

МІНІСТЕРСТВО КУЛЬТУРИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ОБРАЗОТВОРЧОГО МИСТЕЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

Кафедра техніки та реставрації творів мистецтва

На правах рукопису

ТАРАНЕНКО ІННА ДАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістра
на тему

**ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВІРТУАЛЬНІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ
ВТРАЧЕНИХ ФРАГМЕНТІВ ЖИВОПИСУ ТА
ПОЛІХРОМНОЇ СКУЛЬПТУРИ**

Спеціальність 023 – Образотворче мистецтво,
декоративне мистецтво, реставрація

Науковий керівник:

Тимченко Тетяна Ростиславівна,
кандидат мистецтвознавства

Рецензент:

Нестеренко Петро Володимирович
кандидат мистецтвознавства

Дипломна робота допущена до захисту перед ДЕК рішенням кафедри
техніки та реставрації творів мистецтва

Протокол № _____ від « _____ » _____ 2026 р.

Завідувач кафедри, доцент _____ Тимченко Т. Р.

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Тараненко І-Д. В. Цифрові технології у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 023 «Образотворче мистецтво, декоративне мистецтво, реставрація». – Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури. – Київ, 2026.

Робота присвячена використанню цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури.

Мета магістерської дипломної роботи полягає у вивченні, опрацюванні та систематизації наукових відомостей щодо застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. У роботі охарактеризовано основні теоретичні засади віртуальної реконструкції як допоміжного інструменту реставраційної діяльності, простежено еволюцію використання цифрових методів у мистецтвознавчих і реставраційних дослідженнях.

Проаналізовано вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, присвячені проблемам збереження, атрибуції та презентації об'єктів культурної спадщини з використанням цифрових технологій. Особливу увагу приділено принципам наукової обґрунтованості, етичним аспектам віртуальної реконструкції, а також питанням візуального відокремлення реконструйованих елементів від автентичної частини твору.

На прикладі обраних творів живопису та поліхромної скульптури розглянуто основні етапи віртуальної реконструкції втрачених фрагментів, проведено іконографічний і стилістичний аналіз, здійснено зіставлення з аналогічними пам'ятками. Висвітлено можливості застосування графічних редакторів, 3D-моделювання, фотограмметрії та цифрової обробки зображень у процесі наукової реконструкції.

У результаті дослідження визначено, що використання цифрових технологій сприяє мінімізації фізичного втручання в оригінал, підвищує точність прогнозування реставраційних рішень та розширює можливості наукової візуалізації й презентації пам'яток, що є важливим для подальшої атрибуції та реставрації творів мистецтва.

Ключові слова: віртуальна реконструкція, цифрові технології, реставрація, атрибуція, живопис, поліхромна скульптура, культурна спадщина, 3D-моделювання, фотограмметрія.

SUMMARY

Taranenko I-D. V. Digital technologies in the virtual reconstruction of lost fragments of painting and polychrome sculpture. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Work for a master's degree in specialty 023 «Fine Arts, Decorative Arts, Restoration». – National Academy of Fine Arts and Architecture. – Kyiv, 2026.

The aim of the master's thesis is to study, analyze, and systematize scholarly information on the application of digital technologies in the virtual reconstruction of lost fragments of painting and polychrome sculpture. The research outlines the main theoretical foundations of virtual reconstruction as an auxiliary tool in conservation practice and traces the development of digital methods in art historical and conservation studies.

Domestic and international academic publications addressing issues of preservation, attribution, and presentation of cultural heritage objects through digital technologies are analyzed. Particular attention is paid to the principles of scientific validity and the ethical aspects of virtual reconstruction, as well as to the visual differentiation between reconstructed elements and the authentic parts of an artwork.

Using selected examples of painting and polychrome sculpture, the thesis examines the main stages of virtual reconstruction of lost fragments, including

iconographic and stylistic analysis and comparative study with analogous works. The possibilities of applying graphic editors, 3D modeling, photogrammetry, and digital image processing in the process of scholarly reconstruction are highlighted.

As a result of the study, it is determined that the use of digital technologies contributes to minimizing physical intervention in the original material, increases the accuracy of forecasting conservation decisions, and expands the possibilities of scientific visualization and presentation of artworks, which is essential for their further attribution and conservation.

Keywords: virtual reconstruction, digital technologies, conservation, attribution, painting, polychrome sculpture, cultural heritage, 3D modeling, photogrammetry.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1. Історіографія та джерельна база дослідження.....	16
1.2. Теоретико-методологічні основи дослідження.....	20
Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТВОРІВ ЖИВОПИСУ ТА ПОЛІХРОМНОЇ СКУЛЬПТУРИ	
2.1. Передумови виникнення та розвитку віртуальної реконструкції у реставраційній практиці.....	24
2.2. Принципи та методи віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури.....	27
2.3. Цифрові технології та інструменти, що застосовуються у віртуальній реконструкції.....	33
Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІРТУАЛЬНІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ ВТРАЧЕНИХ ФРАГМЕНТІВ ЖИВОПИСУ ТА ПОЛІХРОМНОЇ СКУЛЬПТУРИ	44
3.1. Методологія проведення віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва.....	44
3.2. Віртуальна реконструкція втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури.....	51
Висновки до розділу 3.....	59
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	66
ДОДАТКИ	71

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена рядом проблем, що склалися у світовій реставраційній музейній практиці, що викликані необхідністю висвітлення питань збереження та реконструкції культурної спадщини, яка набуває особливого значення у зв'язку з активним впровадженням цифрових технологій у науково-дослідну практику. На сьогодні проблема втрати або пошкодження пам'яток живопису та поліхромної скульптури є однією з найактуальніших, тому що саме ці об'єкти є найуразливішими до руйнування внаслідок природних, техногенних і воєнних факторів. Водночас традиційні методи реставрації не завжди дають змогу відновити повноцінний образ твору, що зумовлює потребу у використанні новітніх цифрових інструментів.

Актуальними також є методики проведення досліджень, пов'язаних з проблемою інтеграції цифрових технологій у галузь мистецтвознавства та реставрації. На початковому етапі дослідження нас зацікавило питання, як цифрові методи можуть забезпечити науково обґрунтовану реконструкцію втрачених фрагментів мистецьких творів, не спотворюючи їх автентичності. У сучасних умовах особливе значення набуває використання технологій 3D моделювання, фотограмметрії, лазерного сканування, а також алгоритмів машинного навчання для точного відтворення живописних шарів та пластики скульптур.

Звернення до теми віртуальної реконструкції є вихідним моментом у розробці нового науково-практичного підходу до збереження художніх цінностей. Новий аспект досліджень у цій галузі представлений працями, присвяченими реставрації пам'яток із застосуванням сучасних цифрових технологій, однак більшість робіт розглядає це питання фрагментарно, без урахування мистецтвознавчого та естетичного аспектів. Привертають увагу роботи, у яких цифрові технології розглядаються переважно як інструмент

технічної візуалізації, тоді як комплексна взаємодія художніх і технологічних принципів залишається недостатньо вивченою.

Вищезазвані дослідження, незважаючи на відмінність підходів, становлять інтерес у плані використовуваних методів, проте, як і раніше, актуальною залишається проблема створення єдиної системи наукової реконструкції, що поєднувала б аналіз, моделювання та художню інтерпретацію. Не можна не помітити, що при удаваній багатоаспектності досліджень багато механізмів цифрового відтворення залишаються недостатньо вивченими, особливо у сфері реставрації поліхромної скульптури.

У цьому зв'язку особливе значення набуває розробка ефективних шляхів поєднання цифрових технологій з традиційними реставраційними практиками. У світлі нових завдань культурної політики України, зокрема в умовах воєнних руйнувань культурних об'єктів, актуальність теми посилюється необхідністю оперативного фіксування, збереження та віртуального відновлення втрачених творів мистецтва. Глибокий та всебічний розгляд різних аспектів цифрової реконструкції міститься в сучасних дослідженнях з цифрової гуманітаристики, однак вони переважно орієнтовані на західний досвід, тоді як національний контекст залишається недостатньо представленим.

Питання цифрової реконструкції перебуває у фокусі уваги дослідників через поєднання технічного, естетичного та історико-культурного вимірів. Принципово нові рішення проблеми дає міждисциплінарний підхід, який передбачає співпрацю мистецтвознавців, реставраторів, інженерів та фахівців з комп'ютерної графіки. Дослідження у цьому напрямку сприяють формуванню нової парадигми у сфері збереження культурної спадщини — переходу від пасивного зберігання артефактів до активної цифрової реконструкції та репрезентації їх у віртуальному середовищі.

Таким чином, актуальність теми дослідження полягає у тому, що вона відповідає сучасним тенденціям розвитку наукових, технологічних і культурних процесів. Виявлені протиріччя між високим потенціалом цифрових технологій і недостатньою теоретичною розробленістю методів їх застосування у реставраційній практиці зумовлюють потребу у подальшому дослідженні проблеми.

Отже, тема дослідження є своєчасною, науково й соціально значущою, оскільки спрямована на вирішення важливої культурної проблеми збереження національної ідентичності через сучасні технологічні підходи до реконструкції втрачених об'єктів мистецтва.

Мета дослідження – провести науковий аналіз, обґрунтування та систематизацію підходів до застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури з метою підвищення ефективності реставраційних і атрибуційних рішень та мінімізації втручання в автентичну основу твору.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено виконання таких **завдань дослідження**:

1. проаналізувати стан наукової розробки проблеми віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва у вітчизняних та зарубіжних публікаціях;
2. визначити та охарактеризувати основні поняття і терміни, пов'язані з цифровою реконструкцією, реставрацією та атрибуцією творів живопису і поліхромної скульптури;
3. дослідити можливості та обмеження застосування сучасних цифрових технологій, зокрема графічних редакторів, 3D-моделювання, фотограмметрії та цифрової обробки зображень, у реставраційній практиці;

4. проаналізувати етичні та методологічні принципи віртуальної реконструкції, зокрема питання наукового обґрунтування та візуального відокремлення реконструйованих елементів від автентичної частини твору;
5. узагальнити результати дослідження та визначити практичну доцільність використання цифрових технологій у процесі реставрації, атрибуції та наукової презентації пам'яток мистецтва.

Об'єкт дослідження – твори станкового живопису та дерев'яної поліхромної скульптури.

Предмет дослідження – цифрові та інформаційно-комунікаційні технології, що застосовуються у процесі віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури з метою наукового аналізу, візуалізації, атрибуції та обґрунтування реставраційних рішень у сфері консервації та реставрації творів мистецтва.

Хронологічні межі дослідження охоплюють період від другої половини XX століття до початку XXI століття, що зумовлено активним розвитком та впровадженням цифрових й інформаційно-комунікаційних технологій у сферу реставрації, консервації та віртуальної реконструкції творів живопису й поліхромної скульптури. У межах дослідження також залучено окремі мистецькі пам'ятки більш ранніх історичних періодів як об'єкти аналізу та віртуальної реконструкції, що не впливає на загальні хронологічні рамки наукової роботи.

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження стали принципи історизму, наукової достовірності та комплексності, а також мистецтвознавчі й реставраційні підходи до вивчення та збереження творів образотворчого мистецтва. У роботі застосовано загальнонаукові теоретичні, емпіричні та спеціальні, конкретно-наукові методи дослідження, зокрема:

- аксіологічний метод – для визначення художньої, історичної та культурної цінності досліджуваних творів живопису та поліхромної скульптури;

- евристичний метод – з метою виявлення можливостей використання цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів та пошуку оптимальних реконструктивних рішень;

- метод теоретичних узагальнень – для систематизації результатів дослідження, узагальнення наукових положень і формулювання висновків;

- історичний метод – для визначення еволюції підходів до реконструкції та реставрації творів живопису й поліхромної скульптури;

історико-порівняльний (компаративний) метод – для зіставлення досліджуваних об'єктів із аналогічними пам'ятками, а також для аналізу стилістичних та іконографічних відповідників втрачених фрагментів;

- культурологічний метод – для опрацювання етичних, естетичних і світоглядних аспектів використання віртуальної реконструкції у науково-реставраційній практиці;

- техніко-технологічні та експериментальні методи – для аналізу матеріально-технічного стану творів, а також для апробації цифрових інструментів у процесі віртуальної реконструкції;

- метод мистецтвознавчого аналізу – для опрацювання наукової, мистецтвознавчої, реставраційної та методичної літератури, а також для аналізу композиції, колористики, пластики форм і декору творів живопису та поліхромної скульптури;

- іконографічно-іконологічний метод – для вивчення сюжетів, образів, символіки та смислового наповнення досліджуваних творів з метою науково обґрунтованої віртуальної реконструкції їх втрачених фрагментів.

Теоретичну базу дослідження становлять:

– міжнародні конвенції, хартії та декларації у сфері охорони культурної спадщини, а також етичні кодекси реставраторів (ЕССО, ICOM, ICOM-CC [32 – 34]), що визначають принципи збереження, наукової реконструкції, автентичності та візуального розмежування оригіналу й реконструйованих елементів;

– наукові дослідження у сфері теорії та практики реставрації живопису й поліхромної скульптури, зокрема праці, присвячені проблемам консервації, атрибуції та реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва (монографія М. Марінколи та Л.Каржер [2]; дисертація А.Р. Миколайчук [4]);

– публікації зарубіжних дослідників, що сформували теоретичні та методологічні засади **віртуальної реставрації** та **віртуальної реконструкції** об'єктів культурної спадщини, зокрема праці Е. Pietroni та D. Ferdani [25], у яких розглянуто концептуальні відмінності між *virtual restoration* і *virtual reconstruction* та їхнє значення для науково-реставраційної практики;

– наукові огляди, присвячені застосуванню цифрових методів і технологій у реконструкції та візуалізації поліхромії, зокрема дослідження Е. Siotto, Р. Cignoni [27], Р. Leronés [15], F. Horn [14], Y. Tong [28] та інших авторів, у яких проаналізовано використання 3D-моделювання, цифрової реконструкції кольору, текстур і поверхонь поліхромних об'єктів;

– праці, що висвітлюють практичні кейси віртуальної реконструкції живопису та поліхромної скульптури як інструменту наукового аналізу, навчання та презентації культурної спадщини (М. Carrozzino, С. Evangelista et al. [11], S. Dumazet [13], J. McCarthy [16] та ін.);

– систематичні огляди та узагальнюючі дослідження, присвячені сучасному стану та перспективам розвитку 3D-віртуальних реконструкцій у сфері культурної спадщини (В. Rodriguez-García [26] та ін.), які дозволяють оцінити тенденції, проблеми та потенціал цифрових технологій у реставраційній діяльності;

– наукові праці з питань цифрової документації, збереження та візуалізації культурної спадщини, зокрема дослідження, узагальнені у виданнях під редакцією L. MacDonald [17], що становлять теоретичне підґрунтя застосування сучасних цифрових інструментів у реставрації та віртуальній реконструкції.

Джерельну (речову) базу дослідження дослідження склали речові (натурні) зразки творів живопису та поліхромної скульптури з музейних та приватних колекцій.

Наукова новизна отриманих результатів виведена в наступних позиціях.

Уперше:

– теоретично узагальнено сучасні наукові підходи до віртуальної реставрації та віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису й поліхромної скульптури на основі досліджень міжнародного досвіду;

– здійснено порівняльний аналіз принципів віртуальної реконструкції та практичних методів наукової реставрації творів живопису й поліхромної скульптури, які застосовуються у музеях України та зарубіжній реставраційній практиці;

– розроблено рекомендації, які дозволяють проводити віртуальну реконструкцію втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури з урахуванням іконографічних аналогій, стилістичних відповідників і етичних принципів наукової обґрунтованості;

– уведено до наукового обігу результати віртуальної реконструкції втрачених фрагментів обраних творів живопису та поліхромної скульптури, що раніше не були предметом спеціального цифрового дослідження.

Набуло подальшого розвитку:

– висвітлення ролі цифрових та інформаційно-комунікаційних технологій у процесі дослідження, збереження та презентації творів образотворчого мистецтва;

– встановлення культурної значимості віртуальної реконструкції як інструменту актуалізації та інтерпретації об’єктів культурної спадщини;

– удосконалення методичних підходів до застосування 3D-моделювання, фотограмметрії та цифрової обробки зображень у науково-реставраційній діяльності;

– обґрунтування доцільності використання віртуальної реконструкції для прогнозування реставраційних рішень і мінімізації фізичного втручання в оригінал.

Уточнено:

– термінологічні та концептуальні відмінності між поняттями «віртуальна реставрація» та «віртуальна реконструкція» у контексті збереження творів живопису та поліхромної скульптури.

Поглиблено:

– наукове розуміння етичних і методологічних принципів віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва;

– систематизацію цифрових методів реконструкції живопису та поліхромної скульптури за технологічними ознаками та функціональним призначенням;

– взаємозв’язок віртуальної реконструкції з різними галузями наук (історії, культурології, музеєзнавства, етики, естетики, фізики, хімії та іншими), які спрямовані на вирішення важливих соціокультурних завдань у сфері збереження культурної спадщини.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що сформульовані у роботі положення можуть бути використані в галузі теорії та практики мистецтвознавства, реставрації та консервації творів

образотворчого мистецтва; одержані результати й висновки можуть бути застосовані для наукового обґрунтування віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури, проведення мистецтвознавчої експертизи, атрибуції й аналізу стану збереженості пам'яток мистецтва; відомості, наведені у тексті та додатках магістерської роботи, можуть бути використані в музейній та реставраційній практиці при науковій обробці колекцій, документуванні та візуалізації об'єктів культурної спадщини, підготовці виставок і мультимедійних експозицій, а також для прогнозування та обґрунтування реставраційних рішень із метою мінімізації фізичного втручання в автентичну основу твору; матеріали дослідження можуть бути застосовані під час розробки навчально-методичного забезпечення освітнього процесу для закладів культури та мистецької освіти, у підготовці навчальних, довідково-інформаційних і науково-популярних видань з культурології, мистецтвознавства та реставрації, а також у практичній діяльності художників-реставраторів, музейних працівників, дослідників і викладачів. Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів для створення методичних рекомендацій, освітніх програм, а також для розробки цифрових архівів і баз даних, що забезпечуватимуть фіксацію та збереження мистецької спадщини України.

