

МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО

УДК 7.025'174

DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/78-2-8>

Антоніна МИКОЛАЙЧУК,

orcid.org/0000-0002-3536-7262

*докторка філософії, доцентка кафедри мистецтвознавчої експертизи
Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв
(Київ, Україна) a.mykolaichuk@dakkkim.edu.ua*

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ ВТРАТ У СТАНКОВОМУ ЖИВОПИСІ

Стаття присвячена дослідженню сучасних підходів до компенсації втрат у станковому живописі за допомогою цифрових технологій та програмного забезпечення. У роботі розглядаються переваги застосування графічних редакторів, таких як Adobe Photoshop, Sketchfab, PicMan та Blender, що дозволяють не лише відтворювати втрачені елементи з високою точністю, але й зберігати кольорову палітру, текстури та стилістичні особливості оригінальних творів. Підкреслено, що методи віртуальної реконструкції дозволяють мінімізувати втручання в матеріал оригіналу, забезпечуючи збереження його автентичності. Цифрові інструменти дозволяють реставраторам експериментувати з різними підходами, проводити детальний аналіз та документування реставраційних процесів, що особливо важливо для складних або значно пошкоджених творів.

У статті також аналізуються можливості штучного інтелекту (ШІ), нейронних мереж та машинного навчання для виявлення втрат, відновлення елементів і прогнозування пошкоджень, що є корисним для превентивної консервації. Наводяться приклади успішного використання цих технологій у міжнародних проєктах, де ШІ допомагає виявляти невидимі дефекти та точно відтворювати відсутні частини. Також розглядаються технології доповненої та віртуальної реальності, які дозволяють реставраторам візуалізувати результати в реальному часі, покращуючи розуміння процесів.

Зроблено висновок, що цифрові технології можуть значно покращити ефективність реставраційних робіт, проте вимагають глибоких міждисциплінарних знань. Використання цих інструментів супроводжується новими викликами, пов'язаними з етикою, збереженням автентичності та можливими спотвореннями. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методологій і розширення можливостей використання сучасних цифрових інструментів у сфері збереження культурної спадщини. Особливу увагу варто зосередити на інтеграції технологій ШІ, що може суттєво змінити підхід до реставрації та забезпечити більш сталі збереження мистецьких об'єктів у майбутньому.

Ключові слова: станковий живопис, реставрація, компенсація втрат, цифрові інструменти, Adobe Photoshop, Blender, штучний інтелект.

Antonina MYKOLAICHUK,

orcid.org/0000-0002-3536-7262

PhD,

*Associate Professor at the Department of Art Studies
National Academy of Culture and Arts Management
(Kyiv, Ukraine) a.mykolaichuk@dakkkim.edu.ua*

DIGITAL TOOLS FOR LOSS COMPENSATION IN EASEL PAINTING

This article is dedicated to exploring modern approaches to compensating for losses in easel painting using digital technologies and software. It discusses the advantages of employing graphic editors such as Adobe Photoshop, Sketchfab, PicMan, and Blender, which not only enable the accurate restoration of lost elements but also preserve the color palette, textures, and stylistic features of the original artworks. The article emphasizes that virtual reconstruction methods minimize intervention in the original material, thereby preserving its authenticity. Digital tools allow restorers to experiment with different approaches, conduct detailed analysis, and document restoration processes, which is especially important for complex or heavily damaged works.

The article also analyzes the potential of artificial intelligence (AI), neural networks, and machine learning in detecting losses, restoring elements, and predicting damage, which are valuable for preventive conservation. Examples of successful application of these technologies in international projects are provided, where AI aids in identifying invisible defects and accurately reproducing missing parts. The study further explores augmented reality and virtual reality technologies, which enable restorers to visualize results in real-time, enhancing process comprehension.

The conclusion is that digital technologies can significantly improve the efficiency of restoration work but require profound interdisciplinary knowledge. The use of these tools also introduces new challenges related to ethics, authenticity preservation, and potential distortions. Future research should focus on refining methodologies and expanding the capabilities of modern digital tools in cultural heritage preservation. Special attention should be given to integrating AI technologies, which could fundamentally change restoration approaches and ensure more sustainable conservation of artworks in the future.

Key words: easel painting, restoration, loss compensation, digital tools, Adobe Photoshop, artificial intelligence, Blender.

