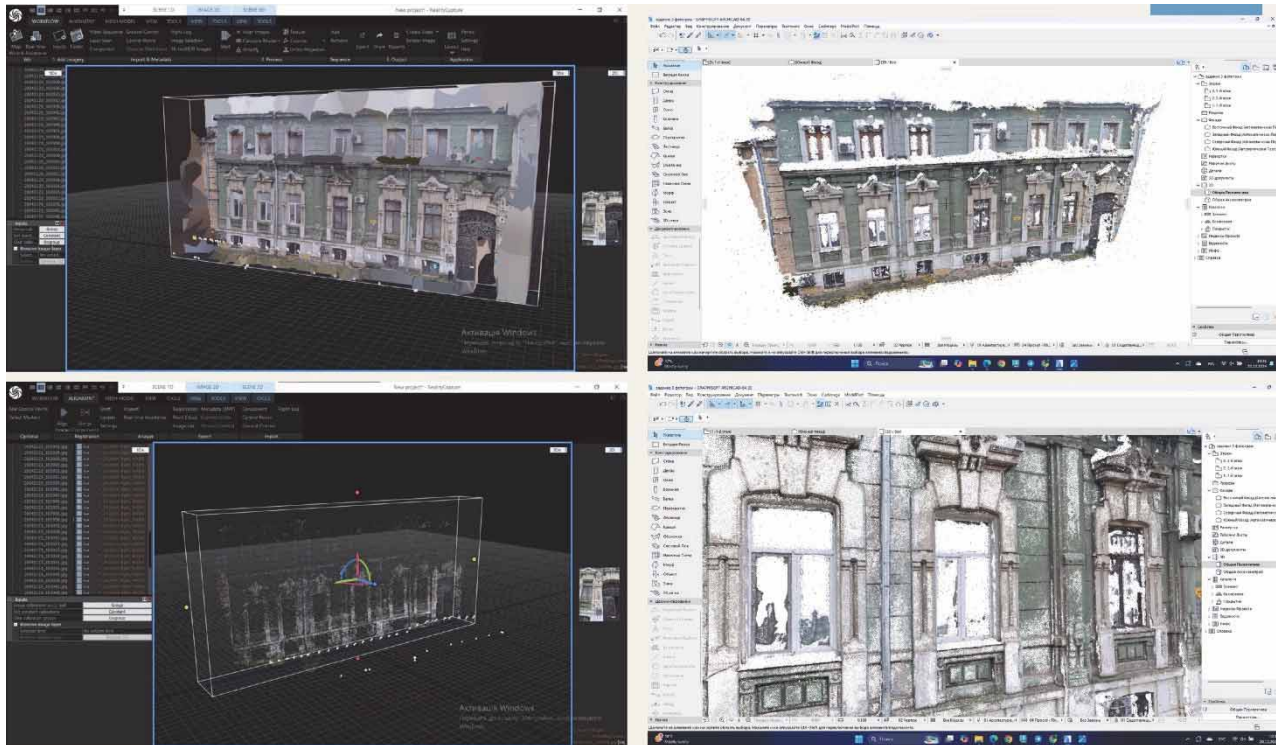


Рис 7. Процес відтворення фасадної частини будівлі за допомогою другого методу, використовуючи такі програмні забезпечення, як: Reality Capture та Graphisoft ArchiCAD.

Студентка гр. АБС-452 Кузіна О.Є.

Враховуючи основні методи та засоби програмного забезпечення Reality Capture завантажені фотографії вирівнюються «Alignment Images», задля формування кольорової «Point Cloud» об'єкту. Наступним етапом є створення полігональної сітки моделі об'єкту; перевірка дефектів топології сітки моделі; встановлення координат майбутньої текстури та самого текстуровання. Останнім етапом є підготовка отриманої текстурованої «хмари точок» до експорту в BIM-програму Graphisoft ArchiCAD у форматі «XYZ Point Cloud».