Особистий внесок здобувача. Дослідження є самостійною роботою, здійсненою в галузі застосування цифрових та інформаційно-комунікаційних технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. Висновки та положення, що мають наукову новизну та практичне значення, ґрунтуються на результатах, отриманих автором у процесі дослідження самостійно.

Апробації результатів магістерської роботи. Основні положення магістерської роботи обговорювались на Міжнародній науковій конференції

Тринадцяті читання пам'яті академіка Платона Білецького (НАОМА, 29 листопада 2025 року):

Тараненко І.-Д. «Аналіз збереження творів живопису в умовах воєнного конфлікту: превентивна реставрація і евакуація. Досвід України». Тринадцяті Платонівські читання пам'яті академіка Платона Білецького (1922-1998). Тези доп. Міжнар. наукової конференції. К., 2025. С. 213 – 214.

Структура та обсяг роботи. Дослідження складається з анотації (українською й англійською мовами), списку публікацій, переліку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (38 позицій), у тому числі іноземними мовами, та трьох додатків, що містять фотографії та схеми.

Повний обсяг кваліфікаційної роботи — 84 сторінки, з них основного тексту — 61 сторінка.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Історіографія та джерельна база дослідження

Теоретичний аналіз **історіографії** показує, що проблема застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури розглядалася досить широко в сучасному міжнародному науковому дискурсі. У той же час цілий ряд методичних питань, пов'язаних із науковим обґрунтуванням реконструктивних рішень, етичними аспектами віртуальної реконструкції та візуальним відокремленням реконструйованих фрагментів від автентичної частини твору, залишаються недостатньо розробленими. До цих питань, перш за все, слід віднести визначення меж допустимої реконструкції, ступінь інтерпретаційної свободи дослідника та стандарти верифікації цифрових результатів (E. Pietroni, D. Ferdani [25]; B. Rodriguez-García [26] та ін.).

Актуальність дослідження визначається необхідністю більш глибокого вивчення шляхів використання цифрових та інформаційно-комунікаційних технологій у сфері збереження, дослідження й презентації об'єктів культурної спадщини. У зв'язку з розвитком теорії digital heritage та цифрової гуманітаристики відчувається необхідність у вивченні питань методології віртуальної реставрації та віртуальної реконструкції творів мистецтва (L. MacDonald [17]; E. Pietroni, D. Ferdani [25]).

Багато досліджень було присвячено питанню віртуальної реставрації та реконструкції об'єктів культурної спадщини. Цій проблемі присвячені роботи E. Pietroni та D. Ferdani [25], у яких розглянуто концептуальні відмінності між поняттями «virtual restoration» і «virtual reconstruction», а також їх значення для

сучасної реставраційної практики. У науковій літературі є ряд досліджень, присвячених аналізу цифрових методів реконструкції поліхромії та поверхні скульптурних об'єктів (E. Siotto, P. Cignoni [27], P. Lerones [15], F. Horn [14], Y. Tong [28]). Про це свідчать праці M. Carrozzino, C. Evangelista [11], S. Dumazet [13], J. McCarthy [16], у яких віртуальна реконструкція живопису та поліхромної скульптури розглядається як інструмент наукового аналізу, навчання та музейної презентації. На необхідність спеціального вивчення цієї проблеми вказується в дослідженнях В. Rodriguez-García та ін. [26], де наголошується на відсутності уніфікованих методологічних підходів до 3D-віртуальних реконструкцій у сфері культурної спадщини.

Натомість у роботах закордонних вчених, таких як E. Pietroni у співавторстві з D. Ferdani, розглядаються питання теоретичних засад віртуальної реконструкції, критерії наукової обґрунтованості та роль цифрових технологій у сучасній реставрації. Так, автори у своїй праці *Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage* [25] звертають увагу на необхідність чіткого розмежування між реконструкцією та інтерпретацією, а також на етичну відповідальність дослідника за цифрові візуалізації.

E. Siotto та P. Cignoni у роботі *Digital methods and techniques to reconstruct and visualize 3D ancient polychromy* [27] розкривають цифрову реконструкцію поліхромії як міждисциплінарний процес, що поєднує мистецтвознавчий аналіз, матеріалознавчі дослідження та комп'ютерну графіку. Автори виходять з того, що реконструкція кольору й текстури повинна ґрунтуватися на верифікованих даних і бути чітко відокремленою від гіпотетичних припущень.

Питання про межі допустимої віртуальної реконструкції залишається проблематичним. Одні фахівці (P. Lerones [15], F. Horn [14]) схиляються до максимально повного візуального відтворення первісного вигляду пам'ятки, інші (E. Pietroni [25], В. Rodriguez-García [26]) наголошують на необхідності

мінімізації реконструктивного втручання та збереження візуальної «читабельності» автентичної частини об'єкта.

Ряд дослідників (Y. Tong [28], J. McCarthy [16], S. Dumazet [13]) розглядають цифрову реконструкцію як інструмент прогнозування реставраційних рішень і мінімізації фізичного втручання в оригінал. У процитованих вище роботах не завжди розглядалося питання про необхідність адаптації цих методів до конкретних музейних і реставраційних практик окремих країн, зокрема України.

Теоретичний аналіз літератури дозволяє виділити перспективний напрям розробки: поєднання віртуальної реконструкції з іконографічним, стилістичним і техніко-технологічним аналізом у межах єдиної методологічної моделі.

Перераховані дослідження є серйозним внеском у розвиток теорії віртуальної реставрації та цифрової реконструкції, проте, як і раніше, актуальною є проблема методичної стандартизації, етичної регламентації та інтеграції цифрових технологій у практику реставрації живопису й поліхромної скульптури.

Відаючи належне тому, що було зроблено попередниками, ми тим не менше вважаємо, що комплексне дослідження цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури з урахуванням українського контексту є своєчасним і науково обґрунтованим.

Таким чином, ретроспективний аналіз досліджень, присвячених розробці проблеми віртуальної реконструкції у сфері культурної спадщини, дозволяє зробити наступні висновки: проблема є актуальною, міждисциплінарною та методологічно незавершеною, що зумовлює необхідність її подальшого наукового опрацювання.

Джерельну базу дослідження склали речові (натурні) зразки творів живопису та поліхромної скульптури з державних та приватних музейних колекцій.

У ході збору матеріалу було опрацьовано сайти та електронні бази даних, де міститься інформація про твори станкового живопису та поліхромної скульптури з частковими втратами авторського ґрунту й фарбового шару, а також основи. До об'єктів дослідження увійшли окремі ікони, живописні твори та скульптурні пам'ятки різних епох, що перебувають у фондowych зібраннях і експозиціях [29; 31; 35; 36; 38].

Не менш важливим джерелом для вивчення можливостей віртуальної реконструкції стали цифрові матеріали міжнародних і вітчизняних музейних платформ, зокрема 3D-моделі, високоякісні фотозображення та результати цифрової документації об'єктів культурної спадщини [29 – 31; 35; 36].

Загальна інформація про експонати (техніка виконання, розміри, стан збереженості, час і джерело надходження, сюжети зображених композицій, у деяких випадках — свідчення про час і спосіб проведеної реставрації) отримана з електронних каталогів [30; 36; 38].

У ході роботи додатково було проаналізовано вітчизняні та зарубіжні спеціальні видання з реставрації [2; 3], цифрової гуманітаристики та digital heritage [4; 8 – 10; 17; 18; 22; 23; 24; 26], посібники й підручники, де розглянуто техніко-технологічні аспекти живопису й поліхромної скульптури [1; 2; 6; 7], а також каталоги музейних колекцій [30; 36; 38]. Весь знайдений візуальний і натурний матеріал було розглянуто з точки зору можливості його використання для науково обґрунтованої віртуальної реконструкції.

Також було опрацьовано численні сторінки міжнародної комп'ютерної мережі Internet, де викладено актуальну інформацію про цифрові методи реконструкції, 3D-моделювання, фотограмметрію та віртуальну реставрацію, яка постійно оновлюється [28; 29; 36; 37].

Надзвичайно цінні приклади віртуальної реконструкції та цифрової візуалізації виявлено в інформації про вітчизняні й закордонні музейні зібрання, а також у наукових проєктах і публікаціях зарубіжних дослідників (E. Pietroni [25], E. Siotto [27], Y. Tong [28], P. Leronés [15], M. Carrozzino [11], S. Dumazet [13], J. McCarthy [16] та ін.).

Отже, у результаті проведеного аналізу джерельної бази, у тому числі візуальних і натурних (речових) джерел, було виявлено першоджерела для наукового обґрунтування віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури, а також для розробки методичних рекомендацій щодо застосування цифрових технологій у реставраційній практиці.

1.2. Теоретико-методологічні основи дослідження

Теоретико-методологічна основа дослідження побудована на поєднанні прийомів мистецтвознавчого, реставраційного, культурологічного та міждисциплінарного аналізу, а також методів цифрової гуманітаристики. У роботі використано загальнонаукові, спеціальні та конкретно-наукові методи дослідження.

Для виявлення міжпредметних зв'язків у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури застосовувалися аксіологічний (ціннісний) та евристичний методи, що простежуються у працях E. Pietroni, D. Ferdani [25], B. Rodriguez-García [26]. Загальні методологічні питання віртуальної реставрації та реконструкції представлені у працях E. Pietroni, D. Ferdani [25], L. MacDonald [17], E. Siotto, P. Cignoni [27], де науково обґрунтовано принципи digital heritage, межі допустимої реконструкції та етичну відповідальність дослідника.

Роботи зазначених та інших (P. Lerones [15], F. Horn [14], Y. Tong [28]) авторів виявилися корисними для формування методологічних підходів до реконструкції поліхромії, текстури та поверхні творів мистецтва. Опис здійснених досліджень і формулювання висновків передбачали застосування методу теоретичних узагальнень, за допомогою якого було проаналізовано розвиток цифрових методів реконструкції у сфері реставрації живопису та поліхромної скульптури.

У процесі визначення еволюції підходів до віртуальної реконструкції використовувався історичний метод. З метою аргументованого викладу основних положень роботи застосовано порівняльно-типологічний метод розгляду художньо-стильових і технологічних особливостей творів. Важливим теоретичним підґрунтям для опрацювання етичних та естетичних проблем віртуальної реконструкції стали міжнародні хартії та рекомендації Е.С.С.О., ICOM і ICOM-CC [32 – 34].

Важливою складовою дослідження є експеримент як емпіричний метод, застосований для перевірки гіпотез шляхом створення пробних віртуальних реконструкцій. Спеціальні методи використовувалися при аналізі стану збереженості творів, втрат живописного шару та поліхромного декору, а також при створенні 3D-моделей і цифрових реконструкцій.

Таким чином, проблеми віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури доцільно розглядати з позиції комплексної методології, що поєднує мистецтвознавчий, реставраційний і цифровий підходи.

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу історіографічної, теоретичної та методологічної бази дослідження встановлено, що проблема застосування цифрових

технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури є актуальною, міждисциплінарною та перебуває у стадії активного наукового розвитку. Історіографічний огляд засвідчив наявність значної кількості зарубіжних досліджень, присвячених віртуальній реставрації та реконструкції об'єктів культурної спадщини, у яких розглянуто концептуальні, методологічні та технологічні аспекти цифрової реконструкції.

Водночас встановлено недостатню розробленість цієї проблематики в українському науковому дискурсі, особливо щодо комплексного застосування віртуальної реконструкції саме до втрат живопису та поліхромної скульптури в контексті музейної й реставраційної практики України.

Аналіз теоретичної бази дослідження дозволив визначити основні концептуальні засади віртуальної реконструкції як допоміжного інструменту наукової реставрації, зокрема, принципи наукової обґрунтованості, верифікованості, етичної відповідальності дослідника та візуального відокремлення реконструйованих фрагментів від автентичної частини твору. Встановлено, що віртуальна реконструкція не може розглядатися як заміна реставраційного втручання, а також має функціонувати як інструмент прогнозування реставраційних рішень, наукової візуалізації та інтерпретації втрат. Теоретичні положення цифрової гуманітаристики та концепції digital heritage утворюють методологічне підґрунтя для інтеграції цифрових технологій у сферу збереження культурної спадщини.

У процесі аналізу теоретико-методологічних аспектів дослідження з'ясовано, що найбільш доцільним є застосування комплексної методології, яка поєднує мистецтвознавчі, реставраційні, культурологічні та цифрові підходи. Обґрунтовано необхідність використання аксіологічного, евристичного, історичного, порівняльно-типологічного, іконографічно-іконологічного методів, а також методів мистецтвознавчого аналізу, теоретичних узагальнень і експериментальних цифрових реконструкцій.

Визначено, що поєднання цих методів забезпечує наукову вірогідність результатів, дозволяє мінімізувати суб'єктивність інтерпретацій та підвищує точність візуального відтворення втрачених фрагментів.

Таким чином, проведений аналіз історіографічної, теоретичної та методологічної бази підтверджує доцільність і наукову обґрунтованість обраної теми дослідження. Сформована методологічна модель віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури створює підґрунтя для подальшого практичного застосування цифрових технологій у реставраційній діяльності, що буде реалізовано в наступних розділах магістерської роботи.

РОЗДІЛ 2

ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТВОРІВ ЖИВОПИСУ ТА ПОЛІХРОМНОЇ СКУЛЬПТУРИ

2.1. Передумови виникнення та розвитку віртуальної реконструкції у реставраційній практиці

Розвиток віртуальної реконструкції у сфері реставрації та збереження культурної спадщини безпосередньо пов'язаний із процесами цифровізації гуманітарних наук, формуванням концепції digital heritage та активним впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій у музейну й реставраційну практику наприкінці ХХ — на початку ХХІ століття. Поява цифрових методів документації, комп'ютерної графіки, 3D-моделювання та цифрової обробки зображень створила передумови для нового етапу розвитку наукової реставрації, у межах якого віртуальна реконструкція почала розглядатися як допоміжний інструмент дослідження, аналізу та інтерпретації пам'яток мистецтва.

У вітчизняному науковому середовищі питання використання сучасних технологій у реставраційній діяльності почали активно розроблятися у контексті мистецтвознавчої експертизи, техніко-технологічного дослідження творів мистецтва та цифрової документації музейних предметів. Значний внесок у розвиток методологічних підходів до техніко-технологічного аналізу та атрибуції творів мистецтва зробили О. Калашникова [1], Т. Тимченко [7] та інші дослідники. У їхніх працях розглядаються проблеми наукової реставрації, документування стану збереженості пам'яток, методів мистецтвознавчого аналізу та використання сучасних технологій у процесі дослідження творів мистецтва.

Важливим етапом у розвитку цифрових методів дослідження пам'яток мистецтва стало впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у практику превентивної консервації та реставрації. У дисертаційному дослідженні А. Р. Миколайчук *«Превентивна консервація та реставрація творів станкового живопису: використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій»* (2024) [4] зазначається, що сучасні цифрові технології значно розширили можливості фіксації, аналізу та інтерпретації творів мистецтва. Авторка наголошує, що традиційні методи дослідження, зокрема рентгенографія, інфрачервона та ультрафіолетова зйомка, стратиграфічний аналіз і рентгенофлуоресцентні дослідження, отримали нові можливості завдяки цифровій обробці зображень та автоматизованому аналізу даних.

Однією з передумов виникнення віртуальної реконструкції стало вдосконалення методів цифрової візуалізації та тривимірного моделювання. Як зазначає А. Р. Миколайчук, застосування лазерного та оптичного сканування дозволяє створювати високоточні цифрові моделі творів мистецтва, які передають фактуру поверхні, колір, особливості живописного шару та найдрібніші пошкодження пам'ятки. У вітчизняній реставраційній практиці подібні методи почали використовуватись у процесі цифрової документації музейних предметів, створення електронних архівів і візуалізації пошкоджених пам'яток.

Проблеми наукового обґрунтування реконструктивних рішень та меж допустимого втручання в структуру твору висвітлювалися у працях українських дослідників з теорії реставрації та мистецтвознавчої експертизи. Зокрема, О.Калашнікова [1] та Т.Тимченко [2] наголошували на необхідності комплексного підходу до дослідження пам'ятки, який поєднує мистецтвознавчий, техніко-технологічний і культурологічний аналіз. Подібний підхід став важливим методологічним підґрунтям для розвитку

цифрової реконструкції, оскільки віртуальне відтворення втрат також потребує наукової верифікації та ґрунтується на іконографічних, стилістичних і технологічних аналогіях.

Подальший розвиток цифрових методів реконструкції пов'язаний із дослідженнями поліхромії та кольорового шару творів мистецтва. У роботі E. Siotto та P. Cignoni *Digital methods and techniques to reconstruct and visualize 3D ancient polychromy* (2024) [27] наголошується, що реконструкція поліхромії є міждисциплінарним процесом, який поєднує мистецтвознавчий аналіз, матеріалознавчі дослідження та комп'ютерні технології. Значна увага приділяється використанню фотограмметрії, 3D-моделювання та цифрового сканування як інструментів наукової візуалізації.

Практичні аспекти цифрової реконструкції поліхромної скульптури висвітлюються у роботах Y. Tong, Y. Cai, A. Nevin та співавторів [28], присвячених цифровому відновленню кольору й текстури скульптурних пам'яток із застосуванням спектрального аналізу, цифрової фотографії та комп'ютерного моделювання. Аналогічні підходи використовуються і в сучасній українській практиці реставраційного дослідження, де цифрові технології дедалі частіше застосовуються для фіксації стану збереженості та візуалізації реконструктивних припущень.