Вступ. Компенсація втрат у станковому живописі є критично важливим аспектом реставрації творів мистецтва та спрямована на відновлення візуальної цілісності пошкоджених робіт. Традиційно цей процес опирається на кропіткі ручні техніки, що вимагають глибокого розуміння матеріалів і методів, які використовував оригінальний автор. Проте традиційні підходи часто стикаються з обмеженнями, особливо коли йдеться про складні втрати, необхідність точного підбору кольору та відтворення текстури тощо. Це підкреслює зростаючу потребу в більш досконалих та адаптивних методах у сфері збереження пам'яток мистецтва.

Особливу увагу привертають користувацькі програмні рішення обробки цифрових зображень, які стають потужними помічниками реставраторів, пропонуючи безпрецедентну точність, гнучкість та ефективність. Ці інструменти дозволяють детально аналізувати, реконструювати та візуалізувати втрачені або пошкоджені ділянки, що дає можливість реставраторам саме у неінвазивний та оборотний спосіб експериментувати з різними підходами. Використання цифрових програм не лише підвищує точність реставраційних робіт, але й забезпечує легке документування та можливість відтворення процесу.

Аналіз досліджень. Сучасні способи заповнення втрачених ділянок живопису, а також підхід, за якого втрати взагалі не доповнюються, є предметом тривалих дискусій. Згідно з положеннями Венеційської хартії (1964), реставраційні доповнення повинні чітко відрізнятися від оригінальних частин твору (Тимченко, 2022: 150). Такий підхід сформувався у відповідь на усвідомлення неможливості достовірного відтворення втраченого оригіналу і був значно підкріплений у ХХ столітті завдяки теоретичним працям Чезаре Бранді.

Сьогодні реставратори мають доступ до різноманітних методів компенсації втрат, що дозволяє обирати найкращий підхід для кожного конкретного об'єкта. Серед найпопулярніших технік – нейтральне заповнення, тональне пом'якшення доповнень, міметичний підхід, тратеджо, пуантіє, лесування та інші (Marincola & Kargère, 2020: 190–191). Ці техніки набули особливої популярності після закінчення Другої сві-

тової війни (Muir, 2009: 25–26), хоча і сьогодні, у випадку класичного олійного живопису з глибокими ефектами, міметичне відтворення залишається найбільш оптимальним варіантом.

Сучасні підходи наголошують на важливості дотримання етичних принципів у реставрації, таких як зворотність матеріалів і читабельність доповнень (Nadolny, 2020: 583–585). При цьому, доповнення мають гармонійно вписуватися в пам'ятку та не привертати зайвої уваги. Ці принципи стали ключовими в музейній реставрації, де часто надають перевагу умовному заповненню втрат або навіть відмовляються від реконструктивних доповнень при значних пошкодженнях живопису.

Однак, попри значний розвиток теоретичних основ і практичних методів реставрації, деякі аспекти все ще залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, це стосується використання спеціального програмного забезпечення для компенсації втрат у станковому живописі. Інформаційно-комунікаційні технології відкривають нові можливості для реставрації, дозволяючи створювати віртуальні реконструкції втрачених частин творів. Ці технології дають змогу оптимізувати процес створення ескізів відтворення втрачених частин, що може бути використано як для безпосередньої реставрації пам'ятки, так і для створення копій-реконструкцій (Somyk-Ponomarenko, 2020). Таким чином, аналіз існуючих досліджень свідчить про важливість розвитку нових підходів і методів у сфері реставрації. Проте, на сьогодні відсутні достатньо розроблені підходи щодо методології та ефективності застосування сучасного програмного забезпечення, що може суттєво обмежити його ефективність.

Метою цієї статті є дослідження та оцінка потенціалу користувацького програмного забезпечення для компенсації втрат станкового живопису. Стаття має на меті проаналізувати, як сучасні цифрові інструменти можуть бути використані для відновлення пошкоджених або частково втрачених частин картин, зокрема в контексті їхнього художнього та історичного значення.