Як перший метод, так і другий метод передбачає створення тривимірної моделі фасаду будівлі у BIM програмі. В подібних програмних забезпеченнях, таких як: Revit або ArchiCAD, а сам процес моделювання складається з трьох рівнів складності.

Перший рівень: виконується основний об'єм будівлі, віконні та дверні отвори, пластика фасаду. На **другому рівні складності** моделюються такі види елементів фасаду, як: лиштва (віконні та дверні), сандрик, віконний карниз, підвіконні тафлі, фасадний карнизу й горизонтальні тяги, прямокутна та фігурна рустовка, різні види фризу (трифорій, віконий та аркатурний фризи, поребрик тощо), конхи, щипець та інші елементи.

Третій рівень складності моделювання передбачає методи створення складних елементів фасадного декору таких, як: ковані елементи/деталі, орнаментика, ліпнина (геометричний, фітоморфний, зооморфний). Фіналізація процесу моделювання всіх елементів фасаду будівлі, а також публікація всіх необхідних креслень фасадної частини будівлі на листах: оформлення плану (або фрагменту плану); розрізу по зовнішній стіні; перспективний або аксонометричний вид фасадної частини споруди (формування 3D-виду); візуалізація фасадної частини (рис. 8-9).

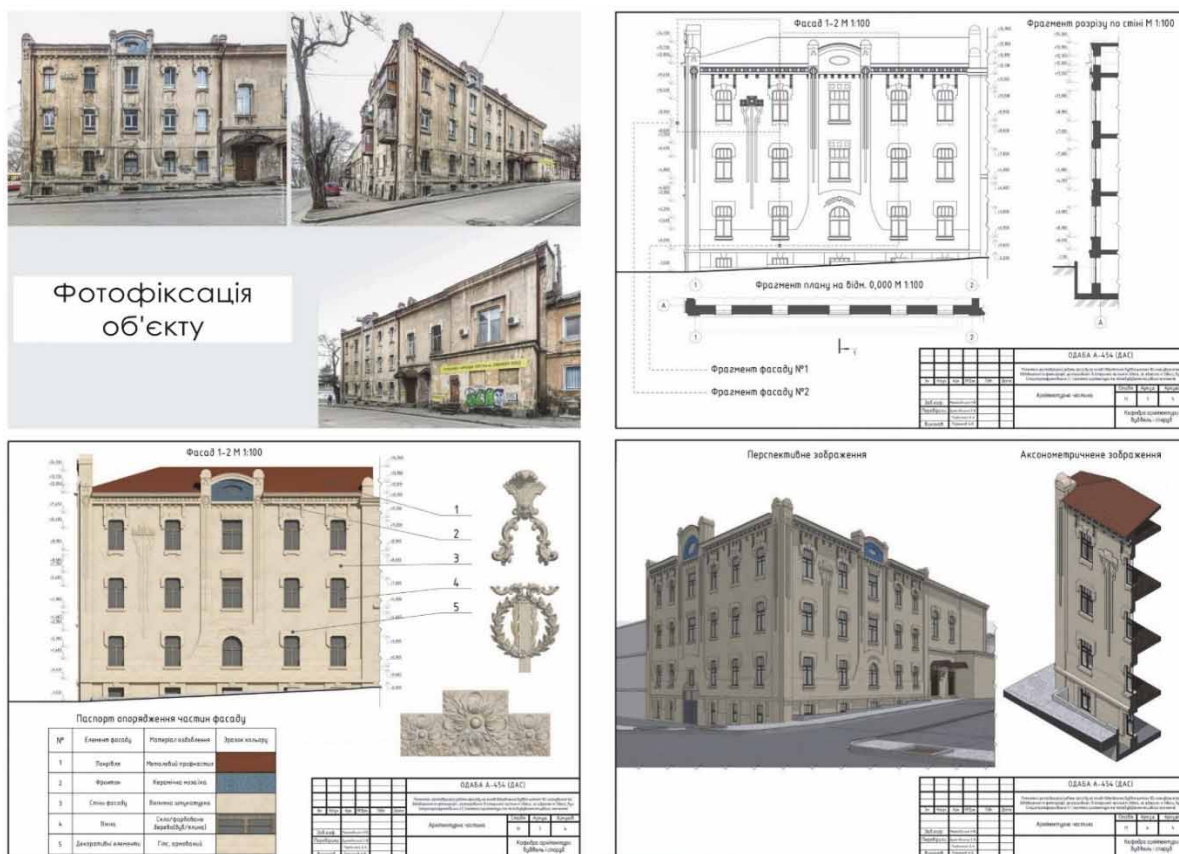


Рис 8. Процес відтворення фасадної частини будівлі використовуючи такі програмні забезпечення, як: Reality Capture та Graphisoft ArchiCAD. Студент гр. ДАС-454 Паршиков А.Ю.