Важливим напрямом розвитку цифрової реконструкції стало застосування технологій штучного інтелекту та комп'ютерного бачення. У дисертації А. Р. Миколайчук [4] розглядається використання алгоритмів аналізу зображень для виявлення втрат, класифікації пошкоджень та аналізу структури живописного шару. Особливе значення має дослідження *Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old Paintings* (2020), виконане за участю українських науковців [23], у якому запропоновано використання методів сегментації зображення для визначення площі втрат живопису.

Важливу роль у розвитку цифрових технологій у сфері реставрації відіграли міжнародні міждисциплінарні проекти, присвячені дослідженню та цифровій документації пам'яток мистецтва. У роботі А. Р. Миколайчук [4] згадуються проекти *Closer to Van Eyck: Rediscovering the Ghent Altarpiece* [29], *Operation Night Watch* та *Art-ICT* [36], у межах яких застосовувалися методи мультиспектральної візуалізації, цифрового сканування та комп'ютерного аналізу зображень. Результати цих проєктів продемонстрували можливості цифрових технологій у процесах виявлення авторських змін, прихованих шарів живопису та реконструкції пошкоджених фрагментів.

Окрему увагу сучасні дослідники приділяють етичним аспектам цифрової реконструкції. У вітчизняних дослідженнях із теорії реставрації наголошується, що будь-яке реконструктивне втручання повинно бути науково обґрунтованим, мінімальним і візуально відокремленим від автентичної частини твору. Подібні принципи лежать і в основі віртуальної реконструкції, яка дозволяє переносити реконструктивні процеси у цифрове середовище без прямого втручання в структуру пам'ятки.

Отже, виникнення та розвиток віртуальної реконструкції у реставраційній практиці стали результатом інтеграції цифрових технологій у сферу дослідження, документування та збереження культурної спадщини. Аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових праць засвідчує, що віртуальна реконструкція поступово перетворюється на важливий інструмент наукової реставрації, який забезпечує можливість дослідження, інтерпретації та візуального відтворення втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури без прямого втручання в автентичну матерію твору.

2.2 Принципи та методи віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури

Віртуальна реконструкція втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури формується на перетині мистецтвознавчого аналізу, реставраційної методології та цифрових технологій. Її завданням є не довільне «домальовування» втрачених частин, а створення науково аргументованої моделі можливого первісного вигляду твору. Саме тому віртуальна реконструкція має спиратися на комплекс джерел: збережені фрагменти пам'ятки, результати техніко-технологічного дослідження, іконографічні та стилістичні аналогії, архівні матеріали, фотодокументацію, музейні описи й сучасні цифрові методи візуалізації.

Одним із головних принципів віртуальної реконструкції є наукова обґрунтованість. Вона передбачає, що кожне реконструктивне рішення повинно мати дослідницьке підґрунтя і бути пов'язане з конкретними даними про твір. У цьому контексті важливими є українські праці, присвячені методології експертизи, дослідження та реставрації живопису, зокрема публікації Т. Р. Тимченко та А. Р. Миколайчук «Роль інформаційно-комунікаційних технологій в експертизі та популяризації творів станкового живопису» [8], А. Р. Миколайчук «Використання інформаційно-комунікаційних технологій для практики консервації-реставрації» [5], а також Т. Р. Тимченко та А. Р. Миколайчук «Використання цифрових технологій у дослідженнях та реставрації творів мистецтва» [10]. Ці роботи важливі для осмислення того, як цифрові інструменти можуть бути включені в процес дослідження, документування та інтерпретації стану збереженості творів мистецтва.

У дисертації А. Р. Миколайчук «Превентивна консервація та реставрація творів станкового живопису: використання сучасних

інформаційно-комунікаційних технологій» [4] підкреслено, що цифрові технології використовуються як у технологічній, так і в мистецтвознавчій експертизі творів станкового живопису. Авторка наголошує, що традиційні методи дослідження — рентгенографія, зйомка в ультрафіолетовій та інфрачервоній зонах спектра, мікроскопічне обстеження, стратиграфічне дослідження, рентгенофлуоресцентний аналіз, інфрачервона спектроскопія — отримали нові можливості завдяки ІКТ. Водночас цифровізація сприяла появі нових методів аналізу, зокрема комп'ютерної томографії, оптичної когерентної томографії, мультиспектральної та гіперспектральної візуалізації, макрорентгенівського флуоресцентного сканування.

Наукова обґрунтованість віртуальної реконструкції тісно пов'язана з поняттями верифікації та документування. У праці E. Pietroni та D. Ferdani *“Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage”* [25] розмежовуються поняття віртуальної реставрації та віртуальної реконструкції. Автори визначають віртуальну реставрацію як цифрове відновлення пошкоджених, але збережених елементів пам'ятки, тоді як віртуальна реконструкція трактується як науково обґрунтоване відтворення втрачених частин на основі історичних, іконографічних та технологічних джерел. Автори наголошують, що реконструкція має справу з частково або повністю втраченими елементами, тому неминуче містить гіпотетичний компонент. Саме тому дослідник повинен фіксувати, які фрагменти спираються на прямі дані, які — на аналогії, а які є припущенням. Такий підхід особливо важливий для живопису та поліхромної скульптури, де втрата кольору, фактури або об'єму суттєво змінює сприйняття твору.

Одним із базових методів реконструкції є іконографічний аналіз. Він дозволяє зіставити досліджуваний твір з іншими пам'ятками того самого сюжету, типу, школи або історичного періоду [7]. Для сакрального живопису й поліхромної скульптури це має особливе значення, оскільки зображення

часто підпорядковані усталеним композиційним схемам. Якщо втрачено атрибут святого, частину жесту, фрагмент орнаменту чи елемент архітектурного тла, аналогії можуть допомогти визначити найімовірніший варіант реконструкції. Водночас іконографічна аналогія не повинна сприйматися як механічне копіювання: її потрібно перевіряти через стилістику конкретного твору, його матеріальну структуру та історичний контекст.

Стилістичний аналіз є другим важливим етапом. Він дає змогу оцінити художню манеру, характер лінії, моделювання форми, колористику, пропорції, спосіб трактування обличь, складок одягу, орнаменту або пластичних деталей. Для живопису це може стосуватися роботи з тоном, світлотінню, локальним кольором і фактурою мазка; для поліхромної скульптури — взаємозв'язку об'єму, кольору, позолоти, декоративного шару й фактури поверхні [7]. Саме стилістичний аналіз не дозволяє реконструкції перетворитися на умовну схему: він наближає цифрову модель до художньої логіки самого твору.

У цьому контексті корисною є також праця І. М. Сомик-Пономаренко та А. Р. Миколайчук «*Техніка рельєфного левкасу як стильоутворююча складова художнього твору: історичний контекст та сучасні інтерпретації*» [6]. Її можна залучати для обґрунтування того, що технологічні особливості — зокрема, рельєфний левкас, фактура, декоративна поверхня — не є другорядними, а можуть формувати художній образ твору. Для віртуальної реконструкції поліхромної скульптури або ікон із рельєфним декором це принципово важливо, оскільки реконструювати потрібно не лише колір, а й характер поверхні.

Для реконструкції поліхромної скульптури важливими є праці E. Siotto та P. Cignoni “*Digital methods and techniques to reconstruct and visualize 3D ancient polychromy*” [27], а також дослідження Y. Tong, Y. Cai, A. Nevin та співавторів “*Digital technology virtual restoration of the colours and textures of polychrome Bodhidharma statue*” [28]. У цих роботах цифрова реконструкція

кольору й текстури розглядається як міждисциплінарний процес, що поєднує аналіз пігментів, поверхні, збережених кольорових залишків, історичних аналогій і 3D-візуалізації (рис. Б.5). Такий підхід важливий для обраної теми, оскільки поліхромна скульптура вимагає одночасного врахування пластичної форми, живописного шару та декоративних покриттів.

Важливим принципом є візуальне відокремлення реконструкції від автентичної частини твору. У традиційній реставрації це питання пов'язане з етикою втручання, а у віртуальному середовищі воно набуває особливої актуальності. Цифрова реконструкція може виглядати дуже переконливо, тому існує ризик, що глядач сприйматиме гіпотетичне відтворення як документально підтверджений первісний вигляд. Щоб уникнути цього, реконструйовані ділянки доцільно подавати у кількох режимах: окремо від оригіналу, у прозорому накладанні, з умовним тонуванням або з графічним маркуванням рівня достовірності. Такий підхід дозволяє зберегти чесність дослідницької інтерпретації.

Цю думку доповнює висновок А. Р. Миколайчук про те, що перенесення реконструктивних процесів у цифрову площину дає змогу зменшити фізичну присутність реставратора в пам'ятці. У дисертації зазначено, що ІКТ можуть оптимізувати процеси естетичної реінтеграції або компенсації втрат зображення з елементами реконструкції, а також дозволяють у певних випадках відмовитися від реконструкції безпосередньо на творі, перенісши її у сферу віртуальних реконструкцій. Це відповідає принципам поваги до автентичності та мінімізації втручання [4].

Окремий блок методів пов'язаний із цифровим моделюванням. Фотограмметрія, 3D-сканування та 3D-моделювання дають змогу зафіксувати просторову структуру об'єкта, його деформації, втрати, фактуру й сліди попередніх втручань. У праці Р. Leronés та співавторів *“Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in cultural sites”* [15] 3D-модель

розглядається не лише як візуальний результат, а як робочий інструмент реставратора: на ній можна перевіряти гіпотези, порівнювати варіанти реконструкції та демонструвати різні рівні збереженості пам'ятки. Прикладом такого підходу є 3D моделі культурної спадщини (рис. Б.1).

Для живопису перспективним є використання комп'ютерного бачення й алгоритмів сегментації зображень. У праці Р. Миколайчука, В. Лавриновича, А. Миколайчук, Т. Тимченко та І. Сомик-Пономаренко *"Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old Paintings"* [23] розглянуто можливість автоматизованого визначення втрат у старому живописі. Це дослідження важливе не лише для підрахунку площі пошкоджень, а й для підготовки цифрової реконструкції, оскільки точне визначення меж втрат є першим етапом будь-якого реконструктивного моделювання (рис. В.1). Назва цієї праці подана англійською, оскільки публікація вийшла в англomовному виданні.

Ще один методичний принцип – варіативність. Віртуальна реконструкція не завжди повинна пропонувати один остаточний варіант. Якщо джерельна база неповна, науково коректніше представити кілька можливих моделей, пояснивши, на яких аналогіях або технічних даних вони ґрунтуються. Це особливо важливо для пам'яток із великими втратами, де частина реконструкції неминуче має гіпотетичний характер. У цьому сенсі цифрове середовище є зручнішим за фізичне втручання: воно дозволяє перевіряти припущення без ризику для оригіналу.

Отже, методика віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури повинна будуватися на поетапному дослідженні: фіксації стану збереженості, аналізі матеріальної структури, доборі іконографічних аналогій, стилістичному зіставленні, створенні цифрової моделі, перевірці реконструктивних гіпотез і візуальному розмежуванні автентичного та реконструйованого. Такий підхід дозволяє

використовувати цифрові технології не як декоративний інструмент, а як частину науково-реставраційного процесу, спрямованого на збереження, дослідження та коректну інтерпретацію творів мистецтва.

2.3. Цифрові технології та інструменти, що застосовуються у віртуальній реконструкції

Віртуальна реконструкція втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури передбачає використання комплексу цифрових технологій, які дозволяють зафіксувати актуальний стан пам'ятки, уточнити характер втрат, проаналізувати збережені фрагменти та створити науково обґрунтовану реконструктивну модель. На відміну від традиційної графічної реконструкції, цифрові методи дають можливість працювати з твором у кількох вимірах: як із площинним зображенням, як із матеріальною структурою та як із просторовим об'єктом. Саме тому у сучасній реставраційній практиці застосовуються графічні редактори, цифрова обробка зображень, фотограмметрія, 3D-моделювання, мультиспектральна візуалізація, а також інструменти комп'ютерного аналізу.

В українському науковому контексті важливими для цієї теми є праці, присвячені техніко-технологічному дослідженню та експертизі живопису. Зокрема, у навчальному посібнику Т. Р. Тимченко *«Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (історія та методологія)»* [7] розглянуто методологію дослідження живописних творів, що є важливою основою для подальшої цифрової реконструкції. Також доцільно враховувати працю І. Марченко *«Історичний розвиток деяких методик реставрації станкового живопису в контексті впливу на постреставраційний стан експонатів у XX ст.»* [3], у якій порушено питання наслідків реставраційних методик для подальшого стану пам'ятки. Ці джерела допомагають окреслити

зв'язок між традиційним реставраційним аналізом і сучасними цифровими методами.

Першим етапом віртуальної реконструкції є цифрова фіксація пам'ятки. До неї належать фотозйомка у видимому світлі, макрофотографія, зйомка в боковому освітленні, деталізація зон втрат, а також створення цифрового архіву зображень. Цей етап має принципове значення, оскільки саме якість вихідної документації визначає точність подальшої реконструкції. Фотофіксація дозволяє виявити межі втрат, характер пошкоджень, фактуру поверхні, стан авторського шару, пізніші нашарування та сліди попередніх реставраційних втручань.

Окреме місце займають графічні редактори, які використовуються для роботи з цифровими зображеннями творів живопису та поліхромної скульптури. Вони дають можливість створювати окремі шари для оригінального зображення, реконструйованих фрагментів, допоміжних контурів, варіантів тонального або колористичного вирішення. Така пошарова структура особливо важлива з етичного погляду: реконструкція не змішується з автентичною частиною твору і може бути окремо увімкнена, вимкнена або переглянута як гіпотетичний варіант. У цьому сенсі графічний редактор стає не просто технічним інструментом, а засобом контролю за ступенем достовірності реконструктивних припущень.

Цифрова обробка зображень дозволяє уточнювати візуальну інформацію, яка не завжди доступна під час звичайного огляду. Йдеться про корекцію перспективи, вирівнювання масштабу, підвищення читабельності деталей, зіставлення фрагментів, виділення кракелюру, аналіз кольорових зон і створення карт пошкоджень. Для живопису це особливо важливо, оскільки втрати можуть мати складну межу, бути пов'язаними з тріщинами ґрунту, деформаціями основи або попередніми втручаннями. Для поліхромної

скульптури цифрова обробка дає можливість зіставляти стан поверхні, залишки фарбового шару, позолоти, ґрунту та різні типи пошкоджень.

У працях Т. Р. Тимченко та А. Р. Миколайчук «*Роль інформаційно-комунікаційних технологій в експертизі та популяризації творів станкового живопису*» [8], «*Інноваційні технології в аналізі та збереженні ікон*» [9], а також «*Використання цифрових технологій у дослідженнях та реставрації творів мистецтва*» [10] цифрові інструменти розглядаються як частина ширшого процесу дослідження, експертизи та популяризації творів мистецтва. Ці публікації засвідчують, що в українському реставраційному дискурсі ІКТ дедалі частіше розглядаються не лише як допоміжні засоби презентації, а як інструменти фахового аналізу.

Для створення реконструкцій поліхромної скульптури особливо важливими є фотограмметрія та 3D-моделювання. Фотограмметрія дозволяє отримати тривимірну модель об'єкта на основі серії фотографій, виконаних із різних ракурсів. 3D-моделювання, своєю чергою, дає можливість відтворити втрачені пластичні елементи, уточнити об'єм, пропорції, ритм декоративних деталей і характер поверхні. Якщо у випадку живопису реконструкція здебільшого пов'язана з площиною зображення, то у випадку поліхромної скульптури необхідно враховувати взаємодію форми, кольору, фактури, позолоти та просторового сприйняття об'єкта.

У зарубіжній науковій літературі ці питання детально розглянуто у праці Р. Lerones та співавторів “*Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in cultural sites*” [15], де 3D-модель використовується як інструмент документування, аналізу й перевірки реконструктивних гіпотез. Подібний підхід розвивають Е. Siotto та Р. Cignoni у дослідженні “*Digital methods and techniques to reconstruct and visualize 3D ancient polychromy*” [27], де цифрова реконструкція поліхромії трактується як міждисциплінарний

процес, що поєднує матеріалознавчі дані, мистецтвознавчий аналіз і комп'ютерну візуалізацію.

Для реконструкції кольору й текстури поліхромної скульптури важливим є також дослідження Y. Tong, Y. Cai, A. Nevin та співавторів "*Digital technology virtual restoration of the colours and textures of polychrome Bodhidharma statue*" [28]. У цій роботі цифрова реконструкція кольору розглядається не як довільне відновлення, а як результат поєднання спектрального аналізу, цифрової фотографії, вивчення поверхні та комп'ютерного моделювання (рис. Б.5). Такий підхід є особливо цінним для пам'яток, де збережені лише фрагменти первісної поліхромії.

Важливе значення мають мультиспектральна та гіперспектральна візуалізація. Ці методи дозволяють отримати інформацію про поверхню й матеріальний склад пам'ятки, яка не завжди видима у звичайному світлі. Вони можуть допомогти виявити залишки пігментів, підготовчі рисунки, пізні записи, потемнілі фрагменти, приховані межі втрат або ділянки з іншим складом матеріалів. У дисертації А. Р. Миколайчук гіперспектральна візуалізація визначається як технологія, що поєднує спектроскопію з можливостями візуалізації та дає змогу отримувати інформацію про характеристики об'єктів і поверхонь у спосіб, недоступний для звичайних систем зображення [4].