Виклад основного матеріалу. Використання спеціалізованого програмного забезпечення стає все більш важливою складовою сучасної рестав-

раційної практики для відновлення втрачених частин станкових творів мистецтва. Одним із перших задокументованих прикладів застосування комп'ютерних технологій у реставрації в Україні стало використання растрового графічного редактора Photoshop на кафедрі реставрації Харківського художньо-промислового інституту. Як відзначає О. Чекаль, цей редактор використовували для створення ескізів реконструкції втрат у живописі, що дозволяло створювати кілька варіантів у короткий термін, легко вносити корективи та мінімізувати вплив індивідуального стилю реставратора (Чекаль, 1999: 202–203). Подібний підхід використовували викладачі КПНУ ім. І. Огієнка Олександр Віштаченко та Іван Підгурний, які описали, як цифрові методи корекції та реконструкції втрат за допомогою схожих фрагментів можуть органічно доповнювати традиційні способи, хоч і не можуть повністю їх замінити (Віштаченко & Підгурний, 2010: 41–42). Вчений В.І. Цитович зазначає, що під час експертизи живопису така обробка дозволяє покращити тональний контраст, збільшити насиченість кольорів і навіть замінити колір (Цитович, 2018: 31–32).

Застосування цифрових технологій у реставрації на міжнародному рівні зазнало значного розвитку, особливо помітного з розвитком сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, таких як Інтернет речей, хмарні технології, доповнена та віртуальна реальність, особливо, штучний інтелект, зокрема нейронні мережі, машинне навчання тощо, які почали активно використовуватися у великомасштабних міжнародних реставраційних проєктах (Z. Zhang et al., 2023; Eom & Lee, 2023; Neumiller et al., 2020; Kirchner et al., 2019), розгорнутих задля збереження найцінніших пам'яток світової культурної спадщини.

Так, в ході реставрації портрета сера Сонг Онг Сіанга в Сінгапурі спершу за допомогою таких аналітичних методів, як УФ-флуоресценція та рентгенографія, було визначено ступінь пошкодження перед перемальовуванням картини, потім було відновлено початкову техніку живопису та сплановано реставраційні заходи. Це дозволило провести хроматичну реінтеграцію рис обличчя з високою точністю за допомогою анатомічних малюнків і комп'ютерного моделювання. Отже, як зазначає автор дослідження та реставратор Дам'ян Лізун, цифрова реконструкція відіграла вирішальну роль у відновленні значних втрат фарбового шару обличчя портрета (Lizun, 2019).

Реставрація мистецьких творів активно використовує користувацькі графічні редактори, в яких програмне забезпечення, що зазвичай засто-

совується для роботи з 2D та 3D зображеннями, відеоіграми та візуалізацією, забезпечує широкий набір інструментів для точного аналізу і відтворення втрачених фрагментів. Наприклад, Adobe Photoshop, PicMan, Blender, демонструють високу ефективність у реставраційних проєктах завдяки функціям кольорової корекції та заповнення. Саме обробка 3D зображень була реалізована під час віртуальної реставрації картин Вінсента ван Гога (Kirchner et al., 2019; Kirchner et al., 2021). «Зоряної ночі» Тут програма дозволила точно відтворити кольорову гаму художника та текстури, зберігаючи художню цілісність твору без фізичного втручання (Neumiller et al., 2020). Blender, популярний серед 3D-художників та аніматорів, стає незамінним інструментом для створення високоточних тривимірних моделей і реконструкцій (Henriques et al., 2018), дозволяє реставраторам з більшою точністю планувати реставраційні заходи.

Sketchfab, платформа для створення та візуалізації 3D моделей, була застосована у випадку цифрової реставрації «Зоряної ночі», де програмне забезпечення забезпечило високоточну візуалізацію текстур і мазків пензля, роблячи можливим ретельне вивчення кольорових та світлових особливостей полотна (Neumiller et al., 2020). Дослідники наголошують на особливу значимість достатньої кількості якісних цифрових фотографій (Kirchner et al., 2021), оскільки неінвазивні маніпуляції проводяться саме із цифровими зображеннями пам'ятки.

Подібно, користувацька графічна програма PicMan показала відмінні результати в аналізі кольорових просторів і діагностиці втрат у проєкті реставрації корейського буддійського живопису з храму Ансімса, що дозволило більш детально оцінити стан твору і визначити області пошкодження (Eom & Lee, 2023).

Таким чином, використання цих програмних інструментів не лише підвищує точність і гнучкість реставраційних процесів, але й дозволяє інтегрувати цифрові методи з традиційними, що є ключовим аспектом сучасної реставраційної практики. Подальшим кроком є зростання досліджень щодо використання штучного інтелекту, нейронних мереж та машинного навчання в реставрації мистецьких творів.

Промовистим є застосування потужних інструментів штучного інтелекту, зокрема згорткових нейронних мереж для реставрації, в сумісному проєкті віртуальної реставрації шедевр Сандро Боттічеллі «Народження Венери» Боттічеллі (~1485) італійських, канадійських та китайських наукових інституцій (Z. Zhang et al., 2023).