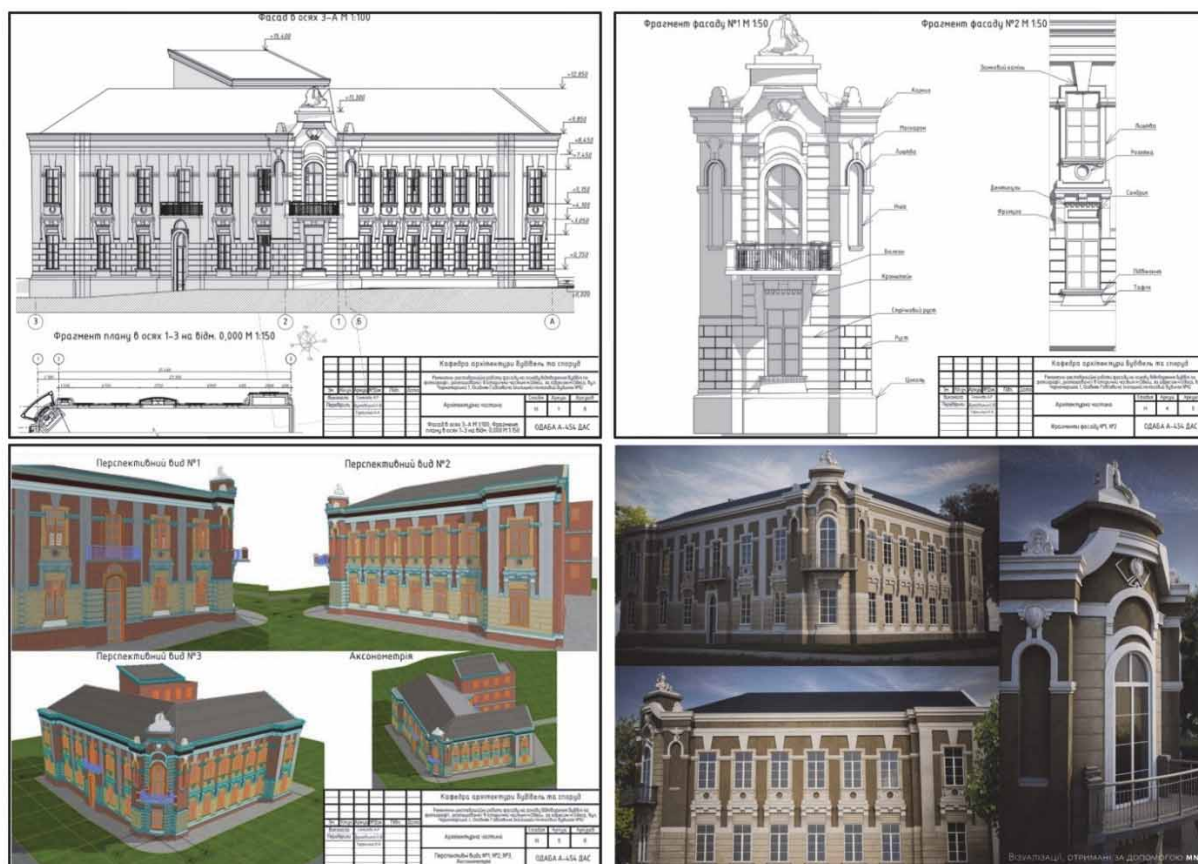


Рис 9. Процес відтворення фасадної частини будівлі використовуючи такі програмні забезпечення, як: та Graphisoft ArchiCAD, Twinmotion render, MNML AI. Студентка гр. ДАС-454 Семенова А.Р.

Як за правило, відскановані оптичними або лазерними методами предмети інтер'єру та екстер'єру, не кажучи вже про ті частини фасаду, які необхідно відтворити в потрібному масштабі, наприклад, частини архітраву, капітелі, віконних або дверних отворів у будь-якому разі потребують доопрацювання геометрії та поверхні у перерахованих вище програмах 3D-візуалізації.

Так само як Blender, 3Ds Max має продуманий розділ з інструментами «скульптингу», він дає змогу значно доопрацьовувати (remesh) і видозмінювати (reconfigure the geometry) наявні моделі, що зазвичай відбувається безпосередньо перед самим друком.

Заключним етапом створення курсової роботи це можливість кращим роботам студентів, передусім третього завдання, роздрукувати тривимірну модель фасадної частини будівлі на 3D-принтері. Сучасний 3D-принтер вже має низку функцій для досягнення найкращого результату: власне програмне забезпечення для персонального комп'ютера та мобільного пристрою дає змогу задавати й коригувати процес роботи, а автоматичне подавання філоменту (PLA, ABS, PETG), додає комфорту та надійності.

Програмне забезпечення для друку залежить від марки та виробника 3D-принтера. Програма Makerbot призначена для лінійки 3D-принтерів FLASHFORGE Creator. Заздалегідь підготовлена модель завантажується в Stl-форматі, після чого їй присвоюється ім'я латиницею, додатково задається масштаб у Makerbot. Обраний масштаб залежить від габаритів платформи конкретної моделі принтера і зазвичай обирається саме М 1:100 ÷ М 1:500 з відступом від кожного краю мінімум в 1.5 см. Після всіх вихідних налаштувань файл експортується на SD карту у форматі x3g. Карту поміщають у спеціальний слот 3D-принтера., поверхня знежирюється, починається друк (рис. 10).