До інструментів, які дедалі активніше використовуються у реставраційній практиці, належать також алгоритми комп'ютерного бачення та машинного навчання. Вони можуть застосовуватися для автоматизованого виділення втрат, розпізнавання пошкоджень, аналізу кракелюру, порівняння зображень у різних спектральних діапазонах і визначення площі пошкоджених ділянок. У цьому контексті показовою є праця Р. Миколайчука, В. Лавриновича, А. Миколайчук, Т. Тимченко та І. Сомик-Пономаренко "*Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old*

Paintings” [23], у якій розглянуто використання сегментації зображень для виявлення втрат у старому живописі.

Окремо варто згадати дослідження Mol V. R., Maheswari P. U. “*The Digital Reconstruction of Degraded Ancient Temple Murals Using Dynamic Mask Generation and an Extended Exemplar-Based Region-Filling Algorithm*” [18], наведене в дисертації А. Р. Миколайчук. У цій роботі розглянуто цифрову реконструкцію пошкоджених храмових фресок із використанням автоматизованої генерації масок і алгоритму заповнення втрачених ділянок на основі збережених зразків (рис. В.3). Для теми віртуальної реконструкції це джерело є важливим, оскільки демонструє можливість алгоритмічного відновлення втрачених фрагментів живопису за умови наявності достатньої кількості збереженого матеріалу для порівняння.

Віртуальна та доповнена реальність застосовуються переважно на етапі презентації результатів реконструкції, однак їхнє значення не варто зводити лише до музейної видовищності. Вони дозволяють демонструвати кілька станів пам’ятки: сучасний, реконструйований, проміжний або гіпотетичний. У такий спосіб глядач або дослідник може краще зрозуміти, які частини твору збережені, які були реконструйовані, а які мають лише припущений характер. У словнику термінів дисертації [4, с. 228 – 237] віртуальна реальність визначається як технологія, що створює імітацію реального середовища за допомогою комп’ютерних програм і може використовуватися для відтворення вигляду та структури творів.

Водночас цифрові технології потребують критичного застосування. Їхня візуальна переконливість може створювати ілюзію остаточності реконструкції, тоді як насправді будь-яке відтворення втрачених фрагментів має певний рівень гіпотетичності. Тому цифрова реконструкція повинна супроводжуватися фіксацією джерел, описом методів, позначенням рівня достовірності та візуальним відокремленням реконструйованих елементів від

автентичної частини твору. Це стосується як площинних реконструкцій у графічних редакторах, так і 3D-моделей або VR-презентацій.

Отже, цифрові технології та інструменти, що застосовуються у віртуальній реконструкції, можна поділити на кілька основних груп: засоби фотофіксації та цифрової документації; графічні редактори й програми обробки зображень; методи спектральної та техніко-технологічної візуалізації; фотограмметрія, 3D-сканування та 3D-моделювання; алгоритми комп'ютерного бачення; засоби VR- та AR-презентації. Їхнє комплексне використання дозволяє перейти від умовного візуального припущення до науково аргументованої реконструктивної моделі, що зберігає зв'язок із матеріальною структурою твору, його іконографією, стилістикою та реставраційною етикою.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було розглянуто передумови виникнення та розвитку віртуальної реконструкції, її основні принципи, методи й цифрові інструменти, що можуть бути застосовані у процесі відтворення втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. Проведений аналіз засвідчив, що віртуальна реконструкція сформувалася не як окремий ізольований напрям, а як результат поступового зближення кількох сфер: наукової реставрації, мистецтвознавчого аналізу, техніко-технологічного дослідження творів мистецтва, музейної документації та цифрової гуманітаристики. Саме на перетині цих напрямів виникла потреба в інструментах, які дозволяють не лише фіксувати актуальний стан пам'ятки, а й моделювати її можливий первісний вигляд без втручання в автентичну матерію твору.

З'ясовано, що важливою передумовою розвитку віртуальної реконструкції стало поширення цифрових методів дослідження та

документування. Якщо раніше реконструктивні припущення здебільшого оформлювалися у вигляді графічних схем, кальок або описових гіпотез, то сучасні технології дали можливість працювати з пам'яткою значно точніше: зіставляти зображення у різних спектральних діапазонах, вивчати приховані шари, фіксувати фактуру, картографувати втрати, створювати тривимірні моделі та перевіряти різні варіанти реконструкції в цифровому середовищі. У цьому контексті особливо важливими є методи, що сформувалися у межах техніко-технологічного дослідження живопису: рентгенографія, інфрачервона й ультрафіолетова зйомка, мікроскопічне обстеження, стратиграфія, рентгенофлуоресцентний аналіз, а також новіші цифрові підходи — комп'ютерна томографія, оптична когерентна томографія, мультиспектральна і гіперспектральна візуалізація. ІКТ розширили можливості традиційних методів дослідження творів станкового живопису та зробили їх ефективнішими для експертизи, фіксації стану збереженості й аналізу матеріальної структури твору.

У межах розділу також було встановлено, що віртуальна реконструкція має принципово відрізнятися від довільного цифрового «домальовування». Її основою є наукова обґрунтованість, тобто опора на перевірені дані: збережені фрагменти твору, результати техніко-технологічних досліджень, архівні матеріали, іконографічні паралелі, стилістичні особливості та історичний контекст. У цьому сенсі віртуальна реконструкція ближча до дослідницької моделі, ніж до остаточного візуального «відновлення». Вона не повинна створювати ілюзію безсумнівного знання там, де йдеться лише про гіпотезу. Тому особливо важливими є фіксація джерел, опис логіки прийнятих рішень і позначення рівня достовірності окремих реконструйованих елементів.

Особливе значення у роботі з утраченими фрагментами мають іконографічні аналогії. Для живопису, передусім сакрального, вони дозволяють встановити ймовірний склад композиції, атрибути персонажів,

характер жестів, орнаментальні мотиви, колористичні рішення та інші елементи, які могли бути втрачені. Для поліхромної скульптури іконографічний аналіз дає змогу співвіднести збережену форму з типовими образами, композиційними схемами та декоративними програмами відповідного періоду. Водночас іконографічна аналогія не може бути використана механічно: її необхідно зв'язати зі стилістикою конкретної пам'ятки, з її технологічними особливостями та станом збереженості. Саме на цьому етапі особливо помітною стає роль фахової мистецтвознавчої інтерпретації, без якої цифрові інструменти залишаються лише технічним засобом.

Не менш важливим є стилістичний аналіз. Він дозволяє не просто встановити, «що» могло бути зображено, а зрозуміти, «як» це могло бути виконано. У випадку живопису йдеться про характер лінії, моделювання форми, співвідношення локального кольору й тональних переходів, особливості світлотіні, фактуру мазка, трактування обличчя, одягу, архітектурних або орнаментальних деталей. У випадку поліхромної скульптури стилістичний аналіз охоплює взаємодію об'єму й кольору, характер різьблення, декоративні покриття, позолоту, залишки ґрунту та живописного шару. Отже, стилістика віртуальної реконструкції не може бути нейтральною або умовною: вона має узгоджуватися з художньою логікою самого твору.

У розділі визначено, що одним із центральних етичних принципів віртуальної реконструкції є візуальне відокремлення реконструйованого від автентичного. Ця вимога особливо важлива через високу переконливість цифрових зображень. На відміну від традиційного ескізу або схематичного креслення, цифрова реконструкція може виглядати завершеною і «правдивою», навіть якщо значна частина її елементів є припущенням. Тому реконструйовані ділянки доцільно позначати за допомогою прозорості,

умовного тону, графічного маркування, окремих шарів або паралельного показу кількох варіантів. Такий підхід не знижує цінності реконструкції, а навпаки — робить її науково чесною і зрозумілою для дослідника, реставратора, музейного працівника та глядача.

Важливим висновком є те, що цифрове середовище дає можливість перенести реконструктивну діяльність із матеріальної площини у віртуальну. Це особливо важливо для пам'яток зі складною історією побутування, нестабільним станом збереженості або значними втратами. У таких випадках фізична реконструкція може бути надто ризикованою або етично невиправданою, тоді як цифрова модель дозволяє перевірити кілька гіпотез, показати можливий вигляд утрачених фрагментів і водночас не змінювати матеріальну структуру пам'ятки. Застосування ІКТ може оптимізувати процеси естетичної реінтеграції або компенсації втрат, а в окремих випадках — дозволити відмовитися від реконструкції безпосередньо на творі та перенести її у сферу віртуальних реконструкцій, що відповідає принципам поваги до автентичності.

Окремо було розглянуто цифрові інструменти, що застосовуються на різних етапах роботи. Графічні редактори дають змогу виконувати пошарову реконструкцію, зіставляти варіанти, контролювати межі втрат і відокремлювати реконструктивні елементи від вихідного зображення. Цифрова обробка зображень допомагає підвищити читабельність деталей, вирівняти перспективу, аналізувати кракелюр, кольорові зони, пошкодження і сліди попередніх втручань. Фотограмметрія та 3D-сканування є особливо важливими для поліхромної скульптури, оскільки дозволяють зафіксувати не лише зображення, а й просторову структуру, фактуру поверхні, деформації та втрати об'єму. 3D-моделювання, у свою чергу, створює можливість реконструювати не лише колір, а й форму — тобто ті елементи, які у випадку скульптури є невіддільними від художнього образу.

Значення мультиспектральної та гіперспектральної візуалізації полягає в тому, що ці методи дозволяють працювати з інформацією, невидимою для звичайного ока. Вони можуть виявляти залишки пігментів, відмінності матеріалів, пізні тонування, потемнілі або приховані фрагменти, а також допомагати у визначенні меж втрат. Такі дані особливо важливі для реконструкції, оскільки дозволяють спиратися не лише на зовнішній вигляд пам'ятки, а й на її матеріальні сліди. Саме завдяки цьому цифрова реконструкція отримує міцніше техніко-технологічне підґрунтя і менше залежить від суб'єктивної інтерпретації.

У розділі також підкреслено значення комп'ютерного бачення та алгоритмічної обробки зображень. Автоматизоване визначення втрат, сегментація пошкоджених ділянок, аналіз кракелюру й порівняння зображень у різних спектральних діапазонах можуть стати важливими допоміжними інструментами для реставратора. Вони не замінюють фахового рішення, але допомагають зробити опис стану збереженості точнішим і більш вимірюваним. Це важливо не тільки для самої реконструкції, а й для подальшого моніторингу пам'ятки, документування музейних колекцій і порівняння стану твору у різні періоди.

Разом із тим цифрові технології не усувають усіх методичних проблем. Навпаки, вони роблять особливо помітною відповідальність дослідника. Чим переконливішою стає цифрова модель, тим уважніше потрібно ставитися до джерел, меж реконструкції та способу її презентації. У роботі з утраченими фрагментами завжди існує певна міра припущення, тому результат має подаватися не як остаточне «відновлення», а як аргументована наукова версія. Найкоректнішим є такий підхід, за якого глядач бачить не лише завершену реконструкцію, а й логіку її побудови: що збережено, що відтворено за прямими даними, що ґрунтується на аналогіях, а що має гіпотетичний характер.

Таким чином, віртуальна реконструкція втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури постає як складний міждисциплінарний процес, у якому технічні засоби підпорядковані науковій і реставраційній логіці. Її цінність полягає не лише у створенні візуально переконливого образу, а передусім у можливості досліджувати пам'ятку, перевіряти реконструктивні припущення, прогнозувати реставраційні рішення й презентувати культурну спадщину без фізичного втручання в оригінал. Саме тому цифрові технології в межах цього дослідження розглядаються не як заміна професійної реставраційної роботи, а як інструмент її поглиблення, уточнення й етичного обмеження.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІРТУАЛЬНІЙ РЕКОНСТРУКЦІІ ВТРАЧЕНИХ ФРАГМЕНТІВ ЖИВОПИСУ ТА ПОЛІХРОМНОЇ СКУЛЬПТУРИ

3.1. Методологія проведення віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва

Практичне застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури потребує чіткої, послідовної та водночас гнучкої методології. У цьому випадку йдеться не лише про технічне володіння графічними редакторами чи програмами 3D-моделювання, а про здатність поєднати цифрові інструменти з реставраційним мисленням, мистецтвознавчим аналізом і розумінням матеріальної природи твору. Подібний підхід простежується у працях Pietroni E., Ferdani D. “*Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage*”, Siotto E., Cignoni P. “*Digital Methods and Techniques to Reconstruct and Visualize 3D Ancient Polychromy*” [25], а також у публікаціях українських дослідників Тимченко Т. Р., Миколайчук А. Р. «*Роль інформаційно-комунікаційних технологій в експертизі та популяризації творів станкового живопису*» [8] та «*Використання цифрових технологій у дослідженнях та реставрації творів мистецтва*» [10]. Останні праці наведені у списку публікацій дисертації А. Р. Миколайчук [4].

Віртуальна реконструкція не повинна бути довільною візуальною інтерпретацією. Її завдання полягає у створенні аргументованої моделі можливого вигляду втрачених фрагментів, де кожне рішення має пояснення: з яких джерел воно походить, які дані його підтверджують і який ступінь достовірності воно має. У цьому аспекті важливою є позиція Pietroni E. та співавторів, які розмежовують віртуальну реставрацію і віртуальну

реконструкцію та наголошують на необхідності прозорості реконструктивних припущень [25]. Для творів живопису та поліхромної скульптури це особливо важливо, оскільки втрата кольору, форми або фактури може суттєво змінити сприйняття твору.

У практичній площині методологія віртуальної реконструкції починається не з цифрового моделювання, а з аналізу пам'ятки як об'єкта реставраційного дослідження. Передусім необхідно визначити, що саме потребує реконструкції: втрачений фрагмент композиції, окрема деталь зображення, орнаментальний мотив, колористичне вирішення, фактура поверхні, пластичний об'єм або поліхромний шар. Для живопису реконструкція найчастіше стосується площинного зображення, однак навіть у цьому випадку вона не обмежується кольором чи контуром. Потрібно враховувати структуру основи, ґрунту, живописного шару, лакового покриття, пізніх записів і попередніх реставраційних втручань. Для поліхромної скульптури ситуація складніша, оскільки втрати можуть торкатися одночасно форми, поверхні, ґрунту, фарбового шару, позолоти та декоративних покриттів.

Першим практичним етапом є збирання вихідних матеріалів. До них належать сучасна фотофіксація об'єкта, архівні фотографії, наукові паспорти, музейні інвентарні описи, акти попередніх реставрацій, результати техніко-технологічних досліджень, дані про матеріали й техніку виконання, а також візуальні аналоги. Важливість поєднання технологічної та мистецтвознавчої експертизи підкреслено у дисертації Миколайчук А. Р., де зазначено, що цифрові технології застосовуються як у технологічній, так і у мистецтвознавчій експертизі творів станкового живопису [4].

Усі джерела для реконструкції не є рівнозначними. Архівне фото до пошкодження твору має більшу доказову силу, ніж аналогічна пам'ятка; результати матеріалознавчого аналізу мають більшу вагу для реконструкції

кольору, ніж загальне стилістичне припущення; музейний опис може бути корисним, але його потрібно співвідносити з фактичним станом об'єкта. Тому на початковому етапі доцільно розділити матеріали за рівнем надійності. До першої групи належать прямі джерела: збережені фрагменти самого твору, архівні зображення, результати спектральних або лабораторних досліджень, сліди первісного шару на поверхні. До другої — близькі аналогії: твори того самого автора, майстерні, регіону, часу або іконографічного типу. До третьої — ширший контекст: загальні стилістичні паралелі, зразки орнаментики, технологічні описи, відомості про матеріали та художні практики відповідного періоду.

Наступним етапом є якісна цифрова фіксація пам'ятки. Вона повинна включати не лише загальний вигляд твору, а й окремі деталі, зони втрат, ділянки зі слідами попередніх втручань, фактуру поверхні, краї пошкоджень, тріщини, деформації, потертості, осипання або потемніння. Для живопису важливо виконати фотографування при рівномірному освітленні, а також за можливості використати бокове світло, яке допомагає виявити рельєф поверхні, деформації основи, фактуру мазка чи ґрунту. Для поліхромної скульптури необхідна фотофіксація з різних ракурсів, оскільки втрачені частини можуть змінювати сприйняття об'єкта не лише фронтально, а й у просторі. Значення високоякісних цифрових зображень і тривимірної фіксації підкреслюється у дисертації А. Р. Миколайчук, де йдеться про використання високоточного сканування, лазерних та оптичних сканерів для фіксації текстури, кольору й найдрібніших деталей твору [4].

Після первинної фіксації проводиться аналіз стану збереженості. На цьому етапі потрібно визначити типи пошкоджень і характер втрат. Для живопису важливо розрізнити втрати авторського живописного шару, втрати ґрунту, потертості, потемніння лаку, забруднення, пізні записи, поновлення, механічні пошкодження та деформації основи. Для поліхромної скульптури

додатково слід враховувати втрату об'єму, відколи, тріщини матеріалу основи, осипання ґрунту, фрагментарну втрату поліхромії, залишки позолоти або пізні нашарування [2]. Такий поділ потрібний для вибору подальших цифрових методів: одна справа – реконструювати кольорову пляму на тлі, інша – відтворювати втрачений об'єм, рельєфний декор або значущий іконографічний елемент.

Практично корисним результатом цього етапу є карта втрат. Вона може бути створена у графічному редакторі на окремих шарах, де різними умовними позначеннями фіксуються типи пошкоджень. Наприклад, окремо можна позначити повні втрати живописного шару, часткові потертості, тріщини, пізні записи, відкритий ґрунт, деформації або сліди попередніх реставрацій. Для поліхромної скульптури доцільно додатково розмежовувати втрати об'єму, втрати ґрунту, втрати фарбового шару та ділянки з залишками первісної поліхромії. Методика точнішого обчислення площі втрат і документування пошкоджених ділянок розглядається у праці Mykolaichuk R. зі співавторами [23], а також згадується у дисертації А. Р. Миколайчук як приклад розробки українських фахівців для об'єктивнішої оцінки стану збереженості живопису.