Зокрема, полотно спершу була відтворено професійним реставратором і для тестування алгоритму було штучно внесені три різні дефекти на репліці. Змодельовані нейронними мережами алгоритми глибокого навчання для комп'ютерного зору використовувалися для навчання, тоді як репліка використовувалася для тестування. Використання згорткових нейронних мереж дозволило досягти середньої точності 96,67% у відновленні кольорових шарів та текстур, що підтверджує ефективність таких методів у точному заповненні втрат (Z. Zhang et al., 2023).

Комп'ютерна реінтеграція у проєкті, реалізованому Інститутом консервації Гетті та містом Лос-Анджелес відіграла важливу роль у процесі відновлення втрачених фрагментів муралу «Америка тропічна» Давида Альфаро Сікейроса, дозволяючи зберегти стиль художника та делікатно заповнити втрати оригінальної композиції. Це підкреслює важливість сучасних цифрових технологій у забезпеченні точності та автентичності реставраційних робіт, що вимагає мінімального втручання у матеріал оригіналу (MacDonald-Korth & Rainer, 2014). Інші проєкти демонструють переваги застосування штучного інтелекту для прогнозування та пом'якшення ризиків старіння. Наприклад, дослідження віртуальної реставрації показало, як машинне навчання може передбачити майбутні деградаційні процеси, а також запропонувати оптимальні стратегії збереження (Gaber et al., 2023). Якісна обробка цифрових зображень та синтез текстур, інтегрований з методами штучного інтелекту, продемонстрували свою ефективність у відновленні стародавнього китайського живопису, де алгоритми дозволили реалістично відтворити складні текстурні елементи (Pei et al., 2004). Подібно, алгоритми, розроблені засобами штучного інтелекту, були використані для цифрової реконструкції храмових фресок, подолавши обмеження традиційних методів і значно покращивши якість реставрації (Mol & Maheswari, 2021).

Застосування цих інноваційних технологій змінює підхід до реставрації, дозволяючи реставраторам швидко аналізувати великі обсяги даних, точно відновлювати втрачені елементи та передбачати ризики майбутніх пошкоджень, що забезпечує збереження культурної спадщини на новому, більш високому рівні.

Зауважимо, що не тільки користувачькі програми, зокрема графічні редактори, а й надсучасні інформаційно-комунікаційні технології, як от штучний інтелект, зокрема нейронні мережі й машинне навчання, можуть показати вражаючі результати лише за умови вмілого їх використання

тими, хто має необхідні міждисциплінарні знання та навички і/або, як показали, великі міжнародні реставраційні проєкти, такі як, проєкт Королівського інституту культурної спадщини у Брюсселі – реставрація Гентського вівтаря братів Ван Ейк (1432) і подібні, є в команді фахових спеціалістів з різних областей наук – реставрації, історії мистецтва, хімії, біології, фізики, комп'ютерних наук, які збалансовано співпрацюють в царині збереження культурної спадщини. Саме тому можна говорити про переваги використання тих чи інших технологій не стільки у порівнянні з традиційними методами реставрації, скільки у визначенні можливостей цих цифрових інструментів сучасного реставратора, а також означенні певних засторог, які, звісно, є і в традиційних підходах.

До очевидних переваг можемо віднести: 1) точність і контроль, позаяк цифрові інструменти пропонують неперевершену точність у кольоровій корекції, заповненні та синтезі текстури, зменшуючи ризик людської помилки, властивий ручній реставрації; 2) неінвазивність, оскільки цифрова реставрація дозволяє реставраторам експериментувати з різними підходами без фізичних змін оригінального твору; 3) економічна ефективність, бо таке програмне забезпечення, як Adobe Photoshop, Blender чи PicMan, надає можливості високоякісної реставрації за менші витрати, а певні версії є взагалі безкоштовними, що робить їх доступними для установ з обмеженим бюджетом; 4) налаштування і гнучкість, оскільки пропонують широкі можливості для налаштування, що дозволяє реставраторам адаптувати програмне забезпечення до специфічних завдань реставрації.