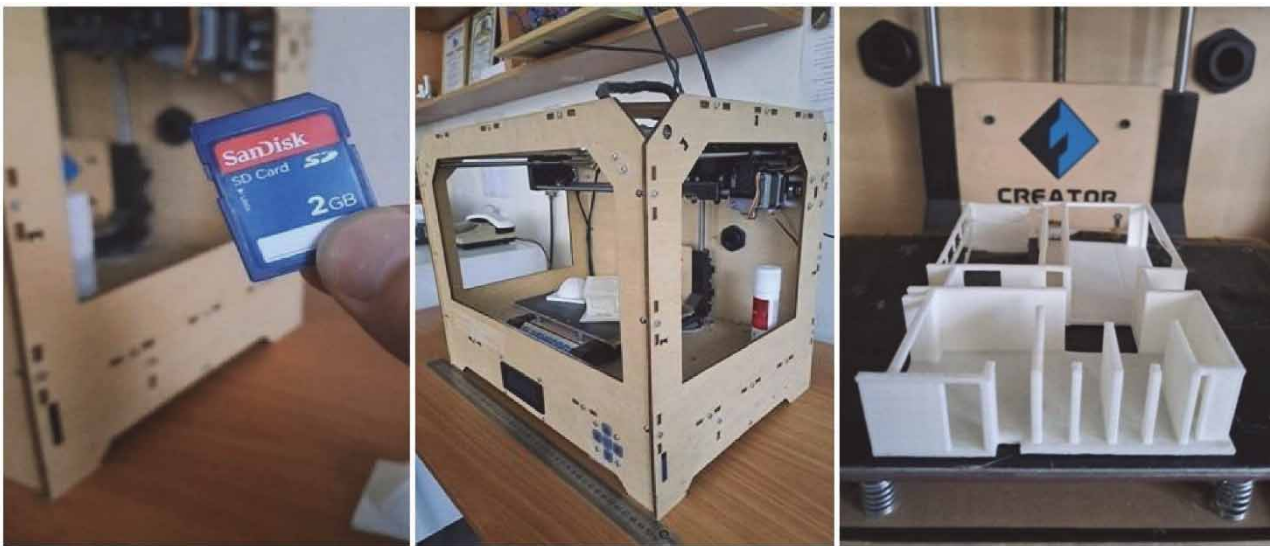


Рис 10. 3D-принтер FLASHFORGE Creator. Макетна лабораторія кафедри Архітектури будівель та споруд, АХІ (ОДАБА), (фото авторів)

Також треба зазначити, що окрім практичних занять, освітній компонент передбачає лекційний курс, що складається із 12 секцій. На даних лекційних заняттях студенти мають можливість прослуховувати наступні теми: основні поняття, історія виникнення та розвитку фотограмметрії в цілому, застосування предмету в різних галузях; розкривається тема архітектурної фотограмметрії, її класифікація сфери застосування в архітектурній галузі, здійснюється огляд проєктів із використанням фотограмметрії, цифрові камери та особливості зйомки для фотограмметрії; розробка та виконання проєкту, що включає фотограмметричну зйомку та створення тривимірної моделі архітектурного об'єкта; переваги методів архітектурної фотограмметрії над методами вимірювання та дослідження об'єктів; методика фотограмметричного моделювання технологій реставрації пам'яток архітектури та

містобудування; моделювання археологічних об'єктів засобами фотограмметрії; поняття «хмара точок», я результат лазерного сканування; програмні забезпечення обробки даних та присторії наземного лазерного сканування (НЛС); космічна картографія, геоінформаційні системи, аерофотограмметрія та дистанційне зондування, тощо.

Висновки. Стрімкі зміни сьогодення в Україні та виклики потребують пошуку нових форм взаємодії між фахівцями та українською моделлю відновлення та збереження архітектурної спадщини. Наукові дослідження в даному питанні дуже важливі та потребують ще більшої уваги та підтримки з боку громадськості, соціальних груп та місцевої влади населених пунктів, міст й всієї країни.

Курс «Архітектурна фотограмметрія та комп'ютерне моделювання», розроблений задля розуміння базових принципів роботи з програмами реконструкції сканованої моделі; формування розгортки та ретекстурування власних UV з готової сканованої моделі; оптимізація хмари точок та моделі; основні інструменти, модифікатори та методи редагування; експорт відсканованої моделі інтер'єру та екстер'єру для подальшого відтворення та опрацювання в BIM-програмах; публікація результату сканування в інтернет-ресурсах; створення проєктної документації на основі відтворення за фотографією або використовуючи реконструйовану модель 3D-сканування. Особливо останнє, третє завдання курсу, яке пов'язане з роботою із пам'яткою архітектури та історії, надає можливість дослідити та виявити проблематику будівля, з точки зору її архітектурно-художнього рішення, архітектурної пластики та декорування; відтворити існуючі та втрачені форми споруди та надати свої пропозиції щодо реставраційних заходів. Даний курс, окрім ширшого розвитку та набуття технічних навичок при використанні програм моделювання та проєктування, має на меті виховувати у студента дбайливе ставлення до історичної спадщини, до її збереження та відтворення/відновлення.

Бібліографія

Дорожинський О.Л., Тукай Р. 2008. Фотограмметрія. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». С. 18-22.