Для уточнення меж втрат можуть застосовуватися цифрові методи обробки зображень: корекція контрасту, підсилення деталей, зіставлення фотографій у різних режимах освітлення, аналіз кольорових зон, виділення кракелюру, створення масок пошкоджених ділянок. Окреме значення має аналіз сітки кракелюру: у дисертації А. Р. Миколайчук зазначено, що ІКТ дають змогу відділяти сітку тріщин на цифрових зображеннях, вивчати та класифікувати її, а іноді використовувати навіть для атрибуційних завдань [4]. У методології віртуальної реконструкції ці інструменти слід розглядати як допоміжні: остаточне рішення має ухвалюватися на основі поєднання цифрового аналізу, фахового реставраційного огляду та мистецтвознавчої інтерпретації.

Окреме значення має добір іконографічних аналогій. Він особливо важливий тоді, коли втрата стосується сюжетно значущих елементів: обличчя, рук, атрибутів, написів, жестів, орнаментальних фрагментів, архітектурного тла або декоративного обрамлення. Для сакрального мистецтва це має принципове значення, оскільки навіть невелика втрата може вплинути на прочитання образу. Добір аналогій повинен здійснюватися не за зовнішньою схожістю, а за кількома критеріями: час створення, регіон, школа, тип іконографії, матеріал, техніка, масштаб, стилістика та функціональне призначення твору. У випадку поліхромної скульптури потрібно враховувати також характер пластики, пропорції, ритм складок, тип різьблення, спосіб нанесення ґрунту та декоративних шарів.

Після добору аналогій здійснюється іконографічний аналіз. Його завдання – з'ясувати, яку роль відігравав втрачений фрагмент у загальній структурі твору. Якщо йдеться про живопис, аналізується композиція, сюжет, система образів, розташування персонажів, атрибути, символічні деталі, орнаментика. Якщо йдеться про поліхромну скульптуру, додатково враховується просторове положення фігури, взаємодія об'єму й кольору, можливий вигляд втрачених пластичних елементів. Іконографічний аналіз дозволяє обмежити поле припущень: він не дає абсолютної відповіді, але допомагає відкинути випадкові або стилістично невиправдані варіанти.

Паралельно необхідно провести стилістичний аналіз. Він дає змогу перевірити, чи відповідає запропонована реконструкція художній мові самого твору. Для цього аналізуються характер лінії, пропорції, спосіб моделювання форми, колористика, світлотінь, орнамент, фактура, декоративність, характер облич і деталей. У поліхромній скульптурі стилістичний аналіз має враховувати ще й те, як колір працює на об'ємі: чи підкреслює він форму, чи маскує її, чи пов'язаний із позолотою, лаком, рельєфним декором або фактурою різьблення. У цьому контексті доречною є праця Сомик-

Пономаренко І. М., Миколайчук А. Р. [6], де технологічний елемент розглядається як складова художнього образу, а не як нейтральна матеріальна ознака.

Наступний крок – вибір цифрових методів. Він залежить не від того, яка програма є доступною, а від характеру завдання. Якщо втрати стосуються площинного живопису й зберіглася достатня кількість аналогічних ділянок, доцільними будуть графічні редактори, пошарова реконструкція, цифрова корекція зображень і зіставлення аналогій. Якщо потрібно реконструювати втрачений рельєф, об'єм або просторову форму, необхідні фотограмметрія, 3D-сканування або 3D-моделювання. Якщо важливо встановити залишки кольору, доцільно залучати спектральні методи або результати матеріалознавчого аналізу. Якщо потрібно точно визначити межі втрат, можуть бути корисними алгоритми сегментації зображень.

Зарубіжні дослідження у сфері цифрової реконструкції поліхромії підтверджують необхідність саме такого комплексного підходу. У працях Siotto E. зі співавторами [27], Leronés P. M. із співавторами [15], Tong Y. із співавторами [28] цифрова реконструкція розглядається як процес, що повинен спиратися на матеріальні сліди, технологічний аналіз, історичні дані та візуальні аналогії. Тобто 3D-модель або цифрове зображення не є самодостатнім результатом: вони мають сенс лише тоді, коли пов'язані з дослідницькою аргументацією.

Після вибору інструментів створюється первинна реконструктивна модель. На цьому етапі важливо не прагнути одразу до остаточного варіанта. Доцільніше виконати кілька пробних моделей, перевірити різні колористичні або композиційні рішення, порівняти їх із аналогами та збереженими фрагментами твору. У випадку великих втрат доцільним є створення кількох версій із різним рівнем достовірності. Наприклад, один варіант може спиратися на найближчий аналог, другий — на ширший іконографічний тип,

третій — лише на загальну композиційну логіку. Така варіативність не є слабкістю дослідження. Навпаки, вона демонструє обережність і наукову чесність.

Наступним важливим етапом є перевірка реконструкції. Її потрібно оцінити з кількох позицій: чи відповідає вона збереженим фрагментам твору; чи не суперечить техніко-технологічним даним; чи узгоджується з іконографією; чи не випадає зі стилістики; чи коректно позначені гіпотетичні ділянки; чи не створює результат враження фальсифікованого оригіналу. На цьому етапі реконструкцію бажано переглядати не лише як окреме зображення, а й у зіставленні з картою втрат, аналогіями та вихідними матеріалами.

Окремо слід враховувати етичний аспект. Віртуальна реконструкція дає можливість зробити те, що не завжди допустимо у фізичній реставрації: візуально відтворити втрачений фрагмент, перевірити кілька гіпотез, показати первісний вигляд або умовну повноту композиції. Однак саме через це вона потребує чіткого маркування. Реконструйовані частини не повинні непомітно зливатися з автентичними, якщо результат подається як науковий. У дисертації А. Р. Миколайчук наголошено, що перенесення реконструктивних процесів у віртуальну площину дозволяє зменшити фізичну присутність реставратора у пам'ятці та сприяє дотриманню принципів автентичності [4].

Завершальний етап — оформлення та презентація результатів. Науково коректна віртуальна реконструкція має бути представлена не лише як фінальне зображення, а як процес. Доцільно показати вихідний стан твору, карту втрат, основні аналогії, проміжні етапи моделювання, фінальний варіант і пояснення рівня достовірності. Для музейного використання це особливо важливо, оскільки така подача дозволяє не підміняти пам'ятку реконструкцією, а навпаки — пояснювати її стан, історію, втрати й можливий первісний вигляд.

Для навчальної та дослідницької роботи такий формат також корисний, бо він демонструє логіку прийняття рішень.

У межах практичного застосування цифрових технологій важливо також передбачити збереження всіх робочих матеріалів. Фінальна реконструкція не повинна існувати окремо від вихідних файлів, шарів, проміжних варіантів, описів аналогій і технічних параметрів. Це потрібно для перевірки результату, подальшого редагування, повторного використання матеріалів і наукової прозорості. Якщо в майбутньому з'являться нові дані — наприклад, архівне фото, результати аналізу пігментів або точніший аналог, — реконструктивну модель можна буде переглянути без втрати попередньої роботи.

Отже, методологія проведення віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва повинна бути поетапною, документованою і критичною. Вона включає збирання вихідних матеріалів, цифрову фіксацію пам'ятки, аналіз стану збереженості, картографування втрат, добір іконографічних і стилістичних аналогій, вибір цифрових інструментів, створення реконструктивної моделі, її перевірку, візуальне відокремлення автентичного й реконструйованого та наукову презентацію результату. Такий підхід дозволяє використовувати цифрові технології не як засіб декоративного «відновлення», а як повноцінний інструмент реставраційного дослідження, який допомагає зберегти повагу до автентичності твору й водночас розширити можливості його вивчення.

3.2. Віртуальна реконструкція втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури

Практична частина віртуальної реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури передбачає застосування методології, окресленої у попередньому підрозділі, до конкретних пам'яток. У межах

такого дослідження важливо не лише продемонструвати кінцевий візуальний результат, а й показати логіку його формування: від опису об'єкта й аналізу стану збереженості до добору аналогій, вибору цифрових інструментів і фіксації ступеня достовірності реконструйованих елементів. Саме така послідовність дозволяє уникнути довільності й розглядати реконструкцію не як декоративне доповнення, а як складову науково-реставраційного процесу. Для апробації методики доцільно обирати твори з різним характером втрат. У випадку живопису це може бути пам'ятка з частковими втратами авторського шару, пошкодженнями тла, орнаменту, обличчя, рук, атрибутів або сюжетно важливих деталей (рис. В.1; В.2; В.3; В.4). У випадку поліхромної скульптури — об'єкт із фрагментарно збереженою поліхромією, втратами ґрунту, позолоти, декоративного шару або окремих пластичних елементів (рис. Б.5). Такий добір дозволяє показати відмінність між реконструкцією площинного зображення та реконструкцією об'ємного твору, де потрібно враховувати не лише колір, а й форму, фактуру, просторове сприйняття та взаємозв'язок живописного шару з пластичною основою.

Першим етапом роботи з обраним живописним твором є його опис як матеріального й художнього об'єкта. У цьому описі фіксуються техніка виконання, основа, орієнтовне датування, розміри, композиція, характер колориту, стан збереженості, наявність втрат і пізніших втручань. Якщо йдеться про ікону або сакральний живопис, додатково визначається іконографічний тип, сюжет, розташування основних фігур, символічні деталі, написи, декоративні елементи та зв'язок композиції з усталеною традицією. Такий опис не є формальністю: саме він задає рамки подальшої реконструкції й допомагає зрозуміти, які фрагменти можуть бути відтворені з більшою або меншою мірою достовірності.

У випадку живопису особливу увагу слід звертати на межі втрат. Не всі пошкоджені ділянки однаково потребують реконструкції. Потертості або

незначні втрати тла можуть бути зафіксовані документально без створення повного реконструктивного варіанта. Натомість втрата фрагмента обличчя, руки, атрибута, напису чи частини орнаментального обрамлення може суттєво впливати на сприйняття твору й потребувати окремого аналізу. Саме тому перед початком реконструкції доцільно створити карту втрат, де різними умовними позначеннями фіксуються втрати ґрунту, фарбового шару, пізні записи, тріщини, потертості, забруднення та інші пошкодження.

Для формування такої карти можуть бути використані цифрова фотографія, графічні редактори та методи обробки зображень. На окремих шарах фіксується актуальний стан твору, межі втрат, ділянки збереженого авторського шару, пізніші нашарування і потенційні зони реконструкції. Такий спосіб роботи дає змогу не змішувати документальну фіксацію з реконструктивною інтерпретацією. У дослідженні Mykolaichuk, R., Lavrynovych, V., Mykolaichuk, A., Tymchenko, T., Somyk-Ponomarenko, I. «*Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old Paintings*» [23] розглянуто можливість використання сегментації зображення для виявлення втрат у старому живописі; ця праця показує, що цифрові методи можуть бути корисними не лише для візуалізації, а й для точнішої фіксації пошкоджених ділянок. Назва цієї роботи наведена в дисертації А. Р. Миколайчук [4] серед публікацій, пов'язаних із цифровими технологіями у реставрації.

Після створення карти втрат здійснюється добір аналогій. Для живописного твору першочерговими є аналогії за іконографічним типом, часом створення, регіоном, художньою школою, технікою та характером композиції. Якщо реконструюється фрагмент тла або орнаменту, важливими стають повторювані декоративні мотиви в межах самого твору. Якщо йдеться про втрачений атрибут або частину фігури, необхідно звертатися до близьких іконографічних паралелей. При цьому аналогія не має автоматично

переноситися у реконструкцію: її потрібно співвіднести з пропорціями, стилістикою, колоритом і технікою виконання конкретної пам'ятки.

На практиці процес реконструкції живописного твору доцільно виконувати поетапно. Спочатку створюється цифрова копія зображення без втручань. Далі на окремому шарі позначаються втрати. Після цього на основі аналогій і збережених фрагментів виконується контурне відновлення композиції. Лише після цього можна переходити до тонального й колористичного вирішення. Така послідовність важлива, оскільки колір не повинен визначатися раніше, ніж буде з'ясована композиційна структура втраченого фрагмента. У складних випадках доцільно створювати кілька варіантів: більш обережний, де реконструкція має умовний характер, і розгорнутий, де пропонується можливий повний вигляд утрачених деталей.

Візуальний результат реконструкції живопису має бути представлений не одним завершеним зображенням, а серією матеріалів. Доцільно показати: первинний стан пам'ятки; карту втрат; використані аналогії; контурний етап реконструкції; варіант із тональним вирішенням; варіант із кольором; фінальне зображення з позначенням реконструйованих ділянок. Такий спосіб подачі є науково коректним, оскільки дозволяє простежити, які частини ґрунтуються на збережених даних, а які мають гіпотетичний характер. Він також відповідає принципу візуального відокремлення реконструкції від автентичної частини твору.

Реконструкція поліхромної скульптури потребує іншої логіки роботи. Передусім скульптура має бути описана як об'ємний об'єкт: визначається матеріал основи, техніка виконання, характер різьблення або ліплення, наявність ґрунту, залишків фарбового шару, позолоти, лакового покриття, слідів пізніших поновлень і механічних втрат. Окремо фіксується, які саме втрати є головними: пластичні, колористичні, фактурні або комбіновані. Для поліхромної скульптури це принципово важливо, адже втрата невеликої

пластичної деталі може змінювати загальне сприйняття об'єкта не менше, ніж втрата кольору.

У цьому контексті особливо корисною є праця І. М. Сомик-Пономаренко та А. Р. Миколайчук «*Техніка рельєфного левкасу як стильоутворююча складова художнього твору: історичний контекст та сучасні інтерпретації*» [6]. У ній технологічна особливість — рельєфний левкас — розглядається як чинник формування художнього образу, а не як другорядна матеріальна деталь. Для віртуальної реконструкції це важливо, оскільки у творах із рельєфним або фактурним декором потрібно реконструювати не лише колір, а й характер поверхні, взаємодію світла з рельєфом, декоративний ритм і зв'язок фактури з композицією. Ця праця також наведена у списку публікацій у дисертації А. Р. Миколайчук [4].

Першим практичним кроком у роботі з поліхромною скульптурою є кругова фотофіксація об'єкта. На відміну від живопису, де головний аналіз часто зосереджується на фронтальній площині, скульптура потребує огляду з різних ракурсів. Втрата, незначна у фронтальному вигляді, може бути суттєвою для бокового або тричвертного сприйняття. Тому фотофіксація має включати загальні ракурси, деталі, макрозйомку поверхні, зони втрат, місця збереженої поліхромії та ділянки, де помітні сліди попередніх втручань.

Для об'ємних творів доцільним є застосування фотограмметрії або 3D-сканування. Отримана модель дозволяє працювати з формою об'єкта без фізичного контакту з пам'яткою. На ній можна позначати втрати, перевіряти пропорції, моделювати відсутні пластичні елементи та порівнювати реконструйовані фрагменти з аналогами. У праці Leronés P. M., et al. “*Using 3D Digital Models for the Virtual Restoration of Polychrome in Cultural Sites*” [15] 3D-модель розглядається як інструмент не лише демонстрації, а й реставраційного аналізу. Подібний підхід є особливо доречним для поліхромної скульптури, де форма і колір утворюють єдину художню систему.

Добір аналогій для поліхромної скульптури повинен здійснюватися за ширшим набором критеріїв, ніж для площинного живопису. Потрібно враховувати не лише іконографію, а й пластику, пропорції, тип обличчя, характер складок, спосіб різьблення волосся, рук, одягу, особливості підготовчого шару, колористику, орнаментику та декоративні покриття.

Подібний приклад (щоправда, без технічних подробиць) наводять М. Марінкола та Л. Каржер [2, с. 219]. Вони ретельно обговорюють теоретичну основу для компенсації втрат: сюди включена не в останню чергу релігійна (літургійна) функція тих скульптур, що і досі розміщені у храмах, а не музеєфіковані. Такі міркування нерідко переважають принцип мінімального втручання, сформульований у другій половині ХХ століття як один із засадничих принципів наукової реставрації.

Далі авторки наводять приклад, коли реставратори відомого флорентійського закладу *Opificio delle Pietre Dure* замінили настегнову пов'язку (додану під час реставрації ХVІІІ століття) на дерев'яному поліхромному *Rozn'jatti* італійського скульптора Бенедетто да Маяно з Флорентійського собору на іншу, форму якої перевірили за допомогою 3D зображень, спираючись на інші настегнові пов'язки зі скульптур Бенедетто да Маяно. Цікаво, що виконали її з лляної тканини, яку забарвили ультрамарином (надавши блакитного відтінку) [2, с. 219].

Якщо реконструюється втрачена частина поліхромії, важливо порівнювати не тільки загальні кольори, а й місця, де збереглися залишки первісного шару. Якщо реконструюється пластичний елемент, аналогії мають допомогти визначити не лише його форму, а й спосіб його включення у загальний ритм скульптури.

Процес реконструкції поліхромної скульптури доцільно виконувати у кількох етапах. Спочатку створюється цифрова модель актуального стану об'єкта. Далі на ній позначаються втрати: окремо пластичні, окремо втрати

грунту, окремо втрати поліхромії та декоративних покриттів. Потім виконується реконструкція форми, якщо вона потрібна. Лише після цього створюється колористична реконструкція, що враховує залишки фарбового шару, результати техніко-технологічного аналізу та аналогії. У роботах Siotto E., Cignoni P. *“Digital Methods and Techniques to Reconstruct and Visualize 3D Ancient Polychromy”* [27] та Tong Y., Cai Y., Nevin A., et al. *“Digital Technology Virtual Restoration of the Colours and Textures of Polychrome Bodhidharma Statue”* [28] підкреслюється, що реконструкція поліхромії потребує поєднання аналізу поверхні, залишків пігментів, історичних аналогій і цифрової візуалізації.