Однак, варто враховувати певні застороги щодо новітнього програмного забезпечення: його опанування потребує значного часу та спеціалізованих навичок; залежність від цифрових інструментів частково може призвести до знецінення ручних технік та історичних знань, що є основою реставрації; цифрові реконструкції можуть відображати суб'єктивні інтерпретації реставратора, а не оригінальні задуми художника, особливо при роботі зі значно пошкодженими творами; технологічні обмеження можуть не враховувати певні фізичні та хімічні властивості матеріалів; надмірне використання цифрових методів загрожує втратою автентичності та унікальних характеристик твору; етичні дилеми можуть виникнути через спроби зберегти оригінальний вигляд і патину; складність технічної інтеграції програмного забезпечення та обладнання в різних інституціях; високі фінансові витрати на ліцензії та обладнання, що обмежують доступність таких технологій.

Майбутнє реставрації все більше пов'язане з інтеграцією цифрових технологій і традиційних методів. Графічні редактори Photoshop, PicMan, і Blender та ін. вже є важливим інструментом для реконструкції втрачених фрагментів живописних творів та забезпечують високу точність і мінімальне втручання в оригінальний матеріал. Із розвитком штучного інтелекту та машинного навчання можливості цифрової реставрації продовжують зростати, дозволяючи аналізувати великі обсяги історичних даних, прогнозувати стан творів мистецтва і рекомендувати відповідні методи збереження пам'яток.

Висновки. Інтеграція цифрових інструментів, таких як Adobe Photoshop, PicMan, Blender, та Sketchfab, із традиційними реставраційними

методами значно підвищує точність, ефективність і гнучкість реставраційних процесів. Водночас, застосування штучного інтелекту, нейронних мереж та машинного навчання відкриває нові можливості для точного відновлення та прогнозування збереження мистецьких творів. Однак, ці інновації вимагають спеціалізованих знань та обережного підходу, щоб уникнути надмірної залежності від технологій і зберегти автентичність реставрованих об'єктів. Подальші дослідження в цій галузі повинні бути спрямовані на розширення можливостей цифрових інструментів і вдосконалення їхньої інтеграції в реставраційну практику, що забезпечить ще більшу точність і ефективність збереження культурної спадщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Віштаченко, О. Ф., & Підгурний, І. С. Використання растрових графічних редакторів при реставрації живописних творів: можливості та проблеми. *Мистецька спадщина Поділля у контексті полікультурного європейського простору* : зб. наук. праць за результ. міжн. наук.-практ. семінару. Кам'янець-Подільск. нац. ун-т ім. І. Огієнка, 2010. С. 39–43.
2. Тимченко, Т. Щодо коректного україномовного перекладу керівних документів сфери консервації-реставрації. *«Музеї та реставрація у контексті збереження культурної спадщини: актуальні виклики сучасності»*, 22-23 вересня 2022 р. Національний заповідник «Києво-Печерська лавра», Асоціація реставраторів України, 2022. С. 148–151.
3. Цитович, В. І. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (методологія та практика): навчальний посібник. К.: НАКККіМ, 2018. 232 с.; іл.
4. Чекаль, А. Г. До питання про комп'ютерної реконструкції втрат у реставрації ікон. *Проблеми збереження, консервація та реставрація музейних пам'яток*: Мат. та тези доп. II Міжн. наук.-практ. конф 26–28 травня 1999 р. Київ: ННДРЦУ, 1999. С. 202–203.
5. Defect detection: An improved YOLOX network applied to a replica of “The Birth of Venus” by Botticelli / Z. Zhang et al. *Journal of Cultural Heritage*. 2023. Vol. 62. P. 404–411. URL: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.018> (date of access: 26.08.2024).
6. Eom T. H., Lee H. S. A Study on the Diagnosis Technology for Conservation Status of Painting Cultural Heritage Using Digital Image Analysis Program. *Heritage*. 2023. Vol. 6, no. 2. P. 1839–1855. URL: <https://doi.org/10.3390/heritage6020098> (date of access: 26.08.2024).
7. Exploring the limits of color accuracy in technical photography / E. Kirchner et al. *Heritage Science*. 2021. Vol. 9, no. 1. P. URL: <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00536-x> (date of access: 26.08.2024).
8. Gaber, J. A., Youssef, S. M., & Fathalla, K. M. The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Preserving Cultural Heritage and Art Works via Virtual Restoration. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2023. X-1/W1-2023. P. 185–190. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-1-w1-2023-185-2023> (date of access: 26.08.2024).
9. Heumiller K., Muzikar J., Kastler R. Starry Night in 3D: Explore Vincent van Gogh's beloved painting in astonishing detail in this behind-the-scenes look at a new imaging tool. <https://www.moma.org>: веб-сайт, 2020. URL: <https://www.moma.org/magazine/articles/462> (date of access: 26.08.2024).
10. Lizun, D. Reconstructing the Lost: Technical Analysis and Digital Reconstruction Supporting the Treatment of a Portrait of Sir Song Ong Siang. *Collections Care: Staying Relevant in Changing Times, ASEAN & Beyond, 23-25 October 2019*: conference proceedings. Singapore, 2019. P. 152–166.
11. MacDonald-Korth E., Rainer L. The Getty Conservation Institute Project to Conserve David Alfaro Siqueiros's Mural América Tropical. *Getty Research Journal*. 2014. Vol. 6. P. 103–114. URL: <https://doi.org/10.1086/675793> (date of access: 26.08.2024).
12. Mapping lacunae for retouching paintings with computer graphics software. / Henriques, F. et. al *4th International Meeting on Retouching of Cultural Heritage – RECH4, Split, Croatia, 20-21 October 2017*. 2018. P. 130–136. URL: <http://hdl.handle.net/10400.14/27457> (date of access: 26.08.2024).
13. Marincola, M. D., & Kargère, L. *The conservation of medieval polychrome wood sculpture: History, Theory, Practice*. Getty Publications, 2020. 296 p.
14. 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, no. 1. P.1-18 URL: <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00604-2> (date of access: 26.08.2024).
15. Muir K. Approaches to the reintegration of paint loss: theory and practice in the conservation of easel paintings. *Studies in Conservation*. 2009. Vol. 54, sup1. P. 19–28. URL: <https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.supplement-1.19> (date of access: 26.08.2024).