Дунаєвський Є.Ю., 2024. Архітектурна фотограмметрія, як інноваційна складова підготовки фахівців архітектурного напрямку. *Матеріали XXIX Міжнародної науково-методичної конференції «Управління якістю підготовки фахівців»*. С. 22-23.

Ministry of Culture and Strategic Communications of Ukraine. URL: <https://mcsc.gov.ua/news/1085-obyektiv-kulturnoyi-spadshhyny-postrazhdaly-v-ukrayini-cherez-rosijskuagresiyu/> (дата звернення: 03.02.2025).

Skeiron. URL: <https://skeiron.com.ua/explore/objects/> (дата звернення: 12.02.2025).

Pixelated Realities. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/> (дата звернення: 12.02.2025).

Довідник зі збереження культурної спадщини Одеси. Як себе поводити в історичному міському середовищі. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/eu4culture/dovidnyk-spadscshyny-odesa/> (дата звернення: 23.02.2025).

Стратегія культурного розвитку Одеси 2025 – 2035. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/eu4culture/odesa-culture-roadmap/> (дата звернення: 23.02.2025).

Ukraine Incognito. URL: <https://ukrainaincognita.com/pro-nas> (дата звернення: 11.02.2025).

Товбич В.В., Попович Є.М., 2023. Засоби та методи 3D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Випуск 67. С. 372-381.

Коцюбівська К.І., Баранський С.В., 2020. 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*. Том 3, Вип. №1. С. 59-68.

Баркова О., Кульчицький І., 2019. Європейський та український досвід використання цифрових технологій у сфері культури. *Аналітичний огляд та пропозиції на основі матеріалів дискусійного*

форуму «Синергія мистецтва, культури та технологій як джерело креативності та інновацій». С. 12-28.

Осипов С., Осипов О., 2021. Фотограмметричне моделювання технологій реставрації пам'яток архітектури. *Norwegian Journal of development of the International Science*. Вип. 58. С. 42 – 49.

Купріянич І.П., Бутенко Є.В., 2013. Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів. Київ: МВЦ «Медінформ», 329 с.

Дорожинський О.Л., 2014. Наземне лазерне сканування в фотограмметрії. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 96 с.

Дорожинський О.Л., Тукай Р., 2008. Фотограмметрія: Підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 332 с.

Тертичний А.А., 2025. Фотограмметрія як інноваційна складова в освіті. Матеріали 81-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії. С. 81.

References

Dorozhyns'kyi O.L., Tukay R. 2008. Fotogrammetriya. L'viv: Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «L'vivs'ka politehnika». S. 18-22

Dunayevs'kyi YE.YU., 2024. Arkhitekturna fotogrammetriya, yak innovatsiyna skladova pidhotovky fakhivtsiv arkhitekturnoho napryamku. Materialy KHKHIKH Mizhnarodnoyi naukovo-metodychnoyi konferentsiyi «Upravlinnya yakystyu pidhotovky fakhivtsiv». S. 22-23

Ministry of Culture and Strategic Communications of Ukraine. URL: <https://mcsc.gov.ua/news/1085-obyektiv-kulturnoyi-spadshhyny-postrazhdaly-v-ukrayini-cherez-rosijskuagresiyu/> (data zvernennya: 03.02.2025).

Skeiron. URL: <https://skeiron.com.ua/explore/objects/> (data zvernennya: 12.02.2025).

Pixelated Realities. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/> (data zvernennya: 12.02.2025).

Dovidnyk zi zberezheniya kul'turnoyi spadshchyny Odesy. Yak sebe povodyty v istorychnomu mis'komu seredovyschi. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/eu4culture/dovidnyk-spadschyny-odesa/> (data zvernennya: 23.02.2025).

Stratehiya kul'turnoho rozvytku Odesy 2025 – 2035. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/eu4culture/odesa-culture-roadmap/> (data zvernennya: 23.02.2025).

Ukraine Incognito. URL: <https://ukrainaincognita.com/pro-nas> (data zvernennya: 11.02.2025).