Візуальні результати реконструкції поліхромної скульптури також мають подаватися поетапно. Окрім фінальної моделі, необхідно показати актуальний стан об'єкта, карту втрат, модель без реконструкції, модель із реконструйованою формою, модель із реконструйованою поліхромією, а також варіант із позначенням гіпотетичних ділянок. Такий спосіб подачі дозволяє уникнути змішування фактичного й припущеного. Крім того, він дає змогу використовувати реконструкцію у навчальній, музейній і науковій роботі, не підміняючи нею саму пам'ятку.

У процесі практичної реконструкції важливо також фіксувати всі прийняті рішення. Якщо певний фрагмент відтворено за аналогією, потрібно зазначити, яка саме пам'ятка була використана для порівняння. Якщо колір реконструйовано за залишками пігментів, це також має бути описано. Якщо форма відтворена гіпотетично через відсутність прямих джерел, це потрібно позначити. Така документація не є зайвою бюрократичною частиною роботи. Вона забезпечує перевірюваність реконструкції й дозволяє в майбутньому змінити модель у разі появи нових даних.

Окремо слід зазначити, що віртуальна реконструкція має бути оборотною не в матеріальному, а в дослідницькому сенсі. Фізично вона не

втручається в пам'ятку, однак може впливати на те, як твір буде сприйматися глядачем або дослідником. Тому важливо зберігати всі робочі файли, шари, проміжні варіанти, 3D-моделі, текстури, карти втрат і пояснювальні матеріали. У цифровому середовищі реконструкція може бути переглянута, уточнена або відхилена без шкоди для оригіналу. Саме це є однією з її головних переваг порівняно з фізичним відтворенням утрачених фрагментів.

У випадку обраного живописного твору кінцевий результат може бути представлений у вигляді кількох цифрових аркушів або файлів: фото актуального стану; схема втрат; таблиця аналогій; реконструкція у контурі; реконструкція в кольорі; фінальний варіант із позначенням реконструйованих частин. Для поліхромної скульптури результат доцільно подавати як серію ракурсів або інтерактивну 3D-модель: актуальний стан; карта пошкоджень; реконструкція форми; реконструкція кольору; комбінований варіант; модель із вимкненими та увімкненими реконструйованими шарами.

Таким чином, практична віртуальна реконструкція на прикладі обраних творів живопису та поліхромної скульптури демонструє, що цифрові технології можуть бути ефективними лише за умови їх підпорядкування мистецтвознавчому й реставраційному аналізу. Самі по собі графічні редактори, 3D-моделі чи алгоритми обробки зображень не гарантують науково коректного результату. Їхня цінність проявляється тоді, коли вони працюють у зв'язці з аналізом стану збереженості, іконографічними та стилістичними аналогіями, техніко-технологічними даними й чітким розмежуванням автентичного та реконструйованого. Саме такий підхід дозволяє створити віртуальну реконструкцію, яка не претендує на заміну оригіналу, але допомагає глибше зрозуміти його первісний вигляд, художню структуру й потенційні шляхи подальшого дослідження.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто практичні аспекти застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. На основі попередньо визначених теоретичних положень і методичних принципів встановлено, що віртуальна реконструкція не може розглядатися лише як технічний процес створення цифрового зображення або 3D-моделі. Вона є складною дослідницькою процедурою, що поєднує реставраційне вивчення пам'ятки, мистецтвознавчий аналіз, добір аналогій, техніко-технологічні дані та цифрові методи візуалізації.

У процесі аналізу методології проведення віртуальної реконструкції було визначено основні етапи роботи: збирання вихідних матеріалів, цифрова фіксація об'єкта, аналіз стану збереженості, картографування втрат, добір іконографічних та стилістичних аналогій, вибір відповідних цифрових інструментів, створення реконструктивної моделі, її перевірка та презентація результатів. Така послідовність дає змогу уникнути довільності у відтворенні втрачених фрагментів і забезпечує зв'язок реконструкції з фактичними даними про твір.

З'ясовано, що особливо важливим етапом є аналіз стану збереженості пам'ятки. Саме він дозволяє визначити характер втрат і зрозуміти, що саме підлягає реконструкції: живописний шар, колористичне вирішення, орнамент, фактура, пластична форма або окремі декоративні елементи. Для творів живопису першочергове значення має фіксація меж втрат, стану авторського шару, пізніх нашарувань, кракелюру та попередніх реставраційних втручань. Для поліхромної скульптури, окрім цього, необхідно враховувати об'єм, пластику, характер поверхні, залишки ґрунту, поліхромії, позолоти та декоративних покриттів.

У розділі підкреслено, що вибір цифрових методів має залежати від характеру конкретного об'єкта та поставленого дослідницького завдання. Для площинного живопису доцільними є фотофіксація, цифрова обробка зображень, графічні редактори, пошарове моделювання та створення карт втрат. Для поліхромної скульптури особливого значення набувають фотограмметрія, 3D-сканування та 3D-моделювання, оскільки ці методи дозволяють працювати не лише з кольором, а й з просторовою формою, фактурою та пластичною структурою твору.

Практичний розгляд віртуальної реконструкції на прикладі обраних творів засвідчив, що реконструктивна модель повинна створюватися поступово: від фіксації актуального стану пам'ятки до формування кількох можливих варіантів відтворення. Особливо важливо не подавати цифрову реконструкцію як остаточний і беззаперечний вигляд твору. У випадках, коли джерельна база є неповною, доцільно створювати кілька варіантів реконструкції з різним рівнем достовірності та обов'язково пояснювати, на яких даних вони ґрунтуються.

Окремо встановлено, що іконографічні та стилістичні аналогії відіграють ключову роль у процесі реконструкції. Іконографічний аналіз допомагає визначити можливий зміст утрачених елементів, їхнє місце в композиції та зв'язок із сюжетною або символічною структурою твору. Стилiстичний аналіз дозволяє узгодити реконструйовані фрагменти з художньою мовою пам'ятки — характером лінії, пропорціями, колоритом, фактурою, декоративністю та способом трактування форми. Без такого аналізу цифрова реконструкція може бути технічно якісною, але художньо й науково непереконливою.

У ході дослідження підтверджено, що одним із головних принципів практичної реконструкції є візуальне відокремлення реконструйованих частин від автентичної основи. Цифрове середовище дає для цього широкі

можливості: використання окремих шарів, прозорості, умовного тонування, графічного маркування, паралельного показу актуального стану й реконструйованого варіанта. Такий підхід дозволяє зберегти наукову чесність реконструкції та не створювати ілюзії повного відновлення оригіналу.

Також визначено, що важливим результатом практичного застосування цифрових технологій є можливість збереження всіх проміжних етапів роботи. Робочі файли, карти втрат, цифрові шари, 3D-моделі, варіанти реконструкції та пояснювальні матеріали формують окремий комплекс наукової документації. Це дає змогу перевіряти результати, повертатися до попередніх етапів, уточнювати реконструкцію у разі появи нових даних і використовувати матеріали в музейній, освітній або реставраційній практиці.

Таким чином, практичне застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури доводить їхню ефективність як інструменту наукового аналізу, візуалізації та прогнозування реставраційних рішень. Цифрова реконструкція не замінює традиційну реставрацію і не підміняє автентичний твір, однак створює можливість дослідити його ймовірний первісний вигляд без фізичного втручання в матеріальну структуру пам'ятки. Саме тому вона є важливим засобом сучасної реставраційної практики, що поєднує повагу до автентичності, наукову обґрунтованість і нові можливості цифрової візуалізації.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі досліджено можливості застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. Встановлено, що ця проблематика є актуальною для сучасної реставраційної практики, оскільки цифрові інструменти дають змогу досліджувати, документувати й візуалізувати втрати без прямого фізичного втручання в автентичну матерію твору. Особливого значення це набуває для пам'яток зі складним станом збереженості, значними втратами живописного шару, фрагментарною поліхромією, пошкодженим декором або пластичною формою.

У результаті аналізу історіографії та джерельної бази з'ясовано, що питання віртуальної реконструкції активно розробляється у зарубіжному науковому дискурсі, зокрема в контексті digital heritage, 3D-візуалізації, реконструкції поліхромії, цифрової реставрації та музейної презентації культурної спадщини. Водночас в українському науковому середовищі ця тема ще не має достатньо цілісного висвітлення, особливо щодо комплексного застосування цифрових технологій саме до реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. Це підтверджує необхідність подальшого теоретичного й практичного опрацювання обраної теми.

Розглянуто теоретичні засади віртуальної реконструкції як допоміжного інструменту наукової реставрації. Встановлено, що вона не повинна ототожнюватися з фізичним відновленням пам'ятки або довільним цифровим «домальовуванням» утрачених частин. Віртуальна реконструкція має розглядатися як дослідницька модель, побудована на основі збережених фрагментів, архівних матеріалів, іконографічних аналогій, стилістичного аналізу, техніко-технологічних даних і цифрової обробки зображень. Її

головна цінність полягає у можливості перевіряти реконструктивні гіпотези без ризику для оригіналу.

У роботі визначено основні принципи віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва. До них належать наукова обґрунтованість, верифікованість джерел, документування етапів роботи, використання іконографічних і стилістичних аналогій, урахування матеріальної структури твору, візуальне відокремлення реконструйованих частин від автентичної основи, а також збереження інформації про ступінь достовірності реконструктивних припущень. Дотримання цих принципів дозволяє уникнути фальсифікації пам'ятки та забезпечує етичну коректність цифрового відтворення.

Проаналізовано цифрові технології та інструменти, які можуть застосовуватися у процесі віртуальної реконструкції. Серед них важливе місце посідають графічні редактори, цифрова обробка зображень, фотофіксація, картографування втрат, фотограмметрія, 3D-сканування, 3D-моделювання, мультиспектральна та гіперспектральна візуалізація, а також окремі методи комп'ютерного бачення й сегментації зображень. Встановлено, що вибір конкретного цифрового інструменту має залежати від характеру твору, типу втрат і поставленого дослідницького завдання. Для живопису першочерговими є робота із зображенням, шарами, кольором і межами втрат, тоді як для поліхромної скульптури необхідно враховувати об'єм, фактуру, пластику, залишки ґрунту, поліхромії та декоративних покриттів.

У ході дослідження було сформульовано методологію проведення віртуальної реконструкції втрачених фрагментів творів мистецтва. Вона передбачає послідовне виконання кількох етапів: збирання вихідних матеріалів, цифрову фіксацію пам'ятки, аналіз стану збереженості, створення карти втрат, добір аналогій, проведення іконографічного й стилістичного аналізу, вибір цифрових методів, створення первинної реконструктивної

моделі, її перевірку, візуальне відокремлення реконструйованих елементів і наукову презентацію результатів. Така послідовність дозволяє зробити процес реконструкції прозорим, контрольованим і придатним для подальшої перевірки.

Практичний розгляд застосування цифрових технологій на прикладі обраних творів живопису та поліхромної скульптури засвідчив, що віртуальна реконструкція повинна будуватися не лише на технічних можливостях програмного забезпечення, а передусім на фаховому аналізі пам'ятки. У випадку живопису важливими є точне визначення меж втрат, аналіз колориту, композиції, кракелюру, авторського шару та пізніх нашарувань. У випадку поліхромної скульптури особливої ваги набуває поєднання аналізу пластичної форми, фактури поверхні, залишків поліхромії, ґрунту, позолоти та декоративних елементів. Це доводить, що реконструкція живопису й поліхромної скульптури потребує різних, але взаємопов'язаних методичних підходів.

Встановлено, що іконографічні та стилістичні аналогії є необхідною складовою науково обґрунтованої реконструкції. Вони допомагають визначити можливий вигляд утрачених фрагментів, однак не можуть використовуватися механічно. Кожна аналогія повинна бути перевірена з погляду часу створення, регіону, художньої школи, техніки виконання, композиційної структури та стилістичних особливостей конкретного твору. Такий підхід дозволяє зменшити суб'єктивність реконструкції й уникнути випадкового перенесення чужорідних елементів у структуру пам'ятки.

Окремо обґрунтовано значення візуального відокремлення реконструйованих частин від автентичних. Цифрове середовище дає змогу реалізувати цей принцип через окремі шари, прозорість, умовне тонування, графічне маркування, порівняльні схеми або демонстрацію кількох варіантів реконструкції. Завдяки цьому глядач або дослідник може чітко розрізнити, які

елементи збережені, які реконструйовані на основі прямих даних, а які мають гіпотетичний характер. Це особливо важливо для музейної презентації, навчального процесу та наукової публікації результатів.

У роботі доведено, що віртуальна реконструкція має значний практичний потенціал для реставраційної, музейної та освітньої діяльності. Вона може бути використана для прогнозування реставраційних рішень, створення наукової документації, підготовки виставкових і мультимедійних матеріалів, презентації пам'яток із втраченими фрагментами, а також для навчання студентів-реставраторів і мистецтвознавців. Водночас цифрова реконструкція не замінює традиційну реставрацію, а доповнює її, створюючи можливість безпечного аналізу й візуалізації.

Отже, мети магістерського дослідження досягнуто: проаналізовано, науково обґрунтовано та систематизовано підходи до застосування цифрових технологій у віртуальній реконструкції втрачених фрагментів живопису та поліхромної скульптури. Виконані завдання дозволили визначити теоретичні засади, методичні принципи, цифрові інструменти та практичну послідовність роботи з реконструкцією втрат. Результати дослідження підтверджують, що віртуальна реконструкція є перспективним напрямом сучасної наукової реставрації, який сприяє збереженню автентичності творів мистецтва, поглибленню їхнього вивчення та розширенню можливостей культурної презентації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калашникова О.Л. Основи мистецтвознавчої експертизи та вартісної оцінки культурних цінностей: Підручник. К. : «Знання», 2006. 477 с.
2. Марінкола М., Каржер Л. Консервація середньовічної поліхромної дерев'яної скульптури: історія, теорія, практика /пер. з англ. К. : Родовід, 2024. 320 с., іл.
3. Марченко, І. Історичний розвиток деяких методик реставрації станкового живопису в контексті впливу на постреставраційний стан експонатів у ХХ ст. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*. 2015. № 1. С. 195–199.
4. Миколайчук, А. Р. Превентивна консервація та реставрація творів станкового живопису: використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Київ : Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, 2024.
5. Миколайчук, А. Використання інформаційно-комунікаційних технологій для практики консервації-реставрації. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2023. Т. 2, № 66. С. 90–96. DOI: 10.24919/2308-4863/66-2-12.
6. Сомик-Пономаренко, І. М., Миколайчук, А. Р. Техніка рельєфного левкасу як стильоутворююча складова художнього твору: історичний контекст та сучасні інтерпретації. *Integration of New Knowledge, Research and Innovation Across Europe : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ, 2020. С. 176–180.
7. Тимченко, Т. Р. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (історія та методологія) : навчальний посібник. Київ : НАКККіМ, 2017.

8. Тимченко, Т. Р., Миколайчук, А. Р. Роль інформаційно-комунікаційних технологій в експертизі та популяризації творів станкового живопису. *Народознавчі зошити*. 2024. № 2 (176). С. 415–425. DOI: 10.15407/nz2024.02.415.

9. Тимченко, Т. Р., Миколайчук, А. Р. Інноваційні технології в аналізі та збереженні ікон. *Topical Aspects of Modern Scientific Research : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference*. Tokyo : CPN Publishing Group, 2024. С. 212–214.

10. Тимченко, Т., Миколайчук, А. Використання цифрових технологій у дослідженнях та реставрації творів мистецтва. *Сьомі Платонівські читання : тези доповідей Міжнародної наукової конференції*. Київ : Видавництво Людмила, 2020. С. 51.

11. Carrozzino, M., Evangelista, C., Brondi, R., Tecchia, F., & Bergamasco, M. (2013). Virtual Reconstruction of Paintings as a Tool for Research and Learning. *Journal of Cultural Heritage*, 15, 308-312. URL: https://www.researchgate.net/publication/262679317_Virtual_reconstruction_of_paintings_as_a_tool_for_research_and_learning.

12. Chen Y., Zhang A., Shi J., Gao F., Guo J., Wang R. Paint Loss Detection and Segmentation Based on YOLO: An Improved Model for Ancient Murals and Color Paintings. *Heritage*, 2025, 8(4), 136; <https://doi.org/10.3390/heritage8040136>

13. Dumazet, S., et al. (2020). Virtual Restoration of a Medieval Polychrome Sculpture. URL: https://www.researchgate.net/publication/220868766_Virtual_Restoration_of_a_Medieval_Polychrome_Sculpture.

14. Horn, F., et al. (2006). Virtual Colour Reconstruction performed on the 3D model of a selected figure from the Terracotta Army. URL: https://www.academia.edu/1568856/Virtual_colour_reconstruction_performed_on_the_3D_model_of_a_selected_figure_from_the_Terracotta_Army

15. Leronés, P.M., et al. (2014). Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in cultural sites. Elsevier. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207413000927>.
16. McCarthy, J., et al. (2020). Open Workflows for Polychromatic Reconstruction of Sculpture. ACM Digital Library. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3386314>.
17. MacDonald, L. (Ed.). (2019). Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage. OAPEN. URL: <https://library.oapen.org/bitstream/id/741cdc96-14f1-475a-8339-b71328800c6b/9781942401353.pdf>.
18. Mol, V. R., Maheswari, P. U. The Digital Reconstruction of Degraded Ancient Temple Murals Using Dynamic Mask Generation and an Extended Exemplar-Based Region-Filling Algorithm. *Heritage Science*. 2021. Vol. 9, № 1. DOI: 10.1186/s40494-021-00604-2.
19. Muca, S. Virtual Conservation-Restoration VS. ACTUAL Conservation-Restoration in the Conservation of Fragmentary Artefacts: The Case Study Frescoes from Sybaris - Copia (Italy). *Ochrona Dziedzictwa Kulturowego*. 2019. № 8. P. 211–222. DOI: 10.35784/odk.1087.
20. Muir, K. Approaches to the Reintegration of Paint Loss: Theory and Practice in the Conservation of Easel Paintings. *Studies in Conservation*. 2009. Vol. 54, Suppl. 1. P. 19–28. DOI: 10.1179/sic.2009.54.supplement-1.19.
21. Muñoz-Pandiella, I., Andújar, C., Cayuela, B., Pueyo, X., Bosch, C. Automated Digital Color Restitution of Mural Paintings Using Minimal Art Historian Input. 2023.
22. Mykolaichuk, R., Tymchenko, T., Somyk-Ponomarenko, I., Mykolaichuk, A., Mykolaichuk, V., Mykolaichuk, A. Information Technology in Conservation and Restoration of Art Works: Perspectives of Ukrainian Universities Project. *Electronic Imaging & the Visual Arts. EVA 2019 Florence. Proceedings E Report*. 2019. P. 124–131. DOI: 10.36253/978-88-6453-869-3.