16. Nadolny J. History of visual compensation for paintings. *Conservation of Easel Paintings.* / ed. by J. H. Stoner, R. Rushfield. Routledge. 2nd ed. 2020. P. 593–603. URL: <https://doi.org/10.4324/9780429399916> (date of access: 26.08.2024).
17. Pei S. C., Zeng Y. C., Chang C. H. Virtual Restoration of Ancient Chinese Paintings Using Color Contrast Enhancement and Lacuna Texture Synthesis. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2004. Vol. 13, no. 3. P. 416–429. URL: <https://doi.org/10.1109/tip.2003.821347> (date of access: 26.08.2024).
18. Recreating Van Gogh's original colors on museum displays / E. Kirchner et al. *Electronic Imaging*. 2019. Vol. 2019, no. 14. P. 77–1–77–6. URL: <https://doi.org/10.2352/issn.2470-1173.2019.14.color-077> (date of access: 26.08.2024).
19. Somyk-Ponomarenko I. Copying Artworks for Preserving the Entirety of Architectural Monuments in Ukraine. *Studies in Conservation*. 2020. Vol. 65, sup1. P. P307–P310. URL: <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1752422> (date of access: 26.08.2024).

REFERENCES

1. Vishtachenko, O. F., & Pidgurny, I. S. (2010). Vykorystannia rastrovnykh hrafichnykh redaktoriv pry restavratsii zhyvopysnykh tvoriv: mozhyvosti ta problemy. [The use of raster graphic editors in the restoration of paintings: opportunities and problems]. *Mystetska spadshchyna Podillia u konteksti polikulturnoho yevropeiskoho prostoru Zbir. n. pr. za rezult. Mizhn. nauk.-prakt. seminaru, Kamianets-Podilsk. nats. un-t im. I. Ohienka*, 39–43. [in Ukrainian].
2. Tymchenko, T. (2022). Shchodo korektnoho ukrainomovnoho perekladu kerivnykh dokumentiv sfery konservatsii-restavratsii. [Regarding the correct Ukrainian translation of the guiding documents in the field of conservation-restoration]. *«Muzei ta restavratsiia u konteksti zberezhenia kulturnoi spadshchyny: aktualni vyklyky suchasnosti», 22-23 veresnia 2022 r.*, 148-151. [in Ukrainian].
3. Tsitovych, V. I. (2018). Ekspertyza tvoriv obrazotvorchoho mystetstva: zhyvopys (metodolohiia ta praktyka): navchalny posibnyk. [Expert Examination of Visual Arts: Painting (Methodology and Practice): Textbook.]. Kyiv: NAKKKiM. [in Ukrainian].
4. Chekal, A. G. (1999). Do pytannia pro kompiuternoi rekonstruktsii vtrat u restavratsii ikon. [To the Question of Computer Reconstruction of Losses in the Restoration of Icons]. *Materialy ta tezy dopovidei II Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. «Problemy zberezhenia, konservatsiia ta restavratsiia muzeinykh pamiatok», 26 – 28 travnia 1999 r. NNDRTsU, m. Kyiv*, 202-203. [in Ukrainian].
5. Zhang, Z., Zhang, H., Hu, J., Sfarra, S., Mostacci, M., Wang, Y., Yang, D., Maldague, X., Niu, D., & Duan, Y. (2023). Defect detection: An improved YOLOX network applied to a replica of “The Birth of Venus” by Botticelli. *Journal of Cultural Heritage*, 62, 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.018>
6. Eom, T. H., & Lee, H. S. (2023). A Study on the Diagnosis Technology for Conservation Status of Painting Cultural Heritage Using Digital Image Analysis program. *Heritage*, 6(2), 1839–1855. <https://doi.org/10.3390/heritage6020098>