Tovbych V.V., Popovych YE.M., 2023. Zasoby ta metody 3D skanuvannya dlya stvorenniya fantomnykh modeley arkhitekturnykh ob'yektiv. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Vypusk 67. S. 372-381.

Kotsyubivs'ka K.I., Barans'kyi S.V., 2020. 3D-modelyuvannya pry vidnovleni istoryko-kul'turnykh tsinnostey. Tsyfrova platforma: informatsiyni tekhnolohiyi v sotsiokul'turniy sferi. Tom 3, Vyp. №1. S. 59-68.

Barkova O., Kul'chyts'kyi I., 2019. Yevropeys'kyi ta ukrayins'kyi dosvid vykorystannya tsyfrovyykh tekhnolohiy u sferi kul'tury. Analitychnyy ohlyad ta propozyziyi na osnovi materialiv dyskusiynoho forumu «Synerhiya mystetstva, kul'tury ta tekhnolohiy yak dzherelo kreatyvnosti ta innovatsiy». S. 12-28.

Osypov S., Osypov O., 2021. Fotogrammetrychne modelyuvannya tekhnolohiy restavratsiyi pam'yatok arkhitektury. *Norwegian Journal of development of the International Science*. Vyp. 58. S. 42-49.

Kupriyanchyk I.P., Butenko YE.V., 2013. Fotogrammetriya ta dystantsiynе zonduvannya: navch. posibnyk dlya stud. vyshch. navch. zakladiv. Kyiv: MVTS «Medinform», 329 s.

Dorozhyns'kyi O.L., 2014. Nazemne lazerne skanuvannya v fotogrammetriyi. L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politehniki. 96 s.

Dorozhyns'kyi O.L., Tukay R., 2008. Fotogrammetriya: Pidruchnyk. L'viv: Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «L'vivs'ka politehnika». 332 s.

Tertychnyy A.A., 2025. Fotogrammetriya yak innovatsiyna skladova v osviti. Materialy 81-yi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi profesors'ko-vykladats'koho skladu akademiyi. S. 81.

Yevhen Dunaevskiy ¹, Anzhelica Dunaievska ², Andrii Tertychnyi ³

¹ PhD,

dunaevski.abs@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0003-4053-8000

² PhD,

dunaievskaaabs@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0002-7876-0558;

³ Doctor of Engineering Sci.,

af.feihu89@odaba.edu.ua
orcid.org/0000-0001-7227-7445

Department of Architecture of Buildings and Structures
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY AS AN INNOVATIVE COMPONENT OF COMPREHENSIVE TRAINING OF MODERN SPECIALISTS IN THE FIELD OF ARCHITECTURE

© Dunaevskiy Ye., Dunaievska A., Tertychnyi A., 2025

Abstract: The article presents and analyzes the experience of implementing a new educational component “Architectural Photogrammetry and Computer Modeling” for first-level bachelor's students. This study provides examples of theoretical and practical use of photogrammetric methods, 3D scanning of interior and exterior volumes, with the use of other computer technologies aimed at further development of digitalization of cultural heritage, conservation measures, restoration and repair solutions. The article discusses theoretical and practical examples of photogrammetry using BIM design programs for further three-dimensional reproduction of a scanned model of a building, structure or complex.

The article reveals the essence of the new educational program, discusses the main tasks of the course, which help students acquire photogrammetric skills and a developed understanding of designing, reproducing, and modeling complex shapes and details. Starting from scanning simple interior objects, elements of street furniture, and small architectural forms, the student progresses to scanning, with the subsequent development of drawings, the facades of buildings of the historical heritage of cities. The article demonstrates that such a set of tasks provides the student with a wider range of specialized tools and additional opportunities for the development of 3D modeling and rendering, as well as introduces the historical heritage, which encourages further repair and restoration activities and the reconstruction of the country.

Keywords: Architectural photogrammetry, computer modeling, educational training of architects, digitalization of architectural heritage.