23. Mykolaichuk, R., Lavrynovych, V., Mykolaichuk, A., Tymchenko, T., Somyk-Ponomarenko, I. Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old Paintings. *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. 2020. P. 390–394. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349254.

24. Mykolaichuk, A., Somyk-Ponomarenko, I. Digital Technologies in Conservation and Research of Easel Painting: Perception of International Experience. *Музей просто неба в соціокультурному просторі : матеріали Міжнародної наукової конференції*. 2019. С. 384–390.

25. Pietroni, E., Ferdani, D. Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage. *Information*. 2021. Vol. 12, № 4. Article 167. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/12/4/167>.

26. Rodriguez-García, B., et al. (2024). A systematic review of virtual 3D reconstructions of Cultural Heritage. *Multimedia Tools and Applications*. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-024-18700-3>.

27. Siotto, E., & Cignoni, P. (2024). Digital methods and techniques to reconstruct and visualize 3D ancient polychromy. *Journal of Cultural Heritage*, 68, 59-85. URL: https://www.researchgate.net/publication/381671882_Digital_methods_and_techniques_to_reconstruct_and_visualize_3D_ancient_polychromy_an_overview.

28. Tong, Y., Cai, Y., Nevin, A. et al. (2023). Digital technology virtual restoration of the colours and textures of polychrome Bodhidharma statue. *Heritage Science*, 11, 12. URL: <https://www.nature.com/articles/s40494-023-00858-y>.

29. Closer to Van Eyck: Rediscovering the Ghent Altarpiece : digital research project.

<https://closertovaneyck.kikirpa.be/> Дата звернення: 16.05.2026.

30. Ivan Honchar Museum. Museum collections. URL: <https://honchar.org.ua/en/collections> Дата звернення: 12.05.2026.

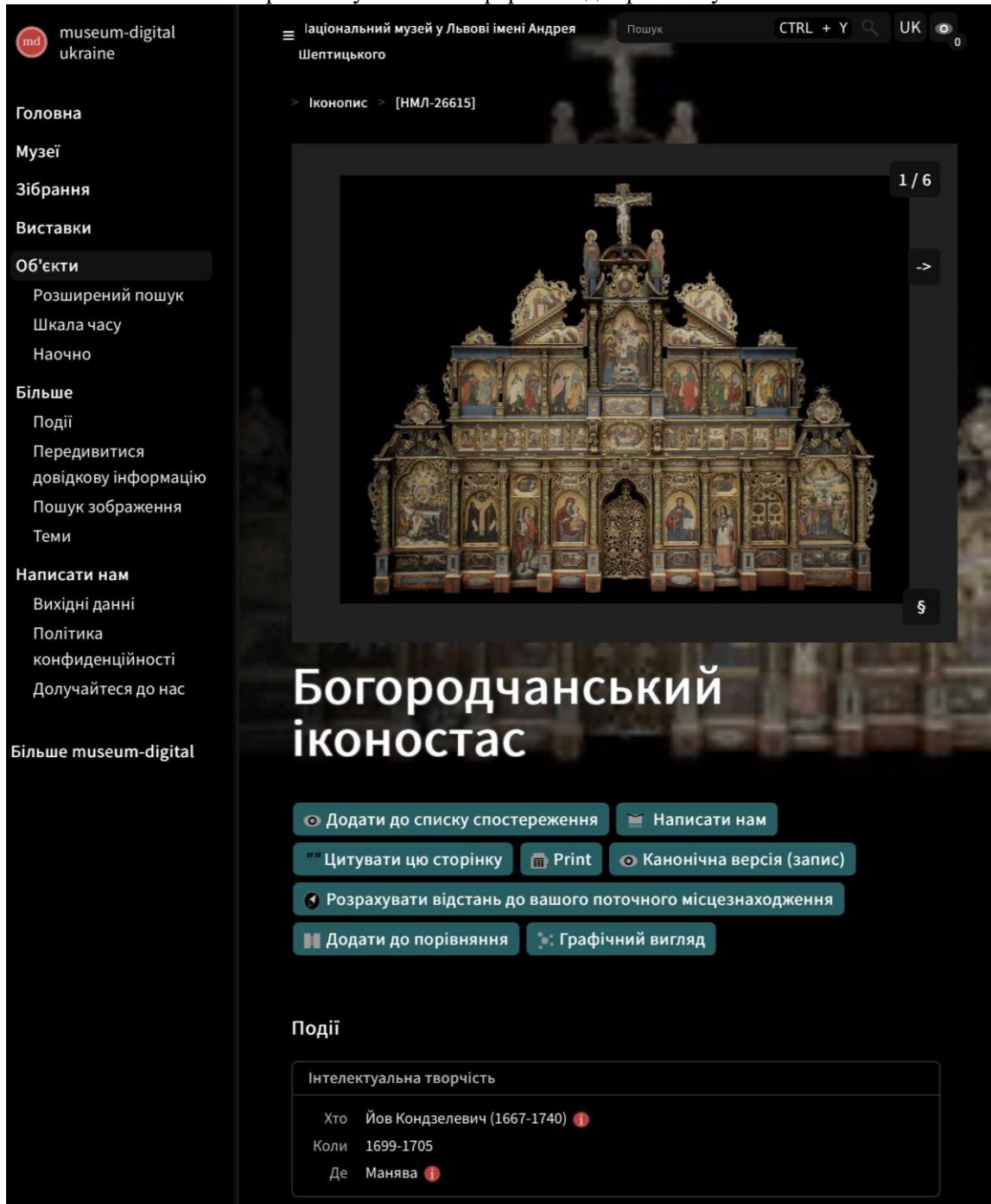
31. Europeana Twin it! A pan-European collection of heritage 3D models.
URL: <https://www.europeana.eu/en/galleries/15694-twin-it-a-pan-european-collection-of-heritage-3-d-models> Дата звернення: 05.05.2026.
32. E.C.C.O. Competences – European Confederation of Conservator-Restorers’ Organisations: Competences for access to the conservation-restoration profession. (n.d.). https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/01/ECCO_Competences_EN.pdf
33. ICOM. (2017). ICOM Code of Ethics for Museums. <https://icom.museum/wp-content/uploads/2018/07/ICOM-code-En-web.pdf>
34. ICOM-CC | Definition of the profession (1984). (n.d.). <https://www.icom-cc.org/en/definition-of-the-profession-1984>
35. Museum-digital Ukraine. Національний музей у Львові. Іконопис.
URL: <https://ua.museum-digital.org/object/2466>
36. Operation Night Watch : research and conservation project. Rijksmuseum.
URL: <https://www.rijksmuseum.nl/en/stories/operation-night-watch>
Дата звернення: 15.05.20
37. Smithsonian Museum Conservation Institute. Infrared and Ultraviolet Imaging. URL: <https://mci.si.edu/infrared-and-ultraviolet-imaging> Дата звернення: 10.05.2026.
38. Thyssen-Bornemisza Museo Nacional. URL: <https://www.museothyssen.org/en/collection/artists/burgkmair-hans/christs-body-carried-tomb> Дата звернення: 16.05.2026.

ДОДАТКИ

Додаток А

НАЗВА

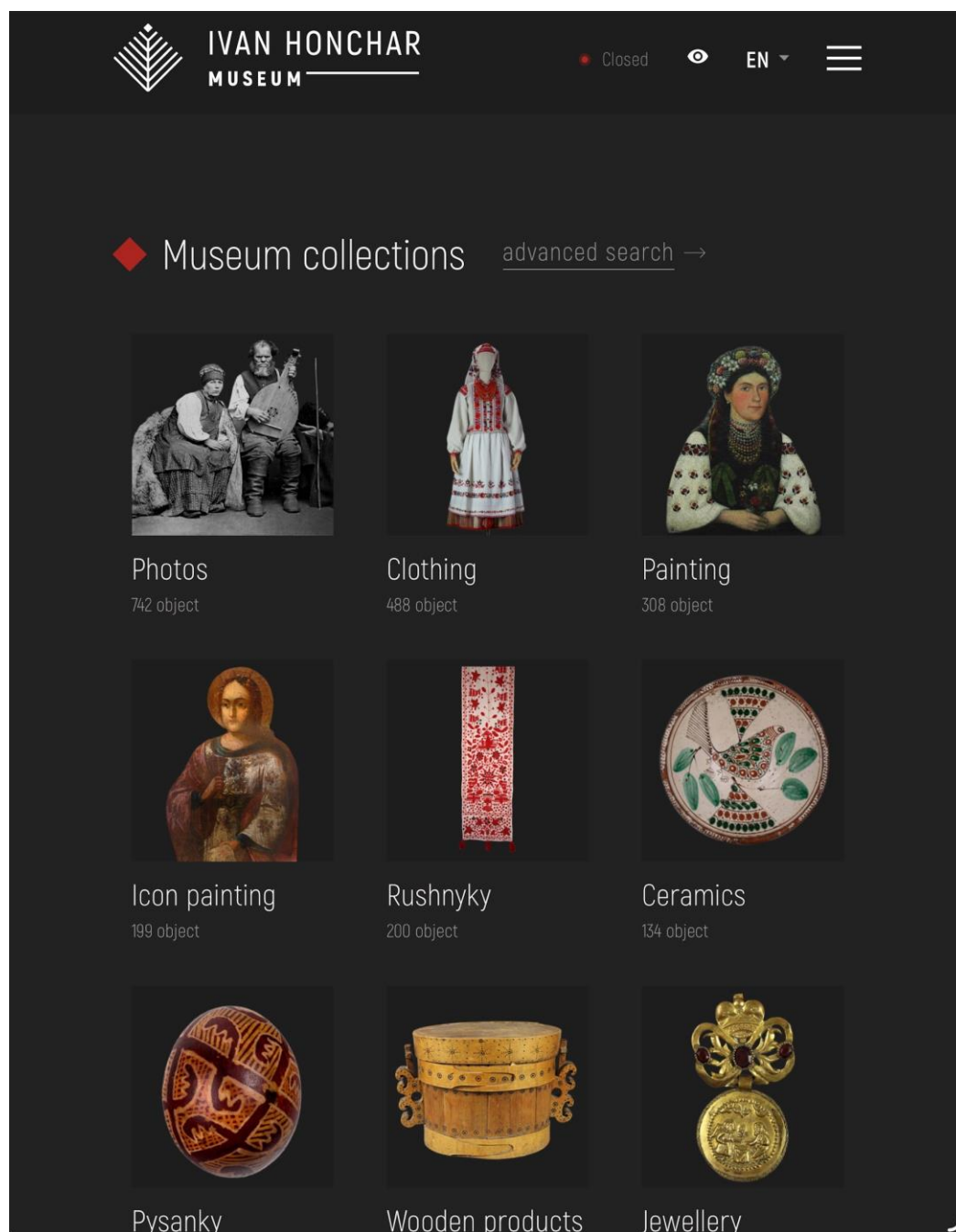
Рис. А.1. Електронна музейна платформа як джерело візуальних аналогій



(Богородчанський іконостас, Національний музей у Львові імені Андрея Шептицького, Museum-digital: Ukraine)[35]

Платформа Museum-digital: Ukraine може використовуватися як приклад електронного музейного каталогу, що містить цифрові записи про музейні предмети, їхні зображення, назви, матеріали, техніки та місце зберігання.

Рис. А.2. Електронні музейні колекції



(Ivan Honchar Museum — Museum collections: *Painting, Icon painting, Wooden products*)[30]

Електронна колекція Музею Івана Гончара містить зразки живопису, іконопису, дерев'яних виробів та предметів народного сакрального мистецтва, які можуть бути використані для пошуку іконографічних і стилістичних аналогій.

Рис. А.3. Інфрачервона візуалізація



(Don Hurlbert, CSIP, Smithsonian Museum of Natural History) [37]

Інфрачервона візуалізація є неруйнівним методом, який допомагає виявляти приховані деталі під верхніми шарами твору, зокрема підмалювки, підписи, авторські зміни.

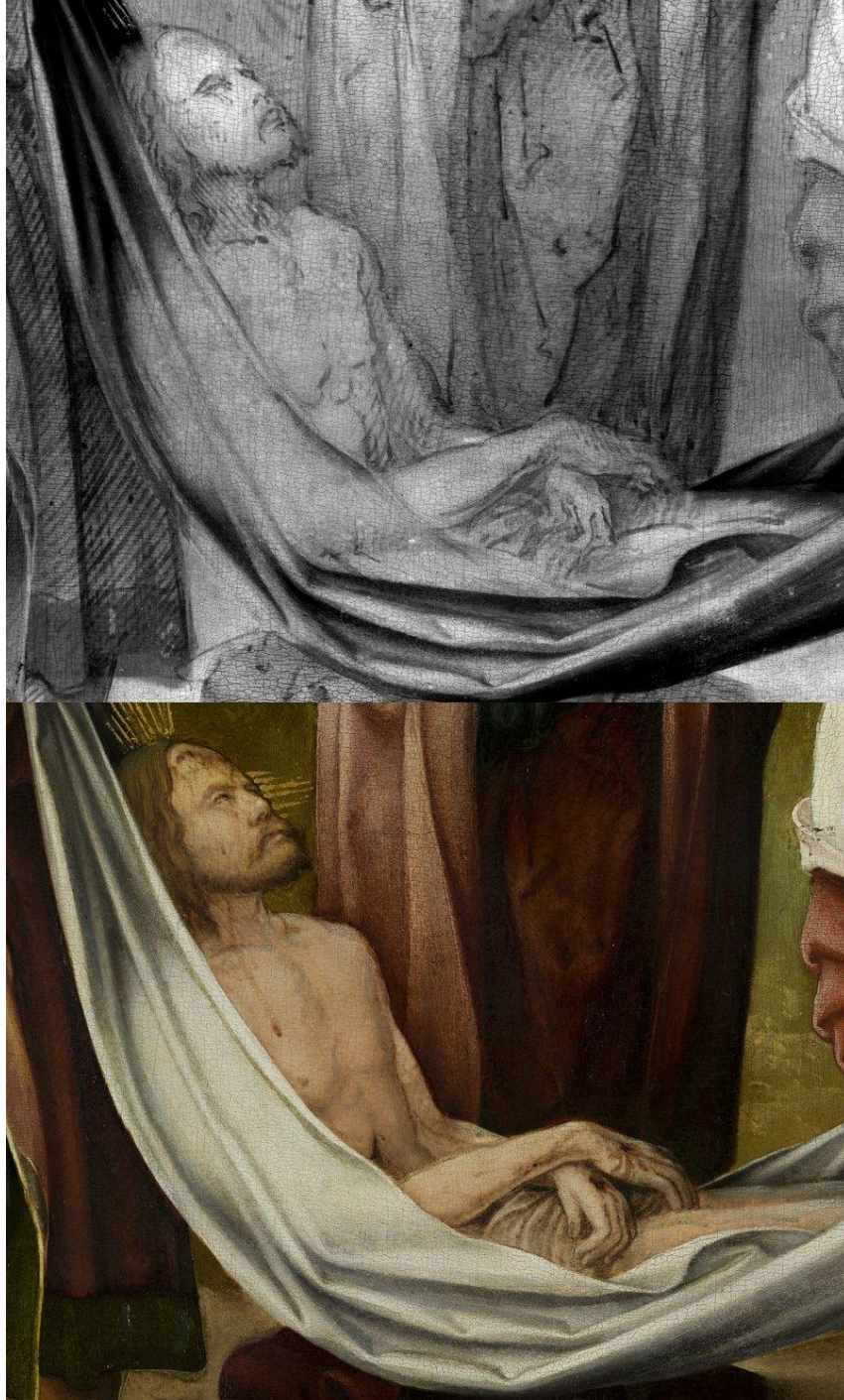
Рис. А.4. Дослідження з використанням ультрафіолетового випромінювання



(Smithsonian Museum of Natural History) [37]

Ультрафіолетове випромінювання широко застосовується у реставрації творів мистецтва як неруйнівний метод дослідження. Флуоресценція, індукована УФ-випромінюванням, використовується для ідентифікації, характеристики, оцінювання стану збереженості та реставраційної обробки об'єктів. Вона є особливо корисною у випадках дослідження органічних матеріалів, зокрема пластмас, покриттів і клеїв.

Рис. А.5. Інфрачервона рефлектографія



(Burgkmair's painting "Christ's Body Carried to the Tomb", Museo Thyssen) [38]

ІЧ-рефлектографія дозволяє бачити підшари твору: рисунки, виправлення, повторне використання полотна або приховані написи

НАЗВА

Рис. Б.1. Доступ до 3D-моделей культурної спадщини

(Europeana “Twin it! 3D for Europe’s culture”, The Heidentor in Petronell-Carnuntum)



© ⓘ CC BY-SA

⊕ ♥ ↵ SHARE

The Heidentor in Petronell-Carnuntum

The gate was originally a so-called quadrifrons, a building with four pillars and four arches.