7. Kirchner, E., Van Wijk, C., Van Beek, H., & Koster, T. (2021). Exploring the limits of color accuracy in technical photography. *Heritage Science*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00536-x>
8. Gaber, A., Youssef, S. M., & Fathalla, K. M. (2023). The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Preserving Cultural Heritage and Art Works via Virtual Restoration. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-1/W1-2023, 185–190. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-1-w1-2023-185-2023>
9. Heumiller K., Muzikar J., Kastler R. (2020). Starry Night in 3D: Explore Vincent van Gogh's beloved painting in astonishing detail in this behind-the-scenes look at a new imaging tool. <https://www.moma.org/>. URL: <https://www.moma.org/magazine/articles/462>
10. Lizun, D. (2019). Reconstructing the Lost: Technical Analysis and Digital Reconstruction Supporting the Treatment of a Portrait of Sir Song Ong Siang. In *Collections Care: Staying Relevant in Changing Times, ASEAN & Beyond, 23-25 October 2019* (p.152–166)
11. MacDonald-Korth, E., & Rainer, L. (2014). The Getty Conservation Institute Project to conserve David Alfaro Siqueiros's mural América Tropical. *Getty Research Journal*, 6, 103–114. <https://doi.org/10.1086/675793>
12. Henriques, F., Bailão, A., Bordalo, R., Gac, A. L., Gonçalves, A., Carneira, L., Candeias, A., & Vieira, E. (2018). Mapping lacunae for retouching paintings with computer graphics software. 4th International Meeting on Retouching of Cultural Heritage – RECH4, Split, Croatia, 20-21 October 2017, 130–136. <http://hdl.handle.net/10400.14/27457>
13. Marincola, M. D., & Kargère, L. (2020). *The conservation of medieval polychrome wood sculpture: History, Theory, Practice*. Getty Publications.
14. Mol, V. R., & Maheswari, P. U. (2021). The Digital Reconstruction of Degraded Ancient Temple Murals Using Dynamic Mask Generation and an Extended Exemplar-Based Region-Filling Algorithm. *Heritage Science*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00604-2>
15. Muir, K. (2009). Approaches to the Reintegration of Paint Loss: Theory and Practice in the Conservation of Easel Paintings. *Studies in Conservation*, 54(sup1), 19–28. <https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.supplement-1.19>
16. Nadolny, J. (2020). History of Visual Compensation for Paintings. In J. H. Stoner & R. Rushfield (ed.) *Conservation of Easel Paintings* (2nd edition, pp. 593–603). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429399916>
17. Pei, S., Zeng, Y., & Chang, C. (2004). Virtual Restoration of Ancient Chinese Paintings Using Color Contrast Enhancement and Lacuna Texture Synthesis. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(3), 416–429. <https://doi.org/10.1109/tip.2003.821347>
18. Kirchner, E., Geldof, M., Hendriks, E., Gaibor, A. N. P., Janssens, K., Delaney, J., Van Der Lans, I., Ligterink, F., Megens, L., Meedendorp, T., & Pilz, K. (2019). Recreating Van Gogh's original colors on museum displays. *Electronic Imaging*, 31(14), 77-1–6. <https://doi.org/10.2352/issn.2470-1173.2019.14.color-077>
19. Somyk-Ponomarenko, I. (2020). Copying Artworks for Preserving the Entirety of Architectural Monuments in Ukraine. *Studies in Conservation*, 65(sup1), 307–310. <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1752422>