Еуреана пояснює, що кампанія Twin it! збрала 3D-оцифровані об’єкти культурної спадщини з країн ЄС і демонструє, як 3D-оцифрування допомагає зберігати, досліджувати та популяризувати спадщину. [31]

Рис. Б.2. Цифрове дослідження Гентського вітаря в проєкті “Closer to Van Eyck”

(Closer to Van Eyck: Rediscovering the Ghent Altarpiece)



Проект Closer to Van Eyck є прикладом масштабного цифрового дослідження твору живопису. Він дає змогу вивчати Гентський вітар у високій роздільності та в різних режимах технічної візуалізації. [29]

Рис. Б.3. Порівняння різних режимів технічної візуалізації живопису

(Closer to Van Eyck: infrared macrophotography (a), infrared reflectography (b), X-radiography (c))



Порівняння інфрачервоної зйомки, інфрачервоної рефлектографії та рентгенографії демонструє можливість виявлення прихованих шарів, підготовчих рисунків, авторських змін і стану збереженості живописного шару. [29]

Б.4. Дослідницько-реставраційний проєкт “Operation Night Watch”

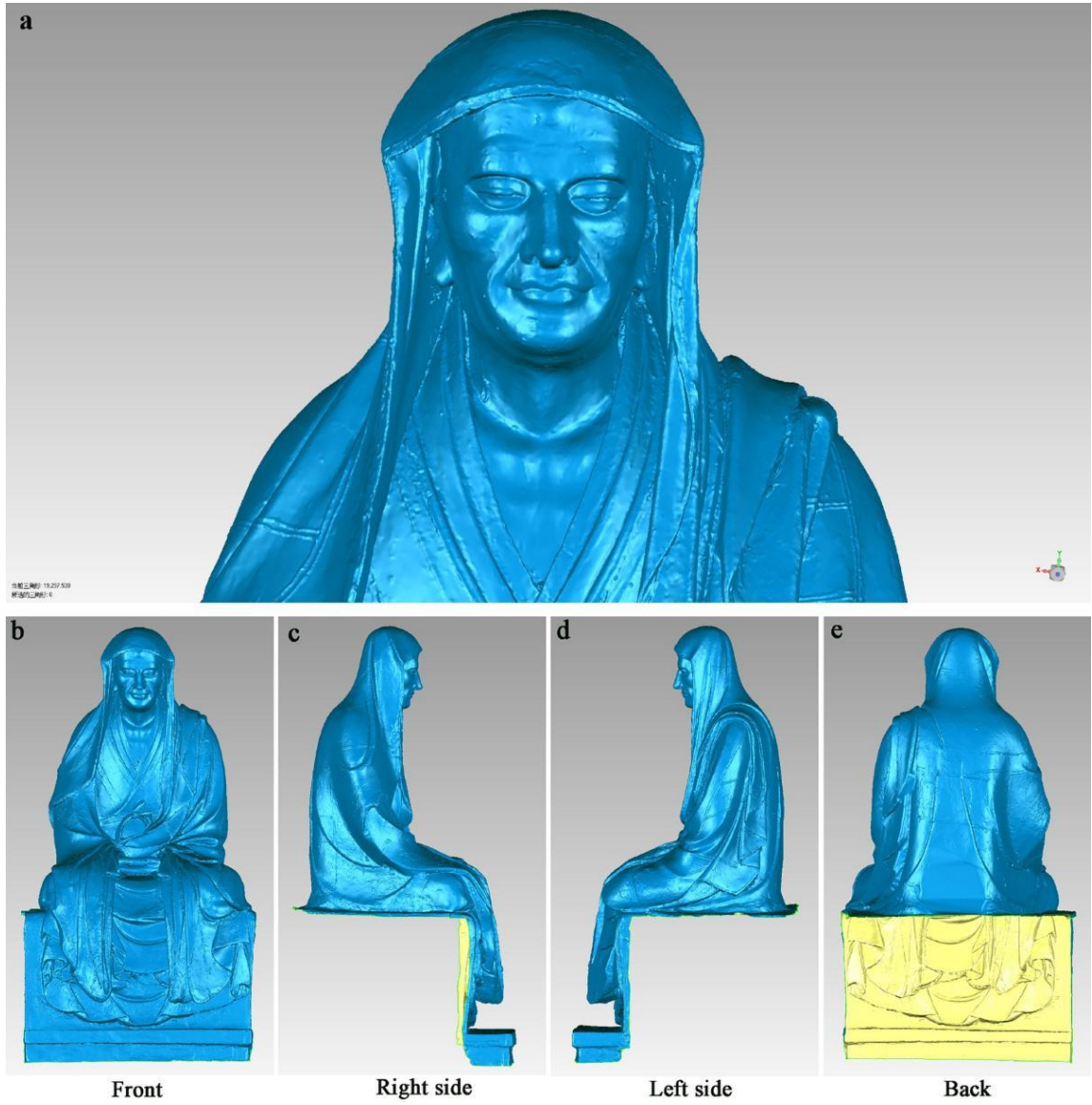
(Rijksmuseum, Operation Night Watch)



Проект Operation Night Watch є прикладом комплексного дослідження та реставрації твору живопису із застосуванням сучасних методів цифрової документації, технічної візуалізації та матеріалознавчого аналізу. [36]

Рис. Б.5. Віртуальна реставрація кольору і текстури поліхромної скульптури Бодхідгарми
(Tong Y., Cai Y., Nevin A. et al., “Digital technology virtual restoration of the colours (a) and textures
(b) of polychrome Bodhidharma statue” [28])

(a)



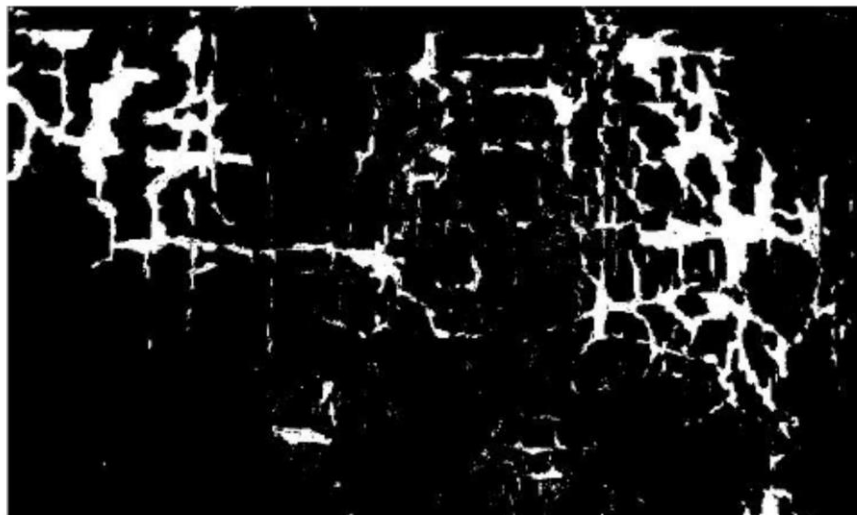
(b)



У дослідженні запропоновано віртуальне відновлення кольору та текстури поліхромної скульптури Бодхидгарми з храму Лін'янь у Китаї. Автори поєднують науковий аналіз, цифрову фотографію, 3D-сканування та багаторакурсну 3D-реконструкцію. [28]

Рис. В.1. Визначення пошкоджених ділянок у старому живописі за допомогою сегментації зображення

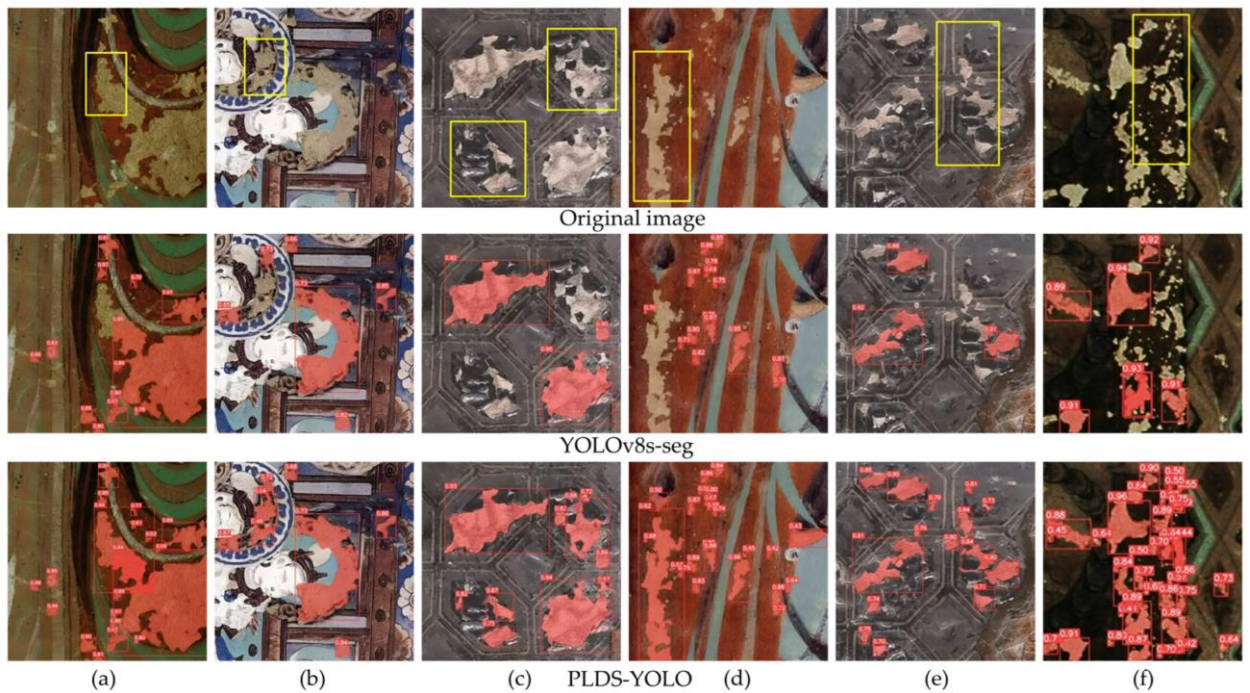
(Mykolaichuk R., Lavrynovych V., Mykolaichuk A., Tymchenko T., Somyk-Ponomarenko I., “Image Segmentation in Loss Detection for Conservation and Restoration of Old Paintings” [23])



У статті зазначено, що для виявлення втрат у старому живописі використовуються методи обробки зображень, сегментації та згорткові нейронні мережі.[23]

Рис. В.2. Приклад цифрового визначення втрат фарбового шару в давньому настінному живописі

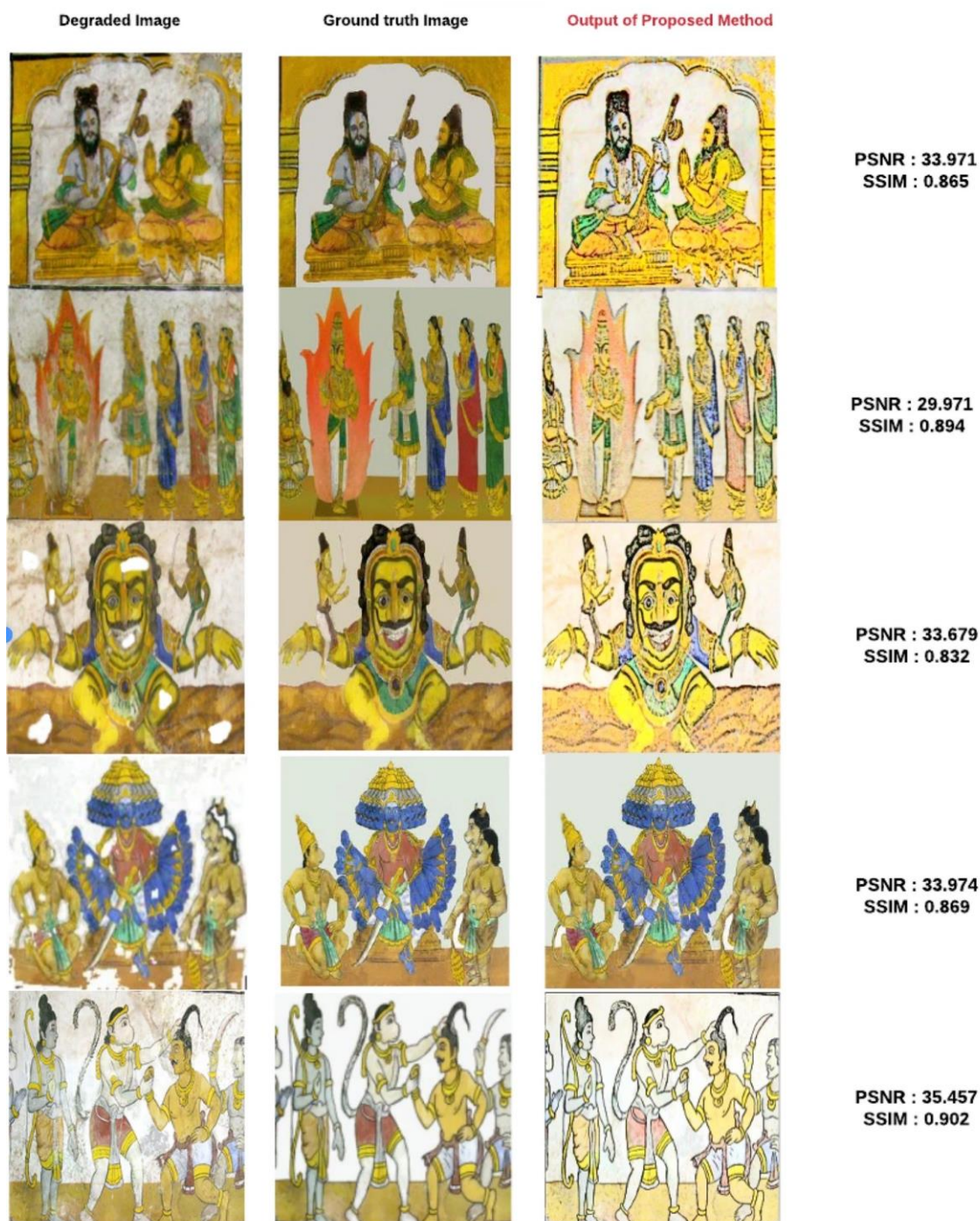
(Chen Y., Zhang A., Shi J., Gao F., Guo J., Wang R., “Paint Loss Detection and Segmentation Based on YOLO: An Improved Model for Ancient Murals and Color Paintings” [12, fig. 7])



У статті підкреслено, що виявлення та сегментація втрат фарби є критично важливими для подальших реставраційних дій; запропонована модель PLDS-YOLO спрямована саме на точніше визначення деградованих ділянок у муралах і кольоровому живописі. [12]

Рис. В.3. Приклад цифрового відновлення пошкоджених храмових муралів

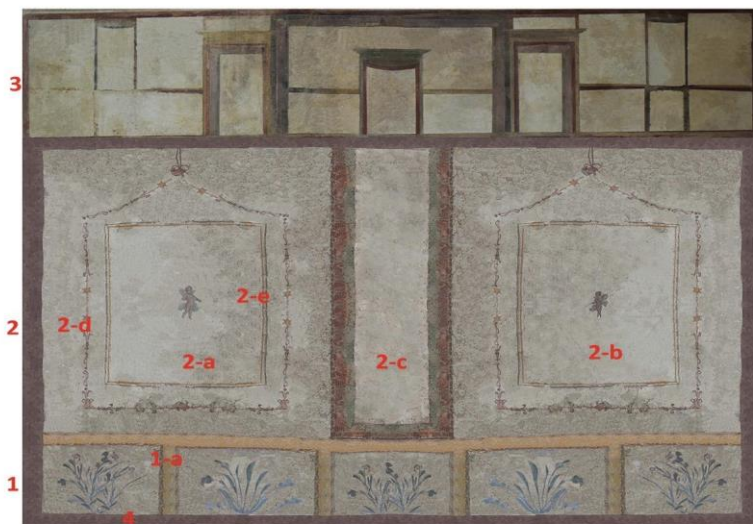
(Mol V. R., Maheswari P. U., “The Digital Reconstruction of Degraded Ancient Temple Murals Using Dynamic Mask Generation and an Extended Exemplar-Based Region-Filling Algorithm” [18])



Ілюстрація демонструє практичний результат цифрового заповнення пошкоджених ділянок настінного живопису. У статті наголошено, що запропонований метод спрямований на відновлення кольорових значень, текстури та заповнення пошкоджених зон на основі аналізу навколишніх ділянок. [18]

Рис. В.4. Віртуальна консервація-реставрація фрагментованих фресок із Sybaris-Copia

(Muca S., “Virtual Conservation-Restoration vs. Actual Conservation-Restoration in the Conservation of Fragmentary Artefacts: The Case Study Frescoes from Sybaris-Copia (Italy)” [19])



Virtual Restoration of the west Wall. 1, 2, 3, three horizontal bands. (4) a frame of red-morellone delimited the edges of the wall. (1-a) Yellow- morellone stripes and vegetal motifs. (2- a, b) two panels with vegetable branches, inside which are smaller panels made of a double line in morellone and yellow (2-d, e). (2-c) a vertical element, similar to a simplified edicula made of three colour bands: morellone, yellow and green (Author of the sketch, Sokol Muca, ISCR-Matera student)



3D reconstruction hypothesis of the Domus of Copia environment, Archaeological Park of Sybaris, area 70 (Author of the sketch, Sokol Muca, ISCR-Matera student)

Практична реконструкція на прикладі обраних творів і роль цифрових методів у відновленні цілісності фрагментованих пам'яток. У статті йдеться про значення нових цифрових технологій для консервації-реставрації фрагментованих артефактів, особливо тоді, коли втрачено формальну єдність і немає документів про первісне розташування фрагментів. [